



Duurzaamheids-ethische toetsing van methaanreducerende technische maatregelen

Evaluatie van technische maatregelen ten aanzien van de integrale verduurzaming van de veehouderij

Daniel Puente-Rodríguez & C.M. (Karin) Groenestein

Rapport 1178



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Duurzaamheids-ethische toetsing van methaanreducerende technische maatregelen

Evaluatie van technische maatregelen ten aanzien van de integrale verduurzaming van de veehouderij

Daniel Puente-Rodríguez & C.M. (Karin) Groenestein

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Duurzame voedselvoorziening & -productieketens & Natuur' (projectnummer LNV BO-43-013.01-011)

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juni 2019

Rapport 1178

Puente-Rodríguez, D & C.M. Groenestein, 2019. *Duurzaamheids-ethische toetsing van methaanreducerende technische maatregelen: Evaluatie van technische maatregelen ten aanzien van de integrale verduurzaming van de veehouderij*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1178.

Samenvatting NL: Dit onderzoek inventariseert kansrijke methaanemissie reducerende technische maatregelen in de Nederlandse veehouderij (rundvee en varkenshouderij) op het gebied van fokkerij, rantsoensamenstelling en kwaliteit van voer, gebruik van inhibitors, mest van de vloeren en uit mestkelders frequent verwijderen, middelen aan mest toevoegen, mest mixen/beluchten, mest koelen, mestvergisting en methaanoxidatie. Op basis van literatuuronderzoek en expertconsultatie is er een kwalitatief toetsingskader ontwikkeld en toegepast om verschillende duurzaamheids en ethische aspecten van deze maatregelen te evalueren vanuit het perspectief van verschillende stakeholders.

Summary UK: This research makes an inventory of technical measures which are able to reduce the methane emissions of the Dutch livestock production systems (i.e. cattle and pig farming): breeding, composition and quality of feed, use of inhibitors, frequent manure removal from barns, manure additives, manure mixing and aeration, manure cooling, anaerobic digestion, methane oxidation. Through a literature study and expert consultation a qualitative assessment framework has been developed and applied to evaluate different sustainability and ethical aspects of these measures. This has been conducted from the perspective of different stakeholders.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/494713> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2019 Wageningen Livestock Research
Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl,
www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.
Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1178

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Klimaatakkoord en Regeerakkoord	5
1.2	Broeikasgasemissies veehouderij	5
1.3	Doelstelling	7
1.4	Aanpak en methodologische noten	7
1.4.1	Inventarisatie van kansrijke technische maatregelen	8
1.4.2	(Kwalitatieve) Duurzaamheids-ethische toetsing	10
2	Duurzaamheids-ethisch toetsingskader	11
2.1	De 15 ambities van de UDV	11
2.2	De 'ethical matrix'	12
2.3	Integratie van de ethische matrix en de UDV-ambities in een schema	13
2.3.1	De stakeholders	14
2.3.2	Uitwerking van de 15 UDV-ambities op basis van de 3 principes	14
2.4	De duurzaamheids-ethische toetsing	18
3	Duurzaamheids-ethische toetsing van kansrijke methaanreducerende technische maatregelen	20
3.1	Fokkerijmaatregelen bij rundvee	20
3.2	Voermaatregelen	24
3.2.1	Voermaatregelen: rantsoensamenstelling en kwaliteit van voer	25
3.2.2	Voermaatregelen, gebruik van inhibitors	29
3.3	Mestmaatregelen	33
3.3.1	Mest frequent uit de stal verwijderen	33
3.3.2	Middelen aan mest toevoegen	36
3.3.3	Mest mixen/beluchten	39
3.3.4	Mest koelen	42
3.3.5	Mestvergisting	44
3.3.6	Methaanoxidatie	47
4	Reflectie en afsluiting	52
	Dankwoord	54
	Literatuur	55
	Bijlage 1 Andere denkbare maatregelen (die niet op duurzaamheids-ethische aspecten zijn getoetst)	60

1 Inleiding

'To address climate change, countries adopted the Paris Agreement at the COP21 in Paris on 12 December 2015. In the agreement, all countries agreed to work to limit global temperature rise to well below 2 degrees Celsius, and given the grave risks, to strive for 1.5 degrees Celsius' (UN – Sustainable Development Goals).¹

Een koe met één maag (niet herkauwend) is geen koe, een koe die geen methaan uitstoot blijft wel een koe (welzijnsexpert, persoonlijke communicatie, september 2018).

1.1 Klimaatakkoord en Regeerakkoord

In 2015 is in het Klimaatakkoord van Parijs een temperatuurstijgingsplafond afgesproken van maximaal 2°C, met het doel te streven naar maximaal 1,5°C. In aanloop naar de COP21 in Parijs heeft de Europese Unie een klimaatdoelstelling van 40% emissiereductie van broeikasgassen in 2030 ten opzichte van 1990 vastgelegd. Deze doelstelling wordt nu verder uitgewerkt in het nationale klimaatbeleid. Voor Nederland betekent dit een emissiereductie in de niet-ETS sector van 36%² in 2030 ten opzichte van 2005. De landbouwsector valt hier ook onder en zal hieraan moeten bijdragen.

Het regeerakkoord van 2017³ kondigde de klimaatwet van 2018 aan waarin het nationaal klimaat- en energieakkoord wordt verankerd. Uitgangspunt is de doelstelling van 49% reductie van de broeikasgasemissies in 2030 ten opzichte van 1990; er wordt ook de ambitie uitgesproken om uiteindelijk een reductie van 55% te bereiken. In 2016 stootte Nederland 197 Megaton CO₂-equivalent⁴ uit, in 2017 was dit 193. In principe, zou de uitstoot van broeikasgassen in 2020 niet boven 166, en in 2030 niet boven 113 Mton CO₂-eq⁵ mogen komen. De land- en tuinbouw is verantwoordelijk voor de emissie van 10 tot 15% van de broeikasgassen. De doelstelling is om 3,5 Mton te reduceren door middel van een aantal maatregelen:

- 1,5 Mton reductie door een slimmer landgebruik.
- 1 Mton door het reduceren van methaanuitstoot uit de veehouderij.
- 1 Mton moet binnen de glastuinbouw gereduceerd worden.

Dit rapport betreft het doel om 1 Mton reductie per 2030 van methaanuitstoot binnen de veehouderij te bereiken.

1.2 Broeikasgasemissies veehouderij

Broeikasgasemissies vanuit de veehouderij hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan de klimaatverandering. Het gaat met name om emissies van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), en lachgas (N₂O; distikstofoxide). De FAO schat dat de veehouderij wereldwijd verantwoordelijk is voor

¹ www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change-2/ (geraadpleegd oktober 2017).

² In het rapport 'Verkenning van klimaatdoelen' (Ros & Daniëls, 2017) voert het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) een verkennende analyse uit om de mogelijk transitiepaden te schetsen om de ambitie van Parijs te kunnen bereiken.

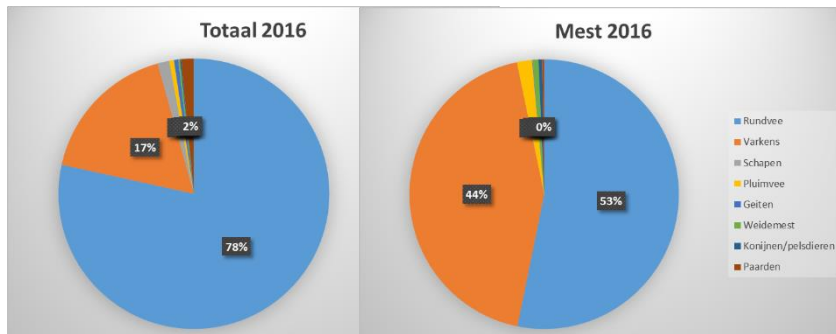
Waarschijnlijk moeten we om dit doel te kunnen bereiken in 2050 een emissiereductie van 80 tot 95 % ten opzichte van 1990 boeken. Of zoals het PBL dit formuleert: 'Overigens lijkt een emissiereductie van 95 procent in 2050 meer passend bij de ambities van Parijs dan een emissiereductie van 80 procent' (ibid., blz. 5). Hiervoor is de verwachting dat in 2030 de emissie t.o.v. 1990 bijna (47%) gehalveerd moet worden. Het PBL maakt een overzicht van de emissie-reducerende maatregelen in 2030 die nodig zijn om de doelen voor 2050 te bereiken.

³ www.tweedekamer.nl/sites/default/files/atoms/files/regeerakkoord20172021.pdf (geraadpleegd oktober 2017).

⁴ CO₂-equivalent wordt gebruikt als maat om de bijdrage van broeikasgassen aan klimaatverandering te meten.

⁵ www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/19/uitstoot-broeikasgassen-in-2017-licht-afgenomen (geraadpleegd juni 2018).

14,5 procent van de 'human-induced GHG' emissies (Gerber et al., 2013). Dat komt neer op 7,1 gigaton CO₂-eq per jaar. 44% van de globale broeikasgasemissies door de veehouderijsector bestaat uit methaan, 29% N₂O en 27% CO₂ (ibid.). Deze emissies worden veroorzaakt door het primaire bedrijf, de toeleveranciers in de keten en de verwerkende schakels downstream. Methaan wordt met name geproduceerd tijdens het verteringsproces in de pens van herkauwers. In de tabel hieronder is de bijdrage van broeikasgasemissies van de Nederlandse landbouwsector weergegeven door de jaren heen, en waar mogelijk onderverdeeld per diersector.



Figuur 1 Methaanemissie van de Nederlandse veehouderij in Mton CO₂-eq (op basis van Van Bruggen et al., 2018).

De emissiecijfers die zijn gepresenteerd door de emissieregistratie⁶ laten zien dat in Nederland de emissies uit de landbouw sterk zijn gedaald sinds 1990. Vanaf 2005 stopt de dalende trend om vanaf 2012 zelfs licht toe te nemen door een toename van het aantal dieren in de melkveehouderij na de afschaffing van het melkquotum.⁷

In het rapport 'Monitorings-systeem voor de 15 ambities van de Uitvoeringsagenda Duurzame Veehouderij' (Bos, Puente-Rodríguez et al., 2017) wordt een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de emissie van broeikasgassen van de Nederlandse veehouderij. In dat rapport worden de emissiewaarden als emissie-intensiteit uitgedrukt, d.w.z. per kg geproduceerde dierlijk eiwit. Hiermee kunnen we zien dat de relatieve efficiëntie van de sectoren is verbeterd (Tabel 1).

Tabel 1 Emissie van broeikasgassen in CO₂-eq per kg eiwit (Bos et al., 2017).

	1990	2012
Melkvee	61,10	36,55
Varkens	39,90	26,13
Vleeskuikens	43,37	29,69
Leghennen	20,27	10,28

De Nederlandse veehouderijsector staat voor de opgave om haar broeikasgasemissies te reduceren. De eerste taakstelling die daaruit voortvloeit is de methaanemissies met 1Mton te verminderen. Daarom zijn er een aantal technische maatregelen geïdentificeerd die de potentie hebben om de broeikasgasemissies te verminderen. Dit zijn enerzijds maatregelen die al in een ver stadium van ontwikkeling zijn, anderzijds betreft het nieuwe technische principes/ontwerpen die eerst nog uitgebreid moeten worden getest.

⁶ 'Om de invloed van de verschillende broeikasgassen te kunnen optellen, worden emissiecijfers omgerekend naar CO₂-equivalenten. De omrekening is gebaseerd op het 'Global Warming Potential' (GWP), dat is de mate waarin een gas bijdraagt aan het broeikaseffect. De uitstoot van 1 kg lachgas (N₂O, distikstofoxide) staat gelijk aan 298 kg CO₂-equivalenten en de uitstoot van 1 kg methaan (CH₄) aan 25 kg CO₂-equivalenten.' www.emissieregistratie.nl/erpubliek/content/emission_explanation.nl.aspx#Verklaring_emissietrends (geraadpleegd juli 2018).

⁷ www.emissieregistratie.nl/erpubliek/content/emission_explanation.nl.aspx (geraadpleegd juni 2018).

De veehouderij speelt een belangrijke rol in het garanderen van de voedselsoevereiniteit en voedselzekerheid van de wereldpopulatie, ook in Nederland. Daarbij levert de veehouderij een belangrijke bijdrage aan de economie en innovatiekracht. Nederland heeft een grote veestapel die de basis vormt van een internationaal gerespecteerde (qua kennis en praktijkexpertise) veehouderij. Echter, naast het verminderen van broeikasgasemissies staat de veehouderij ook voor de uitdaging om op andere vlakken te verduurzamen. Maatregelen die de uitstoot van broeikasgasemissies verminderen mogen geen negatief effect hebben op andere duurzaamheidsaspecten, zoals dierenwelzijn, diergezondheid, biodiversiteit, emissies van andere milieuonvriendelijke stoffen of op de volksgezondheid. De opgave voor integrale verduurzaming is een speerpunt voor het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

1.3 Doelstelling

Deze studie valt onder het zogenoemde beleidsondersteunende onderzoek. De opdracht van het Ministerie van LNV was om de integrale verduurzaming van de veehouderij in Nederland te waarborgen door:

- Een overzicht van kansrijke methaanreducerende (technische) maatregelen te maken.
- Een kwalitatieve beoordeling van deze maatregelen op een aantal andere duurzaamheidsthema's uit te voeren.
- Inzicht krijgen in ethische vraagstukken die deze maatregelen mogelijk generen.

Dit onderzoek richt zich daarom op:

- 1) Het in kaart brengen van methaanreducerende maatregelen voor de Nederlandse veehouderijsector. Het betreft hier maatregelen die al beschikbaar zijn en maatregelen die nog in ontwikkeling zijn (i.e. pilot of prototype). Op basis van literatuur en gesprekken met verschillende experts wordt een selectie gemaakt van de meest kansrijke maatregelen ten aanzien van methaanemissiereductie.
- 2) Het toetsen van deze maatregelen op hun bijdrage aan de integrale verduurzaming van de veehouderij, zoals omschreven in de ambities van de Uitvoeringsagenda Duurzame Veehouderij.
- 3) Het verkennen of deze maatregelen ethische vragen oproepen. Hiervoor zal gebruik worden gemaakt van de 'ethical matrix' (zie hieronder).

Dit onderzoek leidt dan tot een overzicht van technische maatregelen met het potentieel om methaanemissiereductie te realiseren in de veehouderijsector. Daarbij wordt tevens de kwalitatieve duurzaamheidstoetsing van de methaanreductiemaatregelen aangegeven op de ambities van de Uitvoeringsagenda Duurzame Veehouderij⁸ (Bos et al., 2017) en een ethische toetsing aan de hand van de 'ethical matrix' (Mepham, 2005; Mepham, 2013). Het resultaat van deze toetsing is inzicht in de integraliteit van de maatregelen met verschillende maatschappelijke en ethische dimensies in de landbouwsector en de borging daarvan (zie hoofdstuk 2).

1.4 Aanpak en methodologische noten

De systeemgrenzen van dit onderzoek betreffen de Nederlandse veehouderij en de methaanemissies in Nederland. Vanwege de bijdrage aan de totale methaanemissie ligt de focus bij de methaanuitstoot in de melkveehouderij en de varkenshouderij (zie Figuur 1).

Onderhavig onderzoek is kwalitatief van aard en voert derhalve geen berekeningen of metingen (kwantitatieve analyse) uit met betrekking tot de potentiële methaanreductie van de maatregelen en

⁸ www.uitvoeringsagendaduurzameveehouderij.nl/ (geraadpleegd juni 2018).

de bijdrage aan integrale verduurzaming. De reducerende effecten van de maatregelen worden ingeschat en besproken op basis van de literatuur en/of 'expert judgement.'

Uiteraard zal ook een reductie van het aantal dieren, vooral melkkoeien leiden tot een reductie van de methaanemissie binnen de Nederlandse veehouderij. Dit is echter buiten de opdrachtformulering voor deze studie gehouden.

1.4.1 Inventarisatie van kansrijke technische maatregelen

Op basis van een literatuurscan werd een long list gemaakt van beschikbare en in de nabije toekomst mogelijke maatregelen die de methaanuitstoot in de veehouderij sector (kunnen) reduceren. Hierbij nemen we technische maatregelen rondom mest mee (oxidatie, aanzuring, koeling, vergisting, stalaanpassingen, etc.) en maatregelen om methaanproductie in de pens van herkauwers te verminderen. Van de broeikasgasemissie van de Nederlandse zuivelketen in Nederland komt 75% uit melkveebedrijven waarvan 10% bestaat uit kooldioxide van fossiele brandstof, 25% uit lachgas en 65% uit methaan (Šebek, Mosquera, & Bannink, 2016). 'Van de totale CH₄ -emissies uit de landbouw is 83% rundvee gerelateerd, waarvan het overgrote deel (76%) enterisch methaan betreft' (ibid.). Methaan wordt in de pens van herkauwers, zoals runderen, door bacteriën gevormd. Voor de dieren met één maag, zoals varkens, is mest de belangrijkste bron van CH₄ met een omvang van 67%, de overige 33% betreft methaan die (enterische) gevormd wordt in de darmen (Šebek et al., 2016). Een aantal technische maatregelen zijn geïmplementeerd om het methaanvorming (methanogenese) te belemmeren of te stoppen. Andere maatregelen betreffen zogenoemde end-of-pipe technieken en neutraliseren de reeds geproduceerde methaan voordat dit emitteert. Methanogenese vindt plaats als organische stof afgebroken wordt onder anaerobe omstandigheden. End-of-pipe technieken oxideren de gevormde CH₄ tot CO₂.

Er zijn verschillende domeinen in de veehouderij waar de methaanemissie, op verschillende wijzen, ontstaat en waar verschillende type maatregelen geïmplementeerd kunnen worden. Voor de literatuuranalyse en om in gesprek met experts te kunnen gaan, hebben we de maatregelen geclusterd in verschillende categorieën. Er zijn bijvoorbeeld fokkerijmaatregelen (kruising en selectie) die het aanpassen/behouden van de genetische eigenschappen van dieren betreffen. Verder zijn er ook diermanagementmaatregelen. Deze maatregelen betreffen het omgaan met dieren (zoals uitloop of weidegang) of het verbeteren van hun gezondheid. Binnen dit domein, kan men onderscheid maken tussen (a) de maatregelen die de buitenomgeving van de dieren beïnvloeden en (b) maatregelen die hun interne processen (zoals de beïnvloeding van de enterische fermentatie in de pens) veranderen. Daarbij zijn ook specifieke voermaatregelen mogelijk om emissies te reduceren zoals samenstelling en rantsoeneren. Verder zijn er stal- en opslagmaatregelen die te maken hebben met het omgaan met mest en urine na excretie. Hierbij kan ook aan luchtbehandeling en klimaattechnieken worden gedacht. Deze maatregelen betreffen zowel technische maatregelen in de stal (bijvoorbeeld verschillende vloertypes en verwijderen van urine/mest) als buiten de stal (bijvoorbeeld opslag of vergisting). Een laatste domein waar maatregelen kunnen worden geïmplementeerd, is gerelateerd aan het aanwenden van mest. Omdat methaanemissies bij aanwenden verwaarloosbaar zijn, valt dit echter buiten de systeemgrenzen van dit onderzoek.

Deze long list van maatregelen hebben we, in de vorm van een werkdocument, ter verbetering en aanvulling voorgelegd aan verschillende experts binnen de WUR. De maatregelen kunnen zowel direct implementeerbaar als nog in ontwikkeling (d.w.z. in pilot of prototype fase) zijn. De emissiereductiepotentie van de maatregel is het primaire criterium voor het integreren in de long list.

Vervolgens hebben we een shortlist met kansrijke maatregelen gemaakt. Deze kansrijke maatregelen hebben we getoetst (dit rapport). In de tabel hieronder staan deze kansrijke maatregelen. Bijlage 1 bevat maatregelen van de longlist die, hoewel ze ook potentie hebben om methaan te reduceren en die al in de praktijk worden geïmplementeerd of in de literatuur worden besproken, binnen dit onderzoek niet verder zijn getoetst. Om tot de shortlist te komen hebben we experts gevraagd om de volgende twee criteria te gebruiken voor het kiezen van kansrijke maatregelen: (1) de bruto potentie van de maatregel om de methaanemissies te reduceren (op de duurzaamheids-ethische toetsing kijken we ook naar mogelijke afwentelingen van de maatregelen elders in de keten) en (2) de

haalbaarheid om deze maatregelen voor 2030 in de Nederlandse veehouderij te implementeren. Hierbij hebben we ook gekeken naar de aanpak van de zogenoemde klimaatenvelop. In de hiernavolgende tabel is de shortlist van getoetste kansrijke maatregelen weergegeven.

Tabel 2 Maatregelen die in deze studie zijn getoetst, hun reductie potentie + bronvermelding.

Maatregel	CH ₄ reductiepotentie	Bronnen
Getoetste maatregelen		
Fokkerijmaatregelen (CH ₄ direct)	1% (enterisch) per jaar (12% in 2035)	Expert judgment 2018, zie ook (Bell et al., 2011a) (Pinares-Patiño et al., 2011) (GRA, 2013) (Manzanilla-Pech et al., 2016). (Mirzaei-Aghsaghali & Maheri-Sis, 2016)
Voermaatregelen – rantsoensamenstelling en de kwaliteit van de voeding	Tussen 5% en 10% (enterisch)	Expert judgment 2018, (GRA, 2013) (Šebek et al., 2016) (Patra, Park, Kim, & Yu, 2017) (Warner, et al., 2017)
Voermaatregelen – inhibitors	3-NOP (3-nitrooxypropanol)	(Hristov et al., 2015) (Aan de Brugh, 2016) (Llonch et al. 2017) (Jayanegara et al., 2018) (Martinez-Fernandez et al., 2018)
	Nitraat	(Troy et al., 2015) (Aan de Brugh, 2016) (Klop, 2016) (Llonch et al., 2017)
Mestmaatregelen - Vaak mest van de vloeren en uit mestkelders verwijderen	40 - 80% (mest)	(Groenestein et al., 2010) (Massé et al., 2016) (Šebek et al., 2016) (Willeghems et al., 2016).
	65% à 85% (Rund) (mest)	(Petersen et al., 2012) (Šebek et al., 2016 en referenties daarin)
	In de varkenshouderij: tussen de 50% en bijna 100% (mest) bereikt (met middelen als de commercieel verkrijgbare chemische additieven NX23, Stalosan en Biosusper	(Martinez et al., 2003)
Mestmaatregelen - Middelen aan mest toevoegen	Het aanzuren met zwavelzuur van varkensmest kan meer dan 90% (mest) methaanemissiereductie opleveren	(Petersen et al., 2014)
Mestmaatregelen – Mixen en beluchten van mest	57% in melkveestallen (mest)	(Amon et al., 2006) (Van Dooren et al., 2015) (Šebek et al., 2016)
	Bij varkens tussen 40% en 99% (mest)	(Martinez et al., 2003) (Thompson et al., 2004) (Martinez et al., 2009) (Šebek et al., 2016) (Calvet, Hunt, & Misselbrook, 2017)
Mestmaatregelen – Mest koelen	In de varkensstallen op basis van een buitenlucht temperatuur van 10 °C = emissiereductie tussen 23 en 43% (mest)	(Groenestein et al. 2012) (Borhan et al., 2012) (Šebek et al., 2016)
Mestmaatregelen - Mestvergisting	60 tot 80% (mest)	(Schils et al., 2006) (GRA, 2013) (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015) (De Vries et al. 2018)

Maatregel		CH ₄ reductiepotentie	Bronnen
Mestmaatregelen – Methaanoxidatie	Methaan oxideren ondergronds	In zandige gronden is het mogelijk om een gemiddelde van 50-75 g methaan per m ² per dag te oxideren. Een standaard varkensbedrijf in Nederland vereist een aantal 100 m ² om 70% (mest) van het geproduceerde methaan te verminderen.	(Oonk et al., 2015)
	Methaan uit de lucht halen	50% (mest)	(Melse & Van der Werf, 2005)
	Affakkelen van geproduceerde CH ₄	Door de combinatie van afdekken van de mestopslag en het affakkelen van methaan 62% (mest) reductie van broeikasgassen	(Wightman & Woodbury, 2016)

1.4.2 (Kwalitatieve) Duurzaamheids-ethische toetsing

Op basis van de 15 UDV-ambities en de 'ethical matrix' hebben we een analytische matrix ontwikkeld, het *duurzaamheids-ethisch toetsingskader* (zie hoofdstuk 2). Hiervoor hebben we de literatuur geraadpleegd en gesprekken met experts gevoerd.

Vervolgens werden, mede op basis van het ontwikkelde kader, de kansrijke methaanreducerende maatregelen getoetst door een aantal experts te bevragen op hun te verwachten bijdrage aan de integrale verduurzaming en de ethische aspecten. Dierenwelzijn experts werden bijvoorbeeld benaderd om alle maatregelen te toetsen vanuit het perspectief van het dier. Experts van Wageningen Economic Research werden gevraagd om vanuit het perspectief van de veehouders/sters en burgers de maatregelen te toetsen. Verder werden experts vanuit de fokkerij, de voeding en de mest gevraagd om de maatregelen van hun expertise-domein te beoordelen vanuit de verschillende perspectieven enzovoort. In hoofdstuk 2 wordt nader uitgelegd hoe de analyse werd uitgevoerd. Opgemerkt dient te worden dat de Duurzaamheids-ethische toetsing in onderhavig rapport als case is uitgevoerd door onderzoekers. Andere stakeholders zoals beleidsmedewerkers, veehouders, voerleveranciers, stallenbouwers, consumenten en burgers, zullen een andere invalshoek hebben en vanuit hun eigen expertise en ervaring de maatregelen beoordelen. De resultaten van de toetsing kunnen dan anders zijn.

2 Duurzaamheids-ethisch toetsingskader

De geïdentificeerde kansrijke maatregelen worden in dit onderzoek op duurzaamheids- en ethische aspecten geëvalueerd. Ten aanzien van (1) hun bijdrage aan de integrale verduurzaming van de veehouderij gebruiken we de 15 ambities van de Uitvoeringsagenda Duurzame Veehouderij (UDV) (Bos et al., 2017). Voor de (2) ethische analyse gebruiken we de Ethical Matrix (EM) (Mephram, 2013).

Om de geïdentificeerde technische methaanreducerende maatregelen te kunnen toetsen integreren we de achterliggende principes van de EM met de UDV-ambities tot één toetsingskader. In dit hoofdstuk introduceren we in het kort eerst de 15 ambities, dan de EM methodologie en achtergrond en vervolgens integreren en operationaliseren we beide systemen binnen een enkele matrix, de duurzaamheids-ethisch toetsingskader.

2.1 De 15 ambities van de UDV

In 2009 ondertekende de toenmalige minister van LNV Gerda Verburg gezamenlijk met ketenpartijen, overheidsinstellingen en maatschappelijke organisaties de uitvoeringsagenda duurzame veehouderij 2023. Vervolgens werden in 2013 de 15 ambities voor een duurzame veehouderij geformuleerd. Deze ambities bouwen voort op de Sustainable Development Goals van de Verenigde Naties.⁹ Recenter is er een monitoringsystematiek ontwikkeld om de vorderingen van de verschillende veehouderijsectoren en bovenwettelijke keteninitiatieven (bijvoorbeeld de Keten Duurzaam Varkensvlees) ten aanzien van deze ambities te kwantificeren en zichtbaar te maken (Bos et al., 2017). Om de vergelijking tussen de verschillende veehouderijsectoren en de bovenwettelijke keteninitiatieven uit te kunnen voeren is bij de opzet van de monitoringsystematiek gekozen voor een kwantitatieve uitwerking van de ambities. Daarbij werden indicatoren ontwikkeld waarmee *kwantitatief* de voortgang kan worden geregistreerd in het bereiken van de in de ambities beoogde effecten.

De aanpak van dit onderzoek is *kwalitatief*. Hier toetsen we (kansrijke) technische CH₄ reducerende maatregelen op verschillende duurzaamheidsaspecten en of ze ethische dilemma's oproepen. Hiervoor bieden de oorspronkelijk kwalitatief geformuleerde 15 ambities (samen met een aantal uitgewerkte effectindicatoren uit Bos, Puente-Rodríguez et al. 2017) handvaten.

De 15 ambities UDV zijn als volgt geformuleerd:

1. **Fossiele energie:** De Nederlandse veehouderij gebruikt geen energie uit eindige bronnen, zoals fossiele brandstoffen, zowel op het primaire bedrijf als in de ketenschakels ervoor en erna.
2. **Klimaat:** De Nederlandse veehouderij heeft naar rato bijgedragen aan het beperken van de globale temperatuurstijging tot maximaal 2°C.
3. **Soortenrijkdom globaal:** De Nederlandse veehouderij draagt bij aan het behoud en uiteindelijk herstel van soorten wereldwijd.
4. **Soortenrijkdom nationaal:** Gewenste soortenrijkdom in natuurgebieden wordt niet beperkt door de Nederlandse veehouderij. Ze herstelt de soortenrijkdom op eigen grond.
5. **Mineralen:** De Nederlandse veehouderij gebruikt alleen mineralen uit niet-gemijnde bronnen, zowel op het primaire bedrijf als in de ketenschakels ervoor. Daardoor zijn er geen eindige voorraden mineralen meer nodig voor de dierlijke productie.

⁹ www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/ (geraadpleegd, juni 2018).



Figuur 2 15 ambities UDV.

6. **Bodemkwaliteit:** De grond die voor en door de Nederlandse veehouderij wordt gebruikt, blijft geschikt voor toekomstige landbouwkundige en andere toepassingen.
7. **Watervoorraad:** De Nederlandse veehouderij draagt niet bij aan de uitputting van strategische watervoorraden.
8. **Waterkwaliteit:** De Nederlandse veehouderij houdt het grond- en oppervlaktewater op, onder en rond haar bedrijven zuiver, zodat het geschikt blijft als basis voor drinkwater en als vitaal ecosysteem.
9. **Dierenwelzijn:** Dieren in de Nederlandse veehouderij kunnen hun hele leven lang volledig voorzien in hun ethologische behoeften en die zonder pijn of beperkingen uitvoeren. Routinematige ingrepen aan het dier vinden niet meer plaats.
10. **Diergezondheid:** Dieren in de Nederlandse veehouderij zijn gezond en in staat dat te blijven zonder structurele medicatie.
11. **Volksgezondheid:** Burgers worden niet ziek vanwege de Nederlandse veehouderij. Niet via het voedsel en niet via andere routes.
12. **Lokale verbinding:** Nederlandse veehouderijbedrijven zijn een vanzelfsprekend en geaccepteerd onderdeel van hun lokale omgeving. De omgeving ervaart geen noemenswaardige overlast.
13. **Rentabiliteit:** De Nederlandse veehouderij is rendabel.
14. **Arbeid:** Arbeid in de Nederlandse veehouderij is aantrekkelijk, goed vol te houden tot de pensioengerechtigde leeftijd en wordt goed beloond.
15. **Kennis, leer- vermogen & innovatie:** De Nederlandse veehouderij is door kennis & innovatie in staat om zich continu aan te passen aan veranderende omstandigheden.

2.2 De 'ethical matrix'

Het ministerie van LNV wil niet alleen weten hoe kansrijke methaanemissiereducerende maatregelen presteren ten aanzien van de duurzaamheidsambities maar ook of ze ethische vragen oproepen. Om deze ethische analyse uit te kunnen voeren gebruiken we de 'ethical matrix' (EM). De EM is ontwikkeld door Ben Mepham (professor toegepaste bio-ethiek University of Nottingham) (2005). Deze matrix wordt gebruikt als een instrument om reflectie en discussie te structureren. Dit instrument kan door onderzoekers, soms ook samen met stakeholders, tijdens een sessie gebruikt worden. Uit de daaropvolgende reflectie/discussie zijn hotspots en dilemma's vast te stellen. De EM is opgebouwd rondom een aantal ethische principes. De klassieke casus aan de hand waarvan de EM wordt uitgelegd is de commercialisering en implementatie in de Verenigde Staten van het eerste genetisch gemanipuleerde hypofyse-hormoon 'bovine somatotrophin' (BST), ook wel rundergroeihormoon genoemd (Mepham, 2013) (zie Tabel 3). De matrix is op verschillende domeinen toegepast. Bruijn et al. (2015) hebben de matrix bijvoorbeeld gebruikt om alternatieven voor de slacht van mannelijke eendagskuikens in de Nederlandse leghennenhoudery te evalueren. Dier Experimenten Commissies

gebruiken varianten van de ethische matrix om belangen bij dierproeven te wegen tegen het ongerief dat het onderzoek bij de proefdieren kan veroorzaken. (zie ethisch toetsingskader Centrale Commissie Dierproeven).

Mepham bouwde de EM op rondom belangrijke ethische theorieën, zoals de deontologie van Immanuel Kant (18e eeuw) die is gebaseerd op categorische imperatieven en plichten, dat wil zeggen dat je als mens altijd de juiste handelingen moet verrichten. Vanuit dit morele kader heeft elk persoon de plicht om de inherente waardigheid (of autonomie) van anderen te respecteren en te behandelen als een doel op zichzelf, en niet als middel om een doel te bereiken (instrumenteel) (Mepham, 2013). Een andere ethische theorie die aan de basis ligt van de EM is het utilitarisme van Jeremy Bentham in de 18e eeuw, dat in de 19e eeuw door John Stuart Mill is aangepast. Utilitarisme pleit voor de maximalisering van welzijn en de minimalisering van kwaad. In tegenstelling tot deontologie is voor het utilitarisme het eindresultaat de drijvende kracht. Daarbij heeft Mepham ook de toepassing van deze theorieën in de 'prima facie' principes verwerkt (Ross, 1930)¹⁰ die zijn doorontwikkeld in het veld van de ethische geneeskunde (Beauchamp & Childress, 2008).

Op basis van deze theorieën bouwde Mepham de 'ethical matrix' rondom de volgende principes: Welzijn (dat is het belangrijkste utilitaire principe), autonomie (het vooraanstaande deontologische principe), en rechtvaardigheid (in de zin van eerlijkheid van het Engelse 'fairness', belangrijk voor zowel de deontologie als het utilitarisme). Specifieke situaties worden vanuit deze centrale ethische principes en vanuit het perspectief van verschillende stakeholders bekeken. De principes worden dan aangepast voor de gekozen stakeholders. Zie hieronder de EM die gebruikt werd voor de implementatie van het groeihormoon BST in de melkveehouderij.

Tabel 3 EM toegepast op het rundergroeihormoon BST (Mepham, 2013, blz. 47).

Respect for:	Wellbeing	Autonomy	Fairness
Dairy farmers	Satisfactory income and working conditions	Managerial freedom of action	Fair trade laws and practices
Consumers	Food safety and acceptability. Quality of life	Democratic, informed choice e.g. of food	Availability of affordable food
Dairy cows	Animal welfare	Behavioral freedom	Intrinsic value
The biota	Conservation	Biodiversity	Sustainability

2.3 Integratie van de ethische matrix en de UDV-ambities in een schema

Er is een overlap tussen de aangepaste principes voor de casus van het groeihormoon binnen de EM, en de doelen die in de 15 UDV-ambities zijn uitgedrukt. In Tabel 4 bijvoorbeeld wordt het welzijnsprincipe vanuit het perspectief van agrarische ondernemers/sters als 'een goed inkomen en goede arbeidsomstandigheden' uitgewerkt. Ambitie 13 'rentabiliteit' ('de Nederlandse veehouderij is rendabel') en 14 'arbeid' ('arbeid in de Nederlandse veehouderij is aantrekkelijk, goed vol te houden tot de pensioengerechtigde leeftijd, en wordt goed beloond') van de UDV passen daar naadloos bij en versterken daarmee de EM. Verder versterkt de 'multi-focus' aanpak van de EM, die een onderwerp vanuit het perspectief van verschillende stakeholders bekijkt, de operationalisering van de 15 ambities die geformuleerd zijn in categorische/onvoorwaardelijke termen.

We gebruiken het kader dat de EM biedt als basis voor onze analyse. We versterken en concretiseren dit kader en de methode voor de context en duurzaamheidsopgaven van de Nederlandse veehouderij door de 15 UDV-ambities daarin zoveel mogelijk te integreren.

¹⁰ De prima facie-principes zijn respect voor autonomie, weldadigheid, niet-misdragendheid en rechtvaardigheid. 'Prima facie', een term die betekent dat het principe bindend is, tenzij het in strijd is met een ander moreel principe. Mocht dat het geval zijn, dan moeten we tussen hen kiezen. Er is geen keuzemethode ontwikkeld en de juiste argumenten moeten dus naar een keuze leiden.

2.3.1 De stakeholders

De eerste stap om de technische maatregelen te toetsen is de keuze van de stakeholders die relevant zijn voor het implementeren van maatregelen die methaanemissies reduceren. Binnen de doelstelling van dit onderzoek denken we dat veehouders, burgers/consumenten, dieren en het milieu de meest relevante stakeholders voor deze studie zijn.

Veehoud(st)ers zijn een belangrijke stakeholder omdat ze op een directe of indirecte manier de maatregelen gaan implementeren of meemaken/beleven. Ze moeten bijvoorbeeld de mest (laten) vergisten, aanzuren, etc.; maar ook kosten maken of extra geld (en/of maatschappelijke acceptatie) verdienen door deze maatregelen (wel/niet) te implementeren. Afhankelijk van de maatregelen kunnen ze meer autonoom in hun bedrijfsuitvoering worden of juist meer afhankelijk worden van anderen, zoals bijvoorbeeld veevoerbodrijven.

In enkele gevallen kunnen we bij deze categorie ook de arbeiders of loonwerkers betrekken die binnen een veehouderijbedrijf werken, bijvoorbeeld ten aanzien van stalklimaat.

Burgers en consumenten. We kiezen er hier voor om deze twee categorieën samen te voegen. Soms zullen we reflecteren vanuit de invalshoek van consumenten die een bepaald product kunnen kopen (melk bijvoorbeeld). Andere keren vanuit het perspectief van de omwonende burgers van veestallen die bijvoorbeeld met nieuwe elementen in het landschap zoals vergisters te maken kunnen drijven, of die minder/meer last van stank kunnen ervaren. Ook aspecten zoals de algemene volksgezondheid zullen hier aan de orde komen (RIVM, 2016).¹¹

Melkvee & varkens. Wat wil het dier? Koeien en varkens worden hier ook als stakeholders beschouwd omdat de maatregelen in meer of mindere mate een impact op de dieren kunnen/zullen hebben, via verandering in het voer of genetische ingrijpen bijvoorbeeld, maar ook door middel van aanpassingen in de stal. Dieren kunnen uiteraard niet redeneren en communiceren (met ons) zoals mensen dat doen (en andersom), daarom hebben we (welzijns- en andere veehouderij-) experts expliciet gevraagd wat de gevolgen van een bepaalde maatregel voor dieren kunnen zijn.

Het milieu. Het milieu vormt de basis van het leven. Hier duidt dit bijvoorbeeld op het klimaat. Voor het klimaat is het belangrijk om de te verwachten werkelijke methaanreductie van een maatregel in te schatten. Maar het milieu omvat ook biodiversiteit (flora en fauna). Andere belangrijke aspecten van de ecosystemen zijn (mogelijke effecten van maatregelen op) de bodem- of de waterkwaliteit. Op dit gebied hebben we ook de literatuur en experts geconsulteerd om de gevolgen voor het milieu te kunnen bepalen.

We hebben de analyse uitgevoerd vanuit het perspectief van de bovengenoemde stakeholders. Andere stakeholders hebben we hier niet behandeld omdat dat o.a. niet binnen het bestek van dit project paste. Dit geldt bijvoorbeeld voor beleidsmakers. Dit onder andere omdat het ministerie van LNV de opdrachtgever van dit onderzoek is, dus de conclusies van dit onderzoek worden gezien als ondersteunend voor beleidsvormingsprocessen. Verder zijn er andere belangrijke ketenpartijen zoals bedrijven die een direct aandeel hebben in de veehouderij (zoals voerleveranciers, farmaceutische industrie, dierartsenpraktijken, transport, slachterijen, retail en keteninitiatieven). We hebben deze bedrijven als groep niet meegenomen in deze studie omdat het niet paste binnen de omvang van dit onderzoek. Daarnaast is het een te diverse groep (qua macht in de keten, interesses, of organisatie – wel/geen aandeelhouderstructuur, wel/geen multinational) om in één categorie/cel te omvatten.

2.3.2 Uitwerking van de 15 UDV-ambities op basis van de 3 principes

De drie principes van de ethische matrix, welzijn, autonomie en rechtvaardigheid worden gebruikt om de pluraliteit van de perspectieven van de verschillende stakeholders, geconsulteerde experts en het algemene maatschappelijke belang in de analyse mee te nemen. Hieronder werken we uit wat de drie principes voor de verschillende stakeholders betekenen. In deze uitwerking integreren we daar waar

¹¹ Zie ook: www.rivm.nl/veehouderij-en-gezondheid/onderzoek-veehouderij-en-gezondheid-omwonenden-vgo (geraadpleegd december 2018).

mogelijk de UDV-ambities en tevens worden een aantal ambities verder uitgewerkt en geïnterpreteerd/geoperationaliseerd.

De volgende tabel geeft de integratie van de UDV-ambities (zie Sectie 2.1 voor uitleg van de nummering) en de uitwerking van de ethische principes weer.

Tabel 4 *Het duurzaamheids-ethisch toetsingskader. Integratie en uitwerking van de 15 ambities UDV en de EM voor het toetsen van de methaanreducerende technische maatregelen.*

Respect voor:	Welzijn	Autonomie	Rechtvaardigheid ('fairness')
Melkveehoud(st)ers & Varkenshoud(st)ers	De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) <i>Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering</i>	Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkvee & Varkens	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Melkvee- en varkenshoud(st)ers

Welzijn: De verhouding tussen kosten en opbrengsten moet (vanzelfsprekend) een rendabele balans opleveren. Daarbij is het ook belangrijk dat de arbeid die verricht moet worden aantrekkelijk is (en vol te houden tot aan de pensioengerechtigde leeftijd). Let er wel op dat relatief veel arbeid die momenteel verricht wordt in de Nederlandse veehouderij vaak (binnen de familiebedrijven) niet direct financieel beloond wordt. De technische maatregelen zullen getoetst worden op de economische gevolgen voor het primaire bedrijf en aan de beleving van veehoud(st)ers en hun medewerkers ten aanzien van arbeid.

Autonomie: Veehouders zijn o.a. door kennis en innovatie (zoals de technische maatregelen) in staat om zich op eigen kracht aan te passen aan veranderende omstandigheden (UDV15). Dit kan gaan over klimaatverandering maar kan ook betrekking hebben op de markt of andere maatschappelijke vraagstukken. Veehouders kunnen in een optimale situatie zelf beslissen om deel te nemen aan het besluitvormingsproces over specifieke thema's en processen (bijvoorbeeld reductie van methaanemissie door implementatie van maatregelen). Technische maatregelen kunnen de (on)afhankelijkheid van deze groep beïnvloeden.

Rechtvaardigheid ('fairness'): Nederlandse veehouderijbedrijven zijn een vanzelfsprekend en geaccepteerd onderdeel van hun lokale omgeving (UDV12). Daarbij krijgen ze een eerlijke prijs voor hun producten.¹²

Burgers en consumenten

Welzijn: De Nederlandse veehouderij en haar producten zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11). Aspecten zoals antibioticagebruik, productie/uitstoot van fijnstof, endotoxinen en zoönotische ziekteverwekkers vormen al een belangrijk probleem voor de Nederlandse veehouderij (RIVM, 2016; Bos et al., 2017). Daarnaast zijn geur- en geluidsoverlast aspecten waarmee rekening moet worden gehouden. De geïmplementeerde maatregelen worden getoetst op het (positieve/negatieve) effect op de volksgezondheid die ze (kunnen) hebben.

¹² Dit aspect is uiteraard ook aan de UDV ambitie 13 (rentabiliteit) gerelateerd.

Autonomie: Burgers zijn goed geïnformeerd over de veehouderijpraktijken (bijvoorbeeld geïmplementeerde maatregelen om BKG te verminderen) en hun producten. Bovendien zijn ze in staat om in meer of mindere mate deel te nemen aan het besluitvormingsproces over de organisatie van de veehouderij,¹³ bijvoorbeeld over welke maatregelen geïmplementeerd zouden moeten worden. Momenteel veroorzaakt de Nederlandse land- en tuinbouw (inclusief de veehouderij) 10 tot 15% van de nationale BKG-emissies in het kader van de klimaatproblematiek (Rli, 2018) en daarom is een zekere mate van democratisering nodig om gezamenlijk verantwoordelijkheid te dragen voor onderwerpen (zoals de klimaatproblematiek) die iedereen aangaat.

Rechtvaardigheid: burgers hebben toegang tot eerlijke, gezonde (voedselveiligheid) en betaalbare producten. Uiteraard moet er een bepaalde grens zijn aan de betaalbaarheid van producten (zie rentabiliteit voor veehouders bijvoorbeeld), bijvoorbeeld omdat er een aantal producten op basis van eindige bronnen wordt geproduceerd. Daarbij ervaren omwonenden en andere maatschappelijke actoren er geen overlast van en accepteren (/genieten van) de landbouwpraktijken (UDV12).

Melkvee en varkens

Welzijn: Dieren in de veehouderij zijn gezond en in staat dit te blijven zonder structurele medicatie (UDV10). Dierwelzijn is onlosmakelijk verbonden met diergezondheid en dus moeten de maatregelen veilig zijn voor de gezondheid van dieren.

Autonomie: Dieren in de Nederlandse veehouderij kunnen hun hele leven lang volledig voorzien in hun ethologische behoeften en die zonder pijn of beperkingen uitvoeren (UDV9). De ethologie bestudeert het biologische en natuurlijke gedrag van dieren (Immelmann, 1980). Een erkend conceptueel kader om dierwelzijn te beoordelen dat vaak gebruikt wordt voor het maken van beleid, is gekend als *'the five freedoms'* (van de Farm Welfare Council)¹⁴:

1. Vrij van honger, dorst en ondervoeding
2. Vrij van fysisch en thermisch ongemak
3. Vrij van pijn, verwondingen en ziekte
4. Vrij van angst en stress
5. en de vrijheid tot het uitoefenen van normaal gedrag

Dierenwelzijn gaat over de kwaliteit van het leven van dieren zoals zij dat zelf ervaren. Welzijnsaspecten worden zo ook in de wetgeving uitgewerkt, zie bijvoorbeeld de Wet dieren.¹⁵ We kijken hier vooral naar de mogelijke impact van de maatregelen op de mogelijkheden van dieren om hun ethologische behoeften uit te voeren. Specifiek, volgen we (deels) Bos et al. (2017) en kijken we naar aspecten zoals de leefruimte van de dieren in het kader van het tegemoet komen aan hun ethologische behoeften, en de mogelijkheid tot expressie van kenmerkend soorteigen gedrag (zoals het synchroon herkauwen van runderen en wroeten voor varkens of nestbouwen voor zeugen).

Rechtvaardigheid: Rechtvaardigheid als eerlijkheid, is op een wat abstracte manier uitgewerkt en betreft de (erkenning van de) intrinsieke waarde van dieren. Dieren worden met respect behandeld door hun intrinsieke waarde als wezens die gevoel hebben (in het Engels *'sentient beings'*) en niet als een bezit voor andere doeleinden (instrumentaliteit) (Mepham, 2013). Daarbij hoort ook dat routinematige ingrepen (onthoornen bij koeien en staarten couperen bij varkens bijvoorbeeld) en verwondingen aan het dier niet plaatsvinden (UDV9). Hier worden de technische maatregelen getoetst op hun impact op de intrinsieke waarde van het dier. De doelstelling van een maatregel kan goed zijn vanuit het perspectief van klimaat, maar mag niet ten koste gaan van de integriteit van het dier.

¹³ Dit aspect met betrekking tot democratie en macht is een onderwerp dat niet in de UDV-ambities werd behandeld en uitgewerkt, maar dat aan de basis ligt van sociale processen en deze structureert (Foucault 1972).

¹⁴ Grandin (Grandin, 2015) identificeert vier relevante kaders die internationaal worden toegepast om dierenwelzijn te beoordelen: (1) *The Science in its Cultural Context* (Fraser, 2008), (2) *The Five Freedoms* (Farm Animal Welfare Council – FAWC), (3) *Welfare Quality Network* en (4) de *World Organisation for Animal Health (OIE) Guiding Principles on Animal Welfare*.

¹⁵ www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/dieren/dierenwelzijn/welzijnseisen-voor-dieren/wet-dieren (geraadpleegd april 2018).

Mephram beargumenteert dat het goed is om dit principe in perspectief te plaatsen (ibid.). Hij illustreerde dit aan de hand van een humaan voorbeeld: alle mensen hebben een *intrinsieke waarde*, maar bepaalde individuen en groepen kunnen daarbij ook een *instrumentele waarde* hebben. Zoals docenten, huisartsen of veehouders die nuttige taken uitvoeren. Dit hoeft geen ethische vragen op te roepen zolang dit een (relatief) vrije keuze is en deze mensen voldoende worden vergoed voor het uitvoeren van deze taken. Door een intrinsieke waarde, in aanvulling op de instrumentele waarde (melk, vlees, etc. produceren) aan het vee te geven wordt erkend dat dieren ook met 'respect' behandeld horen te worden (Mephram, 2013).

Het milieu¹⁶

Welzijn: De Nederlandse veehouderij draagt naar rato bij aan het beperken van de globale temperatuurstijging tot maximaal 2°C (UDV2).¹⁷ Jaarlijks stoot de Nederlandse veehouderij 18 megaton CO₂ equivalenten uit (Bos et al., 2017; Rli, 2018). Om aan het klimaatakkoord van Parijs te voldoen staat in het regeerakkoord 2017-2021¹⁸ o.a. de doelstelling om methaanuitstoot uit de veehouderij per 2030 met 1 Mton CO₂ (-eq) gereduceerd te hebben. De technische maatregelen worden hier primair getoetst op hun bijdrage aan de CH₄ emissiereductie. Daarbij zijn er andere BKG die direct/indirect door de veehouderij worden geproduceerd en die belangrijk zijn om klimaatverandering tegen te gaan, bijvoorbeeld koolstofdioxide en lachgas. Waar nodig worden ook de maatregelen op hun invloed op de emissie van deze andere BKG getoetst.¹⁹

Autonomie: De biodiversiteit ligt aan de basis van het leven op aarde (en is daarbij ook van groot belang voor de primaire productie). Autonomie op het gebied van milieu kan positief beoordeeld worden als 'de Nederlandse veehouderij draagt bij aan het behoud en uiteindelijk herstel van soorten wereldwijd' (UDV3, soortenrijkdom globaal). Met name de productie van voer veroorzaakt problemen rondom landgebruik en het aantasten van biodiversiteit, bijvoorbeeld bij omzetting van graslanden in Brazilië en het tropische regenwoud in het Amazonegebied in akkerland.

Ook de soortenrijkdom in Nederland wordt niet beperkt (UDV 4, soortenrijkdom nationaal) door bijvoorbeeld de emissie en de depositie van stikstof (N) in o.a. natuurgebieden (Nationaal Natuur Netwerk en Natura 2000 gebieden).

De Nederlandse veehouderij produceert meer dan 90% van de nationale ammoniakemissie (Bos et al., 2017) en is ook verantwoordelijk voor het uitspoelen van fosfaat, nitraat en zware metalen in de grond en het water. De veehouderij zou de soortenrijkdom op eigen grond moeten herstellen (UDV 4). De veehouderij kan een bijdrage aan de biodiversiteit op eigen grond leveren door bijvoorbeeld de juiste condities (ecosystemen) te creëren voor boerenlandvogels²⁰ en andere levende organismen door het beheer van weidegronden, maaipraktijken, slootrandenbeheer, nestbescherming, etc. De technische maatregelen worden hier getoetst op hun mogelijke (of geen) impact op biodiversiteit. Dit garandeert (tot op zekere hoogte) het natuurlijke samenspel (autonomie en toekomst) van de biota.

¹⁶ In de zin van de natuurlijke omgeving, dus alle levende en niet-levende dingen die van nature voorkomen, en dus, in principe, niet artificieel zijn.

¹⁷ 'To address climate change, countries adopted the Paris Agreement at the COP21 in Paris on 12 December 2015. In the agreement, all countries agreed to work to limit global temperature rise to well below 2 degrees Celsius, and given the grave risks, to strive for 1.5 degrees Celsius (UN – Sustainable Development Goals).'
www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change-2/ (geraadpleegd, april 2018).

¹⁸ www.tweedekamer.nl/sites/default/files/atoms/files/regeerakkoord20172021.pdf (geraadpleegd oktober 2017).

¹⁹ Hiermee integreren we tot op zekere hoogte hier ook de eerste UDV ambitie, fossiele energie: 'De Nederlandse veehouderij gebruikt geen energie uit eindige bronnen, zoals fossiele brandstoffen, zowel op het primaire bedrijf als in de ketenschakels ervoor en erna.'

²⁰ www.clo.nl/indicatoren/nl1479-vogels-van-het-boerenland?ond=20877 (geraadpleegd maart 2018).

Rechtvaardigheid: De veehouderij (inclusief uitgevoerde maatregelen) zorgt voor de duurzaamheid van levens-ondersteunende systemen zoals bodem en water (UDV6-bodemkwaliteit,²¹ UDV7-watervoorraad,²² UDV8-waterkwaliteit²³).

Bij deze categorie zou het gebruik van eindige bronnen meegenomen kunnen worden (zie Mepham, 2013). We kiezen er hier echter voor om het fossiele brandstofgebruik bij de dimensie 'welzijn' van het milieu te analyseren en niet hier bij 'Rechtvaardigheid.' Deze categorie betreft dus in dit onderzoek de algeheel mogelijke vervuiling van ecosystemen en mogelijk gebruik van (oneindige/)vervuilende bronnen bij het toetsen van de technische maatregelen. We kunnen hier bijvoorbeeld aan het gebruik van gemijnde²⁴ fosfaat (UDV5, fosfaat) denken, of aan andere schaarse bronnen voor de productie van voer. Kortom, de focus ligt hier bij water (kwaliteit en voorraad) en bodem kwaliteit en gebruik van schaarse/eindige bronnen zoals gemijnde fosfaat.

2.4 De duurzaamheids-ethische toetsing

De duurzaamheids-ethische matrix faciliteert een gestructureerde analyse van effecten van de technische maatregelen op verschillende stakeholders. Het gaat hierbij zowel om feiten als percepties. De matrix werd ingevuld op basis van individuele gesprekken met experts. Daarbij hebben we ook de literatuur gebruikt om de argumenten te valideren en/of te nuanceren.

Tabel 4, en uitwerking in sectie 2.3 bevat de criteria waaraan zou worden voldaan indien het betreffende principe in een bepaalde actie zou worden nageleefd. De uitwerking betreft dan de best denkbare gevolgen voor elke stakeholder. Zo kan de impact van een bepaalde maatregel besproken/geëvalueerd worden met experts bij het invullen van de matrix. In dit geval de impact van de implementatie van een technische maatregel op het reduceren van de methaanemissie (door veehouders, burgers/consumenten, dieren, en voor het milieu). Het uitgangspunt voor de analyse is de huidige situatie, de praktijken van de gangbare veehouderij, de status quo (Mepham, 2013).

Op deze wijze wordt de kwalitatieve toetsing uitgevoerd. Soms zullen bepaalde aspecten met behulp van getallen (kwantitatief) besproken kunnen worden. Bijvoorbeeld als de mate van de methaanemissiereductie die met één technische maatregel bereikt kan worden bekend is. Echter, of dankzij de multi-focus en relatieve aanpak van de EM kunnen op basis van deze getallen verschillende conclusies voor verschillende stakeholders getrokken worden waardoor ethische vragen/dilemma's geformuleerd kunnen worden.

Voor het uitvoeren van de EM onderscheidt Mepham twee stappen, namelijk: de (1) ethische analyse en (2) de ethische evaluatie (Mepham, 2013).

- (1) De ethische analyse. Met de standaardpraktijken als uitgangspunt wordt elke technische maatregel vanuit het perspectief van iedere stakeholder als positief of negatief op een schaal van '-2' tot en met '+2' geëvalueerd. De numerieke score is alleen maar bedoeld om de bijvoeglijke naamwoorden 'zeer' (voor '+ 2' en '-2') en 'nogal' (voor '+1' en '-1') of niet significant (0) te kunnen koppelen aan de impact van een maatregel. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de implementatie van een maatregel negatieve economische gevolgen voor melkveehoud(st)ers heeft en dus een '-1' score krijgt. Als de impact niet significant is dan krijgt de maatregel voor dit principe een '0' score.

Door de aggregatie van de waarden die verschillende geraadpleegde experts hebben gegeven (gecombineerd met inzichten uit de literatuur) is het mogelijk om een eerste impressie te krijgen van

²¹ Ambitie: 'De grond die voor en door de Nederlandse veehouderij wordt gebruikt blijft geschikt voor toekomstige landbouwkundige en andere toepassingen.'

²² Ambitie: 'De Nederlandse veehouderij draagt niet bij aan de uitputting van strategische watervoorraden.'

²³ Ambitie: 'De Nederlandse veehouderij houdt het grond- en oppervlaktewater op, onder en rond haar bedrijven zuiver, zodat het geschikt blijft als basis voor drinkwater, en als vitaal ecosysteem.'

²⁴ Ambitie: 'De Nederlandse veehouderij gebruikt alleen fosfaat uit niet-gemijnde bronnen, zowel op het primaire bedrijf als in de ketenschakels ervoor. Daardoor zijn er geen eindige voorraden mineralen meer nodig voor dierlijke productie.' Deze ambitie betreft gemijnde ('rock phosphate') fosfaat die via industriële mijnbouw wordt gewonnen. De EU heeft gemijnde fosfaat als de minst substitueerbare grondstof op de lijst van kritieke grondstoffen gezet (EC, 2014).

de te verwachten impact van de maatregelen voor de verschillende stakeholders bij de verschillende duurzaamheidsaspecten en ethische principes. Daarbij gebruiken we kleuren voor de verschillende waarden om de communicatie van de resultaten te faciliteren:

Tabel 5 Waarden van de duurzaamheids-ethische analyse.

Score	Waarde	Kleur
+2	Zeer positief	Groen
+1	Nogal positief	Geel
0	Neutral	Wit
-1	Nogal negatief	Oranje
-2	Zeer negatief	Rood

De ethische evaluatie geeft vervolgens meer inzicht zodat betekenis aan de bovenstaande impressie gegeven kan worden. Deze duiding ontwikkelen we in de volgende stap.

- (2) De ethische evaluatie geeft betekenis/diepte aan de verschillende scores door deze te onderbouwen met argumenten. Deze argumentatie is nodig om het subjectieve karakter van de ervaringen, impacts en visies van verschillende stakeholders te kunnen evalueren/begrijpen. Ter validatie worden de resultaten van de evaluatie teruggekoppeld met een aantal experts en getoetst voor zo ver mogelijk met de literatuur.

Aan het einde van het traject moet de matrix een rationele besluitvorming mogelijk maken, hoewel het echter niet de uiteindelijke keuze bepaalt. Concreet biedt deze toetsing:

- Voldoende informatie om de duurzaamheids- en ethische vragen rondom of de afwezigheid hiervan bij elke interventie te specificeren.
- Informatie/uitleg over de verschillende duurzaamheids-ethische standpunten van de verschillende stakeholders.
- Het faciliteert de identificatie van domeinen van overeenstemming en onenigheid.

3 Duurzaamheids-ethische toetsing van kansrijke methaanreducerende technische maatregelen

Dit hoofdstuk betreft de toetsing van de kansrijke maatregelen die geïmplementeerd zijn of in de pijplijn zitten om CH₄ emissies te reduceren. Eerst worden de maatregelen kort uitgelegd en vervolgens worden de verschillende ethische en duurzaamheidsaspecten besproken.

3.1 Fokkerijmaatregelen bij rundvee

Fokkerijmaatregelen kunnen doelbewust ingezet worden om broeikasgasemissies te reduceren, maar ze kunnen dat ook als een afgeleid effect doen. Dit afgeleide effect kan bijvoorbeeld ontstaan bij maatregelen die niet primair gericht zijn op het verminderen van de BKG emissies, maar op bijvoorbeeld productieverhoging of het fokken van dieren die beter in staat zijn om met ziekten om te gaan. Het is daarnaast ook denkbaar om te fokken op eigenschappen die de veerkracht van dieren bij veranderingen in de omgeving (bijvoorbeeld van het klimaat) of in het management verbeteren (GRA, 2013). Deze maatregelen worden kort uitgelegd in Bijlage 1 maar zijn niet verder getoetst.



In dit onderzoek focussen we op fokkerijmaatregelen die op een expliciete wijze worden geïmplementeerd om de methaanuitstoot bij herkauwers te reduceren (GRA, 2013). Dit met de wetenschap dat de methanogenese processen die aanleiding geven tot CH₄ emissie complex zijn. Het productie/uitstoot proces wordt beïnvloed door een variatie aan genen met heterogene effecten. Momenteel wordt gezocht naar de genetische architectuur van dit nieuwe fokkerij doel (en beleid) (Bell et al., 2011a; Manzanilla-Pech et al., 2016).

In de literatuur wordt aangenomen dat met gericht fokken van herkauwers met een lage methaan productie tot een reductie van rond de 10% van de enterische emissie kan leiden zonder de productiviteit in het geding te brengen (GRA, 2013; Mirzaei-Aghsaghali & Maheri-Sis, 2016; Manzanilla-Pech et al., 2016).

Specifieke aspecten en voorbeelden van kansrijke fokkerijmaatregelen zijn:

- Het grootste deel van de methanogenese vindt plaats in de pens, en in kleinere mate (rond 13%) in de blinde darm en dikke darm (Negussie et al., 2017 en referenties daarin). Methanogenen zijn de producenten van CH₄, daarom is het logisch om aan te nemen dat hun aantal en activiteit is gekoppeld aan de CH₄-emissies (Negussie et al., 2017; Pickering et al., 2015). In de literatuur wordt al gerapporteerd over deze zoektocht. Bijvoorbeeld, Manzanilla-Pech en collega's (2016) hebben gezocht naar (*Single Nucleotide Polymorphism*) SNP om variatie in het genoom van verschillende methaan-kenmerken in Angus vleesvee te identificeren en te valideren in een lacterende Holstein-populatie.
- In de literatuur wordt ook gesproken over het fokken van dieren met een specifiek microbiom²⁵ in de pens waarmee lagere emissies kunnen worden bereikt (GRA, 2013). Een genomische analyse van de bekende micro-organismen van het microbiom van herkauwers is al uitgevoerd (Seshadri et al., 2017).

²⁵ 'The microbiome comprises all of the genetic material within a microbiota (the entire collection of microorganisms in a specific niche, such as the human gut). This can also be referred to as the metagenome of the microbiota'. <https://www.nature.com/subjects/microbiome> (geraadpleegd maart 2018).

- Het is ook mogelijk om te werken aan de vorm en de tijd dat voedingsstoffen in de pens blijven ('rumen retention time'). Methaanemissiereductie wordt bereikt doordat de dieren een kleinere pens hebben. Onderzoek bij schapen in Nieuw-Zeeland toonde aan dat een langere verblijfstijd een hogere methaanemissie betekent (Pinares-Patiño et al., 2011).

Experts merken daarbij op dat fokkerij een traag, maar wel blijvend proces is. Via het voerspoor zou je relatief snellere resultaten kunnen boeken. Met expert judgement wordt geschat dat met de huidige *state of the art* kennis en technologie binnen het fokkerijdomein gemiddeld 1% methaan emissiereductie per jaar bereikt zou kunnen worden vanaf het moment dat methaanemissiereductie in het fokdoel wordt meegenomen. De verwachting is dat dat op z'n vroegst over 5 jaar zal plaatsvinden, en er dus een reductie van rond 12% in 2035 plaatsgevonden kan hebben (De Haas, persoonlijke communicatie, mei 2018). Dit impliceert dat de aangenomen reductie van 10% in 2033 gerealiseerd zou kunnen zijn.

Duurzaamheids-ethische toetsing van fokkerijmaatregelen

Tabel 6 geeft de resultaten weer van de duurzaamheids-ethische analyse. Onder de tabel wordt verder ingegaan op de argumenten (evaluatie).

Tabel 6 Duurzaamheids-ethische toetsing van fokkerijmaatregelen.

Respect voor: Melkveehoudsters & houders	Welzijn	Autonomie	Rechtvaardigheid ('fairness')
	De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) <i>Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering</i>	Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkvee	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Veehoud(st)ers

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Neutraal

- In principe worden er geen aanvullende kosten verwacht voor de veehouders door het inbrengen van een nieuwe 'trait' (methaanreductie) binnen de huidige doorlopende fokprogramma's.
- Een aandachtspunt kan worden hoeveel energie het, biologisch gezien, de koeien gaat kosten om met deze nieuwe eigenschap om te gaan. Een van de experts die we hebben gesproken formuleerde het zo: 'koeien zijn topsporters, ze gebruiken al veel energie en hebben geen tijd/energie over.' Vanuit de ervaring rondom het fokken voor productieverbetering hebben we gezien dat een hoog genetisch potentieel voor het mobiliseren van lichaamsenergieserves voor de productie, schadelijke effecten kan hebben op gezondheid en vruchtbaarheid (Bell et al., 2011b). Dat blijkt uit het verband tussen hoge melkproductie en een verhoogde incidentie van vruchtbaarheidsproblemen en metabole stoornissen zoals ketose in melkvee (Walsh et al., 2011), mastitis en kreupelheid (Llonch et al., 2017). Overigens zijn er ook bij varkens matige tot sterke genetische correlaties gevonden tussen snelle groei, worpgrootte en voederconversie-efficiëntie enerzijds en verhoogde

osteocondrose en beenzwakte anderzijds (Llonch et al., 2017 en referenties erin). Dit zou dan een negatief effect op de rentabiliteit van veehouders kunnen hebben.

- Aan de andere kant wordt er verwacht dat fokprogramma's zich niet op het verhogen van de productiviteit zullen richten (zie Bijlage 1), want dit kan negatieve effecten voor de koe en dus voor de productiviteit hebben.
- Ook wordt gehoopt dat we het biologische mechanisme van de methanogenese goed gaan begrijpen zodat we door het implementeren van een nieuwe specifieke eigenschap geen impact op andere aspecten van de dieren hebben (het risico met black box fokken). Daarbij wordt verwacht dat de geleerde lessen rondom het fokken van hoge productiviteitslijnen ons kunnen helpen bij het introduceren van dit nieuwe fokdoel.
- Ten aanzien van arbeid kan het misschien leiden tot de verhoging van de vereiste activiteiten op het gebied van datamanagement monitoring (dit kan op zijn beurt het automatiseringsproces van de veehouderij versterken).

Autonomie - Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

- Veehoudsters zijn al op een bepaalde manier afhankelijk van de fokkerijorganisaties en van bepaalde productiviteits- en gezondheidsstandaarden. Dat wordt niet minder met het introduceren van een nieuwe eigenschap.
- Er is een grote kans dat grote fokkerijorganisaties zoals Alta Genetics of CRV binnen enkele jaren stieren in de markt kunnen zetten met een lage CH₄-uitstoot. Maar de geconsulteerde experts weten niet of kleine fokkerijorganisaties hiermee bezig zijn of de capaciteit hebben om dit nieuwe fok-doel door te voeren. Het kan wel zijn dat de praktijk dan nog meer afhankelijk wordt van grote spelers.
- Of het inbrengen van dit nieuwe doel in de fokkerijprogramma's een invloed gaat hebben op management in het primaire bedrijf is nog moeilijk te overzien. De logische redenering is dat als de koe de genetische verandering aan kan (bijvoorbeeld ten aanzien van vruchtbaarheid en gezondheid) er in principe geen aanvullend management nodig is. Mocht dit niet zo zijn dan wordt het management een belangrijk issue.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Nogal negatief

Nogal positief

- Concepten en niche producten met het label klimaat neutraal worden nu al ontwikkeld. In principe kan het feit dat veehoud(st)ers in de abije toekomst lijnen houden die een kleinere impact op het klimaat hebben vanuit een maatschappelijke invalshoek als positief worden ervaren.
- Om dit positief te laten verlopen moet hier echter een goede communicatiestrategie aan gekoppeld worden. Het reële risico bestaat namelijk dat de maatschappij een link met genetische modificatietechnologie legt en om die reden dit fokkerijtraject (ook als het met conventionele kruising plaats vindt) afkeurt.

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

- Door het fokken van dieren met een lage methaan productie wordt de volksgezondheid in principe niet slechter dan ze nu is. Het voordeel is dat er minder methaan geproduceerd zal worden met minder negatieve gevolgen voor klimaatverandering.
- Een punt van aandacht zijn de mogelijke effecten op de kwaliteit van de melk. Veel verandering bij koeien beïnvloedt de melk, die aan de basis ligt van ons huidige voedselpatronen.

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

- Veehouderijprocessen waaronder ook de fokkerij, zijn nu al een black boxen voor de meeste burgers. Of ze weten niet of ze willen niet weten hoe het precies werkt. Experts verwachten dat door het inbrengen van een nieuw fokdoel het plaatje weliswaar complexer wordt om te begrijpen voor burgers maar niet moeilijker te beïnvloeden.
- Daarbij krijgen burgers, consumenten en maatschappelijk organisaties een nieuwe knop om invloed uit te oefenen op de veehouderij en binnen het domein van klimaatbeleid en klimaatverandering.

Rechtvaardigheid – Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- Melkveehouderij wordt in het algemeen goed geaccepteerd binnen de maatschappij (Onwezen et al., 2016). In principe brengt deze nieuwe 'trait' positieve connotaties met zich mee, zolang er goed gecommuniceerd wordt en de associatie met GMO wordt voorkomen.
- Er worden geen hoge prijzen (voor veehouders en dus) voor veehouderijproducten verwacht, maar als de veehouderij blijft functioneren zoals nu dan wordt er niet verwacht dat deze eigenschap veel op of af doet aan de economische efficiëntie van de melkveehouderij en dus op betaalbare prijzen voor dierlijke producten.

Dieren (melkvee)

Welzijn - Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Nogal negatief

- Om een beoordeling te kunnen maken over de gevolgen van het introduceren van een nieuwe eigenschap binnen de huidige fokprogramma's (die nu op productiviteit en gezondheid focussen) refereren sommige experts naar voorbeelden van hoe fokkerij voor het dier heeft uitgepakt. Er wordt bijvoorbeeld gesuggereerd dat hoge productiviteitslijnen gecombineerd met een 'slecht' management een negatief effect op de koe hebben gehad. Daarnaast wordt het voorbeeld gebruikt van de zogenoemde 'plofkip' die is door gefokt voor een indrukwekkende voederconversie en groei-ritme maar die ook in staat is om 'zichzelf kapot te vreten'. Dit is gerelateerd aan de discussie hierboven over het mobiliseren van energiereserves voor productiviteitsdoeleinden en de gevolgen voor de gezondheid (Bell et al., 2011b; Walsh et al., 2011; Llonch et al., 2017).
- Experts vragen ook speciale aandacht voor de mogelijke gevolgen van het aanpassen van organen (dat wil zeggen fokken op herkauwers met kleine pens). Deze gevolgen zijn namelijk moeilijk te overzien. Onderzoek in Nieuw-Zeeland toonde aan dat een methaanemissiereductie van 10% bij schapen haalbaar is (Pinares-Patiño et al., 2011). Deze schapen hebben een kleinere pens waardoor het voer er kortere tijd in verblijft. De dieren halen er dan waarschijnlijk minder energie uit. Dit moet in de gaten gehouden worden. In het geval van koeien is dit nog een onbekend terrein, maar zou kunnen leiden tot een negatieve energiebalans als het productieniveau gelijk blijft en het energiegehalte van het voer niet aangepast wordt.

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Ethologische behoeften bij herkauwers zijn zeer gerelateerd aan het proces van herkauwen van ruwvoer. Dus een voorwaarde voor deze maatregel is dat het dier moet kunnen blijven herkauwen naar eigen behoefte. Een kleinere pens kan betekenen dat er minder ruwvoer inpast en een mogelijk effect op voeropname en vertering kan ontstaan. Dit kan misschien gevolgen hebben voor herkauw patronen.

- Het is niet waarschijnlijk dat koeien (herkauwers) ophouden met methaan te produceren. Mocht lage methaan emissie als fokdoel geïnstitutionaliseerd worden dan gaat zeer waarschijnlijk de natuurlijke variatie van 10% tussen individuen overschreden worden (zoals met de productiviteit is gebeurd). Tijdens een bespreking met een welzijnsexpert over deze intuïtief natuurlijke grens van 10% en de mogelijk extreme en zelfs onwaarschijnlijke scenario's ten aanzien van de intrinsieke waarden van koeien concludeerde hij: '[...] als een fokkerijmaatregel geen effect op gezondheid en welzijn heeft dan is het oké. [...] een éénmagige koe is geen koe maar een koe die geen methaan produceert (en hier denk ik aan additieven bijvoorbeeld) kan wel een koe blijven' (Van Reenen, persoonlijke communicatie, september 2018).

Milieu

Welzijn - CH₄ (BKG) emissiereductie:

Nogal positief

- Een reductie van de enterische methaanemissie van rond 10% ten opzichte van de huidige emissiewaarden is een nogal positieve ontwikkeling.
- Deze reductie zal echter een ontwikkeling van de lange adem zijn omdat fokprocessen langdurig zijn. Ook kunnen deze processen effecten hebben op andere aspecten. Als herkauwers bijvoorbeeld een kleinere pens hebben dan blijft voer daar korter in en dit kan gevolgen hebben voor de consistentie van mest en dus ook voor de vergisting. In haar proefschrift heeft Corine van Middelaar (Van Middelaar, 2014) zich gericht op het ontwikkelen van een integraal model om het effect van (voer en) fokkerijmaatregelen op ketenniveau te bepalen. Met deze integrale benadering probeerde ze rekening te houden 'met verandering in het management op het melkveebedrijf ten gevolge van de maatregel' of 'met de uitstoot van broeikasgassen tijdens andere processen in de keten' (ibid.). Om effectief te zijn bij het reduceren van emissies (voorwaarde) moeten fokkerij maatregelen gepaard gaan met goede een klimaatvriendelijke voedings- en managementmaatregelen.

Autonomie – biodiversiteit:

Neutraal

- In principe zullen laag(er dan nu) methaan emitterende koeien geen verdere effecten op biodiversiteit hebben (anders dan hun, waarschijnlijk, kleinere bijdrage aan klimaatverandering).
- We weten nog niet wat het effect van fokkerijmaatregelen op stikstofexcretie en dus op ammoniakemissie en nitraatbelasting zal zijn.

Rechtvaardigheid - Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Neutraal

- In principe neutraal.
- Mochten herkauwers door een kleinere pens het voer korter binnen houden dan kan dit gevolgen hebben voor de kwantiteit en de kwaliteit van de organische stof in de mest. Welke kant dit op gaat, positief of negatief, is moeilijk te zeggen.

3.2 Voermaatregelen

Voer is onlosmakelijk verbonden met de productiviteit en de gezondheid van dieren en ook met de BKG emissies, zowel enterisch als die uit mest. Daarbij wordt het grootste aandeel van de BKG emissies op het primaire bedrijf van runderen veroorzaakt door het verteringsproces en daarmee de enterische fermentatie (Borhan et al.2012). Šebek et al. (2016) bijvoorbeeld schatten dat 'ongeveer de helft van de *on-farm* broeikasgasemissies en ongeveer 35-40% van de broeikasgasemissie in de zuivelketen



gerelateerd is aan de microbiële afbraak van voer (enterisch methaan)'. Er zijn een aantal technische maatregelen gerelateerd aan dit voerspoor die geïmplementeerd kunnen worden om deze bron van emissies aan te pakken. Het wordt algemeen erkend dat een verbetering van de kwaliteit van koolhydraten in gras de karakteristieken van de pens fermentatie, de pensvertering en postruminale spijsvertering beïnvloeden en de methaanproductie verlagen (Hatew, 2015). Voederstrategieën worden gezien als de meest haalbare om op korte tot middellange termijn de CH₄-uitstoot van de melkveehouderij te verlagen en daarmee een bijdrage te leveren aan de internationale verplichtingen van overheden ten opzichte van de klimaatveranderingen (ibid.). Een van deze maatregelen betreft het verhogen van de voeropname (zie Bijlage 1). Deze wordt hier niet gekozen voor analyse omdat deze maatregel de huidige praktijk is en niet wordt geïmplementeerd om CH₄ te reduceren.

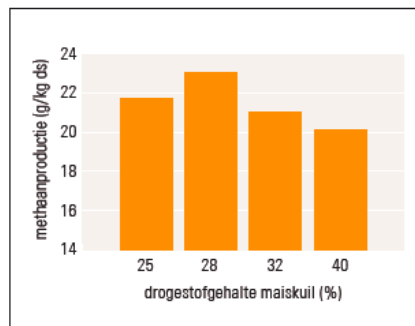
Hier focussen we op de voermaatregelen waarmee men denkt de emissie van methaan te kunnen beïnvloeden/reduceren. Deze maatregelen hebben te maken met (1) de *rantsoensamenstelling en de kwaliteit van het voer* en (2) het *gebruik van inhibitors van de pens fermentatie*.

3.2.1 Voermaatregelen: rantsoensamenstelling en kwaliteit van voer

Het aandeel snijmais in het ruwvoer is een belangrijke factor die de enterische methaanemissie van melkvee beïnvloedt. Vooral het toevoegen van extra vet en zetmeel is belangrijk om de verteerbaarheid te verbeteren.²⁶ Voeders kunnen lipiden van plantaardige olie of dierlijk vet bevatten. Het voeren van vet aan herkauwers verlaagt methaanemissies, 3,77% bij rundvee en 4,30% bij schapen per 1% dieetvetten (Patra et al., 2017). Via de aanpassing van de grondstoffsamenstelling van mengvoeder kan het mogelijk zijn om, met behoud van de voederwaarde en nutriëntengehalten, een reductie van de methaanemissie tussen 5% en 10% te realiseren (Bannink, persoonlijk communicatie, mei 2018; Šebek et al., 2016).

Een andere maatregel betreft het *verhogen van de kwaliteit van ruwvoer*. 'Het effect van de kwaliteit van ruwvoer op de methaanemissie voor vers gras en graskuil is vergelijkbaar' (Šebek et al., 2016). 'Een hoge en lage opbrengst van vers gras en van graskuil, met in beide gevallen een maximaal verschil in methaanemissie van 4 g methaan/kg gras(kuil). De methaanemissie (g/kg ds) voor vers gras is ongeveer 1 g CH₄/kg ds hoger dan voor graskuil. Deze verschillen zijn niet toepasbaar voor extreme groeiomstandigheden en minder reguliere vormen van bedrijfsvoering en graslandmanagement' (ibid., blz. 7-8).

Het effect van ruwvoer kwaliteit is voor snijmaissilage te relateren aan de voerkenmerken en de mate van rijping van de maisplant. Daarbij kan het zetmeelgehalte of het NDF-gehalte gebruikt worden. De methaanemissie van een gemiddelde maiskuil daalt per 10 g stijging van het zetmeelgehalte met 0,5 g methaan/kg droge stof snijmais en daalt per 10 g daling van het NDF-gehalte met 0,8 g methaan/kg droge stof snijmais. Hiermee zou in principe een reductie van 10 % bereikt kunnen worden maar dit zal in de praktijk wellicht minder zijn omdat veel veehouders nu al mais in rijp stadium oogsten (Bannink, persoonlijk communicatie, mei 2018).



Figuur 3 CH₄ productie per kg droge stof uit maiskuilrantsoenen bij snijmais die op verschillende momenten werd geoogst (Bannink et al., 2015).

Er blijkt een directe relatie te zijn tussen de methaanuitstoot van rundvee en de kwaliteit en verhouding van weidegras, graskuil en maiskuil (GRA,

²⁶ 'Om de effecten van het type en het niveau van zetmeel in het krachtvoer te onderzoeken werden krachtvoerders die verschillen in zetmeelfermentatiesnelheid (langzaam vs. snel afbreekbaar in de pens; onbehandelde vs. ontsloten mais) en in inclusieniveau van zetmeel in de krachtvoerders (laag vs. hoog; 270 vs. 530 g/kg droge stof in het krachtvoer) geformuleerd en verstrekt aan 40 lacterende melkkoeien in de vorm van een gemengd rantsoen met een 60:40 (op basis van droge stof) verhouding voor kuilgras en krachtvoer [...]. De resultaten lieten zien dat toevoeging van 530 versus 270 g zetmeel / kg krachtvoer de CH₄-emissie per eenheid geschatte pensfermenteerbare organische stof (eRFOM) aanzienlijk verminderde (43,1 vs. 46,9 g / kg eRFOM). Bovendien was de CH₄-emissie per kilogram eRFOM hoger voor langzaam-fermenteerbaar dan voor snel-fermenteerbaar zetmeel (47,4 vs. 42,6 g / kg eRFOM)' (Hatew, 2015).

2013; Warner et al., 2017). Jonger gras verlaagt de methaanuitstoot bijvoorbeeld aanzienlijk²⁷ omdat oud gras moeilijk verteerbaar is (Hatew, 2015). Dus eerder grasmaaien is een goede strategie voor methaanreductie. De oogstmomenten van gras en maïs verlagen de methaanuitstoot door melkvee (Bannink et al., 2015). Uit onderzoek blijkt dat 'een maaskuil van later geoogste snijmais een lagere methaanuitstoot geeft.' Bannink en zijn collega's concluderen dat 'per procent drogestof toename van snijmais in maisrijke rantsoenen de methaanvorming per kilogram meetmelk met 1,5 procent wordt verlaagd'²⁸ (Bannink et al., 2015).

Bannink et al. geven aan dat 'een toename in drogestofgehalte van snijmais van 25 tot 40 procent liet een trend zien met tien procent daling in de methaanemissie, uitgedrukt per kilo opgenomen droge stof. Die daling aan methaanemissie was 8 procent als die werd uitgedrukt per kilo meetmelk, en 7 procent als die uitgedrukt werd per eenheid bruto energie (maat die internationaal gehanteerd wordt)' (ibid.). Daar voegen deze onderzoekers aan toe dat 'een hoger drogestofgehalte van maaskuil geen negatieve gevolgen had voor de prestaties van de melkkoeien, waaronder de efficiëntie van de stikstofbenutting' en de vertering (Bannink et al., 2015) zie ook (Massé et al., 2016).

Duurzaamheids-ethische toetsing van voermaatregelen, rantsoensamenstelling en de kwaliteit van de voeding

Tabel 7 Duurzaamheids-ethische toetsing van voermaatregelen: rantsoensamenstelling en de kwaliteit van de voeding.

Respect voor: Melkveehoudsters	Welzijn De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Autonomie Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering	Rechtvaardigheid ('fairness') Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkvee	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Veehoud(st)ers

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- Het wordt duurder voor veehouders. Een rijker (dan momenteel gebruikt) zetmeel rantsoen is duurder. 'De kostprijs voor het verlagen van de methaanemissie per kg mengvoer bleek bij de grondstoffenprijzen van 2015/2016 te variëren van +0,09 tot +2,83 €/100 kg mengvoer. De stijging van de kostprijs was voor het zetmeelrijke mengvoer het grootst en voor het standaard mengvoer het laagst' (Šebek et al., 2016). Zie ook (Borhan et al. 2012)
- Van een rantsoen rijker aan vet is het onduidelijk of het extra kosten met zich meebrengt. Dit is afhankelijk van de oorsprong van het vet.
- Op korte termijn is er geen businessmodel om de extra kosten te dekken. Mochten er nicheproducten ontstaan dan kan dat veranderen.
- Ten aanzien van gras zouden we een verschil moeten maken tussen (a) meer vers gras en (b) jonger gras inkuilen. Voor veehoudsters is (a) positief omdat er minder inkuilkosten zijn.

²⁷ <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Latere-oogst-van-snijmais-verlaagt-de-methaanuitstoot-door-melkvee.htm> (geraadpleegd maart 2018).

²⁸ 'Langer wachten met oogsten in de herfst om de drogestofgehalten tot boven de 40 procent te bereiken werd te risicovol voor de oogst en zou het slagen van het experiment in gevaar hebben gebracht' (ibid.).

Daarbij is er misschien meer beweiding mogelijk/nodig. Maar aan de andere kant zijn er misschien meer (arbeids)kosten omdat gras vaker gemaaid moet worden. Bij inkuilen van jonger gras (b) nemen de kosten toe, veehoud(st)ers moeten bijvoorbeeld vaker maaien als gras jonger gemaaid moet worden. Daarbij wordt het door klimaatverandering steeds moeilijker om hierop te sturen met droge zomers en bij bepaalde gebieden zoals zandgronden.

- Mais voeren dat laat geoogst is zal vooral in gebieden waar veel snijmais in het rantsoen zit een significante reductie van de methaanproductie in de pens opleveren (Zuidoost Nederland). Late oogst heeft ook nadelen omdat het risico op natheid groter is en vanggewassen pas later ingezaaid kunnen worden²⁹ (Bannink et al., 2015).
- Vooral voor drachtige en lacterende koeien is energierijk voer positief voor de gezondheid en de productiviteit (Llonch et al., 2017). Daarbij moeten we er echter rekening mee houden dat hoge concentraties vet negatieve effecten voor de gezondheid van dieren kunnen hebben (zie hieronder) en dus ook voor hun productiviteit.

Autonomie – Veehoud(st)ers hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Nogal negatief

- Veehoud(st)ers zijn al afhankelijk van voerbedrijven en adviseurs. CH₄ wordt een nieuwe variabele in het geheel en dit maakt het niet makkelijker voor veehoud(st)ers om 'voer te begrijpen' en te managen voor een optimale bedrijfsvoering. Deze methaanverlagende maatregelen kunnen deze afhankelijkheid versterken.
- Een groter aandeel van vet en zetmeel in het rantsoen zal waarschijnlijk niet op eigen grond geproduceerd kunnen worden en van derden ingekocht moeten worden – import afhankelijkheid is ook mogelijk.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Neutraal

Nogal negatief

- Mocht er goed gecommuniceerd worden dat de toevoeging van zetmeel en vet een klimaatvriendelijke maatregel is, dan zou de acceptatie van veehouderij hoger kunnen worden. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de maatschappelijke waardering van melkveehouderij momenteel positief is in vergelijking met bijvoorbeeld pluimvee en varkenshouderij (Onwezen et al., 2016).
- Het positieve/negatieve effect van deze maatregel is afhankelijk van andere aspecten zoals eventuele concurrentie met humaan consumeerbaar zetmeel en van de oorsprong van het extra vet en zetmeel. Mocht dat bijvoorbeeld uit het Amazonegebied komen dan zou het imago slechter kunnen worden vanwege een grote footprint, ontbossing, omzetten van regenwoud in landbouw, etc.
- Mocht meer zetmeel en vet een negatieve invloed op de weidegang of herkauwgedrag van koeien hebben dan zou het imago van melkveebedrijven kunnen verslechteren.

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

- Het is moeilijk om te bedenken wat de gevolgen voor de volksgezondheid kunnen zijn. Melksamenstelling en kwaliteit zouden kunnen veranderen. Maar in principe is te verwachten dat door alle kwaliteitsstandaarden en controles deze verandering in het voer geen risico's voor de volksgezondheid met zich mee brengt.

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

²⁹ In de toekomst zullen agrarisch-ondernemers te maken hebben met onzekerheden ten aanzien van het juiste oogstmoment vanwege klimaatverandering.

- Voer is nu al een 'black box' voor burgers. Het grootste deel van de bevolking kiest hun producten op basis van prijs uit de gangbare veehouderij. Een kleiner deel bijvoorbeeld consumenten die voor biologische producten kiezen betreft ook de herkomst en productiemethode van veevoer in de overwegingen.
- Mocht de oorsprong van zetmeel of vet uit discutabele bronnen komen dan kunnen burgers en maatschappelijke organisaties dit als een nieuw thema zien om invloed op de veehouderij uit te oefenen.
- Het is nadelig wanneer het verhogen van het aandeel zetmeel en vet in het rantsoen concurreert met directe menselijke consumptie (vooral in regio's met honger).
- Bij extreme droogte kan het gebeuren dat in vers ingekuilde mais nitreuze gassen ontstaan omdat dan meer stikstof in de mais zit dan gewoonlijk. Deze bruinegekleurde gassen zijn zeer giftig en bijtend en kunnen grote risico's opleveren voor mens en dier.³⁰ Dit is in 2018 voorgevallen.

Rechtvaardigheid – Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- Meer vet zou in principe geen effect op omwonenden en consumenten hebben. Zeer waarschijnlijk zullen hiervoor niet de duurste vetbronnen gebruikt worden en dus prijsstijgingen zijn niet te verwachten.
- Meer zetmeel zou wel een effect kunnen hebben op de prijs van melk en melkproducten door het toenemende volume (meer transport, grasland in mais omzetten) dat nodig is voor de relatief grote Nederlandse veestapel.
- Burgers/recreanten en omwonenden vinden grazende koeien belangrijk.³¹ Als het toevoegen van meer zetmeel/vet in het rantsoen zou betekenen dat koeien meer binnen moeten zijn dan is het mogelijk dat omwonenden en burgers melkveebedrijven minder zouden kunnen gaan waarderen.

Dieren (melkkoeien)

Welzijn – Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Neutraal

Nogal negatief

- Als de koeien voldoende gras en ruwvoer krijgen dan zou het in principe neutraal kunnen zijn. De voorwaarde is dat de koe een herkauwer is en behoefte heeft aan voldoende ruwvoer met vezels voor het herkauwen.
- Te veel vet of zetmeel kunnen ongezond zijn voor de koe. Het huidige rantsoen is, in principe, goed afgestemd op de huidige dieren om een hoge productiviteit te kunnen bereiken. Daarbij wordt op sommige (hoge productie) bedrijven nu al op de grens gevoerd met een rantsoen dat rijk is aan zetmeel. Nog meer zetmeel kan dan leiden tot bijvoorbeeld pensverzuring. Dit is een onwaarschijnlijk scenario.
- Toevoegen van te grote hoeveelheden vet kan een vermindering van de verteerbaarheid van vezels geven; 10% vet in het dieet resulteerde in een verlaging van de vezelvertering met ongeveer 50% (Jenkins, 1993). Dergelijke hoeveelheden worden momenteel in Nederland echter niet gevoerd. De literatuur meldt dat er een grens zit aan het toevoegen van vet aan het dieet, en die ligt op 5 tot 8 % (Llonch et al., 2017 en referenties daarin). Grotere hoeveelheden kunnen de gastro-intestinale functies van herkauwers negatief beïnvloeden en daarmee hun gezondheid.
- Met name bij vet wordt de bron van vet als mogelijke zorg door experts gezien. Slecht frituurvet kan bijvoorbeeld schadelijke stoffen bevatten.

³⁰ <https://www.kennisplatformveehouderij.nl/nieuws/waarschuwing-voor-giftig-maiskuilgas> (geraadpleegd oktober 2018).

³¹ In 2017 kwamen ongeveer 1,7 miljoen koeien (68% van de veestapel) regelmatig naar buiten (www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2018/28/weidegang-van-melkkoeien-2017, geraadpleegd oktober 2018). Daarbij meldt de WUR dat momenteel bij 85% van de melkveebedrijven in Nederland weidegang volgens het convenant mogelijk is (d.w.z. 6 koeien per ha, 6+ uur per dag, 120+ dagen per jaar (www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/Weidegang-1.htm, geraadpleegd oktober 2018)).

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

Nogal negatief

- Graskuil van een hoge kwaliteit kan positief voor koeien uitpakken.
- Aan de andere kant kan een overdadig vetrijk rantsoen met weinig ruwvoer aanleiding zijn voor abnormaal oraal gedrag. Kalveren die te weinig vezelrijk ruwvoer krijgen ontwikkelen stereotiepgedrag (zoals tongspelen en tongrollen).

Rechtvaardigheid - De intrinsieke waarde wordt gerespecteerd:

Neutraal

- Zolang de maatregel geen problemen voor diergezondheid en welzijn oplevert is deze neutraal.
- Goed management is hierbij nodig, want er zijn dieren die gaan kiezen voor een energierijk rantsoen ook als dat ongezond kan zijn. Evolutionair gezien is energierijkvoedsel positief geweest om koude perioden te overleven maar er zijn uiteraard grenzen.

Milieu

Welzijn - CH₄ (BKG) emissiereductie:

Neutraal

- Elke reductie van de methaanemissie is in principe positief voor het milieu. Maar een hoger percentage zetmeel in het rantsoen is veelal moeilijk te produceren op het primaire bedrijf zelf en moet dan daarbuiten ingekocht worden. Dit kan meer transport bewegingen tot gevolg hebben, wat een hoger energieverbruik per eenheid product zou betekenen. De totale BKG-emissie zou zelfs kunnen stijgen in geval van het importeren, niet alleen door de stijging van transportbewegingen maar ook door andere factoren zoals 'land use change' (Bos et al., 2017).).
- Onduidelijk is welke invloed een vet- of zetmeel-rijk rantsoen invloed heeft op de samenstelling van mest en daarmee op de methaanemissie uit mest.

Autonomie – biodiversiteit:

Neutraal

- Door bewust te werken aan de rantsoensamenstelling is het mogelijk om de eiwitbenutting door de koe te verbeteren waardoor de ammoniakemissie kan worden gereduceerd. Later inscharen beperkt enerzijds de ammoniakemissie, maar vers gras beperkt anderzijds de methaanemissie.³²
- Als meer zetmeel betekent dat er in Nederland meer grasland omgezet gaat worden in maïsland dan kan dat negatieve gevolgen voor weidevogels hebben. Ook het vroeg maaien van gras zal negatief voor hen uitpakken.

Rechtvaardigheid - Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Neutraal

- Voordat hier een oordeel gegeven kan worden moet duidelijk zijn waar het extra vet/zetmeel vandaan komen, hoe worden ze geproduceerd, etc.
- Er zijn vele onvoorspelbare factoren die een rol spelen. Door bijvoorbeeld klimaatverandering is de productie van meer zetmeel op het eigenbedrijf (mais op huidige graslandgronden) onzekerder vanwege extreme weeromstandigheden. Aan de andere kant zou de koe ook gebruikt kunnen worden om reststromen uit de humane voedselproductie te verwerken.

3.2.2 Voermaatregelen, gebruik van inhibitors

Een interessante voer-gerelateerde maatregel betreft het gebruik van inhibitors. Sommige chemische verbindingen kunnen een remmende werking hebben op methaanproducerende micro-organismen in de pens. Het effect is aangetoond bij proeven met dieren waarbij sommige stoffen resulteren in een

³² www.proeftuinnatura2000.nl/wp-content/uploads/2017/06/Optimaliseren-verhouding-energie-eiwit.pdf (geraadpleegd oktober 2018)

minimale emissie (GRA, 2013). Onlangs hebben Patra *et al.* (2017) een inventarisatie van mogelijke inhibitors gemaakt: 'coenzyme M analogs, halogenated aliphatic C1-C2 hydrocarbon' (zeewier en algen, korstmos en schimmels kunnen hoge concentraties van deze stoffen bevatten) (ibid.). Deze onderzoekers melden verder dat twee nieuwe synthetische verbindingen (3-Nitrooxypropanol, dit is de zogenoemde 3NOP en ethyl-3NOP) een inhiberende werking hebben.

Er zijn ook andere middelen in de literatuur gerapporteerd met deze eigenschap zoals rood zeewier ('red marine macroalgae, *Asparagopsis taxiformis*). Kinley *et al.* (2016) rapporteerden dat rood zeewier enterische methaanproductie in vitro tot 99% vermindert (zie ook Li *et al.*, 2018). Een barrière voor de commercialisatie van rood zeewier is volgens Kinley *et al.* (2017) echter de opschaling naar massaproductie die vereist is voor de veevoermarkt. Blijkbaar speelt daarbij de verwerkingsmethode (uitdroging) in verband met de standaardisatie van de kwaliteit ook een rol (ibid.). Belangrijker nog is dat deze stoffen die de methaanproductie remmen toxisch zijn en dus een risico voor de volks- en diergezondheid zijn.

Knoflookolie kan ook een effect op de methaanemissie hebben. In vitro studies rapporteren een reductie van 91%. In vivo testen zijn echter nauwelijks uitgevoerd (Patra *et al.*, 2017 en referenties erin). 'In het lab werkte het heel goed, maar in levende dieren deed het niks, nul. Behalve dat de hele stal naar knoflook stonk, en de melk ernaar proefde' (Dijkstra in Aan de Brugh, 2016).

In dit onderzoek hebben we het effect van toevoeging van 3-NOP en nitraat aan het voer geanalyseerd, als meest belovende additieven.

(a) 3-NOP (3-nitrooxypropanol) is door DSM Nutritional Products AG gepatenteerd (Duval & Kindermann, 2012). Duin *et al.* (2016) leggen de werking van dit middel uit. In eerder onderzoek dat met name in Amerika en Canada werd uitgevoerd is 3-NOP zeer succesvol gebleken: bij koeien en schapen daalde de methaanuitstoot tussen 16 en 30 procent en deze was zeer persistent in de tijd (Hristov *et al.*, 2015; Aan de Brugh, 2016; Jayanegara *et al.*, 2018; Martinez-Fernandez *et al.*, 2018).³³

(b) Nitraat (NO₃). Er is onderzoek uitgevoerd met Texelse lammeren en de toevoeging van nitraat, samen met het Amerikaanse voerbedrijf Cargill (Klop, 2016). Sommige lammeren kregen NO₃ bij het voer. De methaanuitstoot van de dieren die NO₃ kregen bleek ruim 30 procent minder te zijn vergeleken met de controlegroep (Aan de Brugh, 2016). Bij zwartbonte melkkoeien was de verlaging van de methaanuitstoot iets minder spectaculair, maar nog wel 16 procent. Toevoeging van NO₃ aan het voer had geen negatieve gevolgen voor de melkproductie (zie ook Troy *et al.*, 2015). Cargill heeft het gebruik van nitraat in veevoer gepatenteerd, maar het bedrijf heeft het nog niet gecommercialiseerd (Aan de Brugh, 2016). Vergelijkbare resultaten met melkkoeien werden ook door van Zijderveld *et al.* (2011) gerapporteerd.

Momenteel zijn veel van deze inhibitors commercieel niet interessant (GRA, 2013; Patra *et al.*, 2017). Nitraat is bijvoorbeeld duurder dan andere simpele bronnen van stikstof zoals ureum en 3-NOP. Momenteel leveren inhibitors geen economisch voordeel voor veehouders op omdat de melkproductie en inkomsten hetzelfde blijven. Zolang de bewustwording ten aanzien van klimaatverandering niet groter wordt, er geen nieuwe economische incentives worden gecreëerd, en/of er geen wettelijke verplichting is zullen deze middelen zeer waarschijnlijk niet in de praktijk geïmplementeerd worden. Als we zo ver zijn, kunnen inhibitors via water, voer of een bolus toegediend worden.

³³ www.dsm.com/corporate/science/challenges/climate-energy/methane-reduction.html (geraadpleegd juli 2018).

Duurzaamheids-ethische toetsing van voermaatregelen, gebruik van inhibitors

Tabel 8 Duurzaamheids-ethische toetsing van voermaatregel gebruik van inhibitors.

Respect voor:	Welzijn	Autonomie	Rechtvaardigheid ('fairness')
Melkveehoudsters	De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) <i>Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering</i>	Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkvee	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Veehoud(st)ers

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- De kosten voor de veehouders zullen, in principe, stijgen.
- Er zijn vele factoren die deze stijging zullen beïnvloeden, zoals de prijzen van de inhibitors. 3-NOP en NO₃ bijvoorbeeld zijn nu door patenten beschermd. Dat maakt prijsconcurrentie lastiger, wat nadelig kan zijn voor veehouders. Andere mogelijke factoren die de kosten voor de veehouder kunnen beïnvloeden zijn de hoogte van een eventuele subsidie vanuit de overheid, en de mate waarin deze maatregel financieel kan worden gewaardeerd via retail en consumenten.

Autonomie - Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

Nogal negatief

- Voerbedrijven zijn en blijven machtig binnen de keten en boeren zijn afhankelijk van deze bedrijven en hun adviseurs. Zeer waarschijnlijk zullen voerbedrijven de leverancier van deze additieven worden.
- Patenten spelen een rol bij de mogelijke controle over deze ontwikkelingen.
- Mochten er nieuwe klimaatnormen geïmplementeerd worden kan het zijn dat veehouders gedwongen worden om deze middelen te gebruiken.
- Nitraat kan negatief zijn voor de gezondheid van de koe. Daarom is er gewinning van de dieren, training, controle en handhaving nodig om te zorgen voor een goede en veilige implementatie.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Neutraal

Nogal negatief

- Een goede communicatiestrategie is bij inhibitors nodig om het positieve verhaal rondom de klimaatvriendelijkheid van de maatregelen te laten prevaleren boven het negatieve debat ten aanzien van het toevoegen van synthetische middelen aan veevoer. Het wantrouwen tegen boeren kan toenemen omdat er synthetische middelen aan het rantsoen worden toegevoegd.

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

Nogal negatief

- Momenteel zijn er goede kwaliteitscontroles voor voedsel en consumentenproducten.
- Het toedienen van deze middelen moet echter ook correct plaatsvinden op het primaire bedrijf.
- Het is nog niet bekend wat het effect van langdurig gebruik op de melkwaliteit is, of op andere producten.

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

Nogal negatief

- Als deze middelen gecommmercialiseerd worden dan zullen nieuwe actoren een rol in de keten gaan spelen.
- Patenten spelen hier ook een rol.

Rechtvaardigheid - Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- De toepassing van 3-NOP heeft in de experimenten die tot nu toe zijn uitgevoerd geen negatief effect op de kwaliteit van de melk (Hristov et al., 2015).
- Ten aanzien van de prijs is nog niet duidelijk (1) wat de kosten van deze middelen zullen worden en (2) wie in de keten de hogere prijs gaat betalen (boeren, retail, consumenten of de overheid via subsidies).

Dieren (melkvee)

Welzijn - Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Neutraal

Nogal negatief

- De literatuur meldt dat het niveau van de voeropname bij het gebruik van 3-NOP gelijk is gebleven bij uitgevoerde experimenten (Hristov et al., 2015; Martinez-Fernandez et al., 2018) en dat er geen toxische effecten zijn gevonden. Llonch en zijn collega's (Llonch et al., 2017) pleiten echter voor aanvullend onderzoek voordat dit middel wordt gecommmercialiseerd.
- Nitraat is een ander geval. Het voeren van 0.22 tot 0.33 g nitraat/kg lichaamsgewicht kan binnen 3 uur leiden tot de dood van koeien (Llonch et al., 2017 en referenties daarin). Het blijkt echter mogelijk om dieren geleidelijk om aan hoge niveaus van nitraat te laten wennen zonder negatieve effecten voor diergezondheid (Van Zijderveld et al., 2011). Bij verkeerde of onzorgvuldige toepassing kan deze maatregel (een overdosis aan nitraat) negatieve effecten voor de gezondheid van het dier hebben.

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Misschien dat het voeropnamepatroon iets wijzigt. Indicaties hiervoor zijn gevonden voor nitraat, maar niet gemeld voor 3-NOP.

Rechtvaardigheid - De intrinsieke waarde wordt gerespecteerd:

Neutraal

- Dit is uiteraard onlosmakelijk verbonden met de mogelijke gevolgen voor diergezondheid, maar in principe zijn er geen fysieke ingrepen nodig bij het dier voor het implementeren van deze maatregelen.
- Daarbij kan de vraag gesteld worden of het feit dat nitraat giftig is (een gewenningsproces is nodig) niet de intrinsieke waarde van het dier aantast.

Milieu

Welzijn - CH₄ (BKG) emissiereductie:

Nogal positief

- 3-NOP (Hristov et al., 2015; Aan de Brugh, 2016; Jayanegara et al., 2018; Martinez-Fernandez et al., 2018) en nitraat (Troy et al., 2015; Aan de Brugh, 2016) zijn inhibitors die de enterische methaanproductie tussen 16% en 30% kunnen reduceren.

Autonomie – biodiversiteit:

Neutraal

- Toevoeging van nitraat kan in sommige gevallen leiden tot een hogere excretie van ammoniak wat negatief is voor de biodiversiteit. Zonder gelijktijdige beperking van de N-gift in het rantsoen heeft deze extra stikstof meer ureum in de urine tot gevolg. Ammoniak leidt via stikstofdepositie in natuurgebieden tot verarming van de biodiversiteit. De winst voor het klimaat die met nitraat bereikt kan worden zou deels te niet kunnen worden gedaan door dit negatieve effect op biodiversiteit (Llonch et al., 2017).

Rechtvaardigheid - Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Neutraal

- Volgens de geconsulteerde experts wordt 3-NOP reeds in de koe afgebroken tot stoffen die van nature ook al in het lichaam van de koe voorkomen. Mede daarom komt 3-NOP met de beoogde dosering niet in het milieu terecht.

3.3 Mestmaatregelen

Het standaard Nederlandse melkveebedrijf heeft rond de 100 koeien in een ligboxenstal. Mest en urine komen via een roostervloer in de mestkelder, en worden daar samen als drijfmest opgeslagen. Van de emissie van CH₄ op dit type bedrijven is ongeveer 20% afkomstig uit mest. 'Deze bron van methaan kan flink gereduceerd worden (30%-90%), waarmee de totale methaanemissie op het gemiddelde Nederlandse melkveebedrijf 6%-18% kan worden verminderd. Daarmee wordt de totale broeikasgasemissie van het melkveebedrijf met 3% - 9% verminderd' (Šebek et al., 2016). 'De methaanemissie bij aanwenden is verwaarloosbaar klein' (ibid.) (zie Bijlage 1). Voor de varkenshouderij is ongeveer 70% van de methaanemissie afkomstig uit mest en de effecten van maatregelen hebben hier een relatief groter effect.

Er zijn meerdere factoren die de emissie van CH₄ bepalen (voersamenstelling, leeftijd van de dieren) (Groenestein et al., 2012). Deze factoren zijn bepalend voor de samenstelling van de mest (pH, organische stof, droge stof, C/N ratio en O₂ concentratie), mesthoeveelheid, leeftijd van de mest en daarbij de opslagtijd en de mesttemperatuur (ibid.). Het belang van deze factoren wijzen ook naar de technische oplossingsrichtingen die momenteel worden ontwikkeld en die als kansrijk worden gezien om methaanemissie te reduceren.

3.3.1 Mest frequent uit de stal verwijderen

Met het verwijderen van de mest uit de stal haal je de bron van de (niet enterische) emissie weg. Verse mest produceert weinig methaan, zeker als je daarnaast de vloeren en de mestkelders goed schoonhoudt waardoor weinig bacteriën aanwezig zijn die methaan kunnen vormen (Petersen et al., 2014). De mest die langere tijd in de mestputten achterblijft bevat bacteriën die actief zijn waardoor methanogene activiteit sneller opbouwt (enting of inoculatie) (Groenestein et al., 2010; Šebek et al., 2016). Uit onderzoek blijkt dat het 2 of 4 keer leegmaken van de mestopslagtank tijdens de zomerperiode de methaanuitstoot (uit mest) gemiddeld met respectievelijk 40 en 80% vermindert (Massé et al., 2016; zie ook Willeghems et al., 2016).

Het frequent verwijderen van mest kan worden toegepast in combinatie met primaire scheiding. Hoewel primaire scheiding nauwelijks wordt toegepast in de melkveehouderij en varkenshouderij,

wordt het in kringen van wetenschappers en beleidsmakers gezien als een belangrijke principe voor meerdere voordelen voor mineralenbenutting en milieu. Als (na het scheiden) urine en mest apart en gecontroleerd worden opgeslagen, heeft deze handeling een reductiepotentie van 10% - 40% (Petersen et al., 2013; Šebek et al., 2016).

Als de mest uit de stal verwijderd wordt, moet het in de wintermaanden elders worden opgeslagen, al dan niet gescheiden in een dunne en dikke fractie. Het is wel zaak er dan zorg voor te dragen dat de methaan uit die opslagen niet alsnog emitteert.

Duurzaamheids-ethische toetsing

Tabel 9 Duurzaamheids-ethische toetsing van mestmaatregel frequent mest verwijderen.

Respect voor: Melkveehoudsters & Varkenshouders	Welzijn	Autonomie	Rechtvaardigheid ('fairness')
	De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering	Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkkoeien & Varkens	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Veehoud(st)ers

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- Zeer waarschijnlijk moeten er nieuwe reinigingssystemen en apparatuur aangeschaft worden om te zorgen dat mest sneller en vaker van de vloeren en mestkelders verwijderd wordt dan nu. Voor varkenshouders met een rioleringsysteem zullen waarschijnlijk geen extra investeringen nodig zijn om de kelder frequent te legen. Wel zal mogelijk geïnvesteerd moeten worden in een buitenopslag. Wanneer de kelders als afgesloten opslag gebruikt gaan worden zal geïnvesteerd moeten worden in het afsluiten van de huidige mestkelder/roostervloer, en het voorkomen van ophoping van methaan en giftige gassen.
- Ook nieuwe apparaten moeten onderhouden worden. Er zijn nieuwe werkzaamheden die uitgevoerd moet worden.
- Positief is dat het stalklimaat, en daardoor de werkomgeving van veehouders en hun werknemers zullen verbeteren, in het bijzonder in de varkenshouderij.
- Schonere stallen kunnen ook positieve effecten hebben op de gezondheid van dieren en daarmee ook op de productiviteit van dieren.

Autonomie - Veehoudsters hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

- Boeren kunnen meer afhankelijk van technologie en van leveranciers worden.
- Mest management wordt een complexere activiteit. Niet alleen fysiek, maar ook wordt datamanagement een onderdeel van de bedrijfsvoering.
- Als veehoudster bieden aparte mest en urine-stromen meer verschillende vormen van afzet, en meer mogelijkheden om te sturen op de kwaliteit van mest en daarmee specifieke sectoren/klanten te bedienen (akkerbouwers die bijvoorbeeld aardappels produceren hebben meer interesse in fosfaatrijke mest, terwijl op grasland nitraatrijke urine meer gewild is).

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Neutraal

- Ten aanzien van landschappelijke inpassing kan het aanzicht van huidige boerderijen door mestsilos buiten de stal een industriële karakter dan nu krijgen.
- Mocht in de varkenshouderij deze maatregel goed uitgevoerd worden dan kan dit positief zijn ten aanzien van andere emissies die overlast veroorzaken, zoals geurhinder, ammoniak en stof.

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Nogal positief

- Stallen worden schoner, wat de perceptie kan bevorderen dat bedrijven en producten ook veilig zijn voor de volksgezondheid.
- Deze maatregel biedt kansen om mestverwerkingstechnieken toe te passen waardoor het mogelijk wordt om maatregelen toe te passen ten aanzien van pathogenen en zoönotische organismen, antimicrobiële resistentie, antibiotica en andere residuen van geneesmiddelen.

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

- Het kan nodig zijn dat bij de implementatie van deze maatregel transparantie over en betere controlemechanismen rondom mestmanagement ontwikkeld en geïmplementeerd worden.

Rechtvaardigheid - Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- 'Schone stallen' en 'implementatie van maatregelen om klimaatverandering tegen te gaan' zouden een positieve rol kunnen spelen in de maatschappelijke acceptatie van veehouderij.
- Bij de varkenshouderij kan geuroverlast voor omwonenden worden voorkomen. Bij een slechte uitvoering van de maatregel zou geuroverlast echter toe kunnen nemen. In 2016 scoorde de varkenshouderij het laagste op maatschappelijk acceptatie van de Nederlandse veehouderijsectoren in de Agrifood-monitor (Onwezen et al., 2016).
- De vraag is of de mogelijke stijging van kosten bij veehouders/sters neergelegd zou worden of bij consumenten en of burgers bereid zijn of zullen worden om meer geld voor dierlijke producten te betalen.

Dieren

Welzijn - Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Nogal positief

- Stallen worden schoner en dat kan positief voor dieren zijn, denk aan klauwproblemen en mastitis bijvoorbeeld. De schadelijke effecten van gassen zoals ammoniak en geur op de diergezondheid zou dan ook niet meer een probleem hoeven zijn. Dit is zeker het geval bij de intensieve varkenshouderij.

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Varkensstallen worden vaak te weinig geventileerd om energie te besparen. Wanneer mest uit de stal verwijderd wordt zal dit de luchtkwaliteit gunstig beïnvloeden.
- Er is een aantal bedrijven dat stro gebruikt; dit is positief voor een aantal welzijnsaspecten maar is lastig te combineren met de implementatie van deze maatregel.

- Varkens zijn zindelijk. Hoe dan ook is het goed dat dieren niet in hun stront hoeven te lopen/licgen/leven.

Milieu

- Indien goed geïmplementeerd wordt niet alleen de emissie van methaan maar ook die van geur, ammoniak, lachgas en fijnstof gereduceerd.
- Wanneer mest frequent uit de stal wordt verwijderd moeten de mest- en mestproducten elders worden opgeslagen. Deze opslagen zijn bij wet afgedekt om de ammoniakemissie te voorkomen. Het is echter niet gezegd dat dat ook voldoende effectief is voor methaan. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

- Wanneer de mest zo restloos mogelijk uit de stal verwijderd wordt zal dit ook reducerend werken op de ammoniakemissie.
- Wanneer de scheiding van mest en urine direct na de uitscheiding door het dier plaatsvindt (primaire scheiding) krijgt de urease uit de feces niet de kans om de ureum in de urine om te zetten in ammoniak. Hierdoor zal de emissie van ammoniak beperkt worden (Martinez et al, 2009; Puente-Rodríguez & Bos, 2019).

- Er kan op kunstmest bespaard worden, omdat de stikstof in de dunne fractie beter benut kan worden (Verloop et al., 2013; De Vries et al., 2018).
- De nutriënten N en P moeten op de juiste wijze worden toegediend aan de bodem.
- Misschien moet er meer water dan momenteel gebruikt worden op het primaire bedrijf om de mest restloos van vloeren en uit de kelders te verwijderen.

3.3.2 Middelen aan mest toevoegen

Door specifieke middelen aan de mest toe te voegen is het mogelijk om de methaanvorming te reduceren door het methanogenese proces te vertragen. Bijvoorbeeld, door het toevoegen van zuren wordt de pH van mest verlaagd. Dit wordt gezien als een kansrijke maatregel waarmee afhankelijk van het zuur en de toegevoegde hoeveelheid, een reductie van 65% à 90% (van de emissie uit mest) bereikt kan worden (Petersen et al., 2012; Petersen et al., 2014; Šebek et al., 2016 en referenties daarin). Antibacteriële middelen kunnen ook rechtstreeks een reducerend effect hebben op de activiteit van de methanogene microben.

Martinez et al. (2003) beschrijft dat in de varkenshouderij een reductie van circa 50% tot bijna 100% bereikt kan worden bereikt met commerciële middelen als de chemische additieven NX23, Stalosan en Biosusper.

Duurzaamheids-ethische toetsing

Tabel 10 Duurzaamheids-ethische toetsing van maatregel middelen aan mest toevoegen.

Respect voor: Melkveehoudsters & Varkenshouders	Welzijn De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Autonomie Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) <i>Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering</i>	Rechtvaardigheid ('fairness') Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkkoeien & Varkens	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Veehouders/sters

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- Er komen nieuwe kosten om de middelen aan te schaffen en voor de techniek om het toe te dienen/mixen. Momenteel zijn er geen economische prikkels om deze maatregel te implementeren.
- Vaak is de werking van de middelen zodanig dat de benodigde hoeveelheden zo groot zijn dat de vraag gesteld kan worden of het doel de middelen nog heiligt (melkzuur).
- Wat de gevolgen voor bemesting zijn als gevolg van het toevoegen van middelen is ons niet bekend. Stalosan (desinfectans met 0.25 % w/w chloramine T en ook 1.5 % w/w *copper sulphate pentahydrate*, BPC, 2017)³⁴, een van de chemische additieven heeft bijvoorbeeld een biocide activiteit die de samenstelling en activiteit van mest kan beïnvloeden. Nader onderzoek is nodig om deze effecten te duiden.

Autonomie - Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

- Mestmanagement kan een complexere activiteit worden om de juiste hoeveelheden middelen op het juiste moment en de juiste manier toe te dienen.
- Misschien dat aanvullende controles op mestkwaliteit en samenstelling plaats zouden moeten vinden.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Neutraal

- Mocht de keuze vallen op chemische toevoegmiddelen, dan kan dit een negatief effect hebben op het imago van de veehouderij.
- Het is moeilijk te zeggen, maar als de keuze voor producten van 'natuurlijke' oorsprong in combinatie met een (framing) nadruk op het positieve effect op het klimaat zou de acceptatie makkelijker kunnen maken.

³⁴ https://echa.europa.eu/documents/10162/24209689/copper_sulfate_pentahydrate_pt3_bpc_opinion_en.pdf/b77810a3-cfc3-24a2-2004-e75e6e7be3f9 (geraadpleegd november 2018).

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

- Er is onderzoek uitgevoerd naar relatie tussen mest en volksgezondheid (antibioticaresistentie, zoönotische infecties, etc.) (zie bijvoorbeeld van Leuken et al., 2017). Mest is een ingewikkelde 'soep' met heel veel ingrediënten. Daarom is het moeilijk te zeggen of deze maatregel de huidige stand van zaken zou verbeteren of verslechteren. Het toevoegen van middelen moet altijd met voorzichtigheid benaderd worden. Ook als het natuurlijke producten zijn. Deze kunnen namelijk ook chemische reacties teweegbrengen en bijvoorbeeld leiden tot ongewenste en ongezonde gassen als H₂S.

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

- Aan de ene kant maakt deze maatregel het begrip 'mest' ingewikkelder voor burgers, het toevoegen van middelen (welke? Hoe worden ze geproduceerd? Wie verkoopt ze?) aan mest om de methaanemissie te reduceren vanwege klimaatverandering.
- Aan de andere kant, mocht door het toepassen van deze en andere maatregelen meer bekend worden over mest dan kunnen burgers en maatschappelijke en overheidsorganisaties meer controle op mest-gerelateerde processen gaan uitvoeren dan het nu het geval is.

Rechtvaardigheid - Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- Het is niet duidelijk of landbouwproducten door de implementatie van deze maatregel duurder worden. Mochten veehouders de kosten van de implementatie en uitvoering van deze maatregelen moeten gaan betalen dan zou dat kunnen betekenen dat dierlijke producten ook duurder voor de consument worden.
- Het is ook moeilijk te zeggen hoe het imago van mest (en daarbij van de landbouw) zou worden. Natuurlijke producten zouden een beter imago kunnen hebben. Tenzij ze volksgezondheidsproblemen van mest zouden versterken.
- Afhankelijk van de methode en frequentie van het toevoegen van middelen zou dit gevolgen voor geur kunnen hebben. Mocht mest vaker gemixt moeten worden met deze middelen in de stal of in een open opslag dan kan de geurhinder stijgen (Martinez et al., 2003).

Dieren

Welzijn - Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Neutraal

- We gaan er vanuit dat deze middelen aan de mest toegevoegd worden en dieren er niet verder mee in contact komen of gezondheidsproblemen krijgen.
- Mocht het toevoegen/mixen onder de roostervloer plaatsvinden dan kan dit gevolgen hebben voor het ontstaan van gassen. Het effect van toevoegmiddelen en de daarvoor benodigde handelingen met mest in de stal, moeten altijd onderzocht worden met het oog op de gezondheid en welzijn van mens én dier.

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Mochten er significante investeringen door veehouders gedaan moeten worden, dan kan dat negatieve gevolgen hebben voor investeringen in welzijn (ruimte bijvoorbeeld).

Rechtvaardigheid - De intrinsieke waarde wordt gerespecteerd:

Neutraal

- Mest is het dier niet. Mest behandelen op afstand van het dier heeft geen gevolgen voor de gezondheid, en heeft dan ook geen gevolgen voor de intrinsieke waarde van dieren als wezens die gevoel hebben.

Milieu

Welzijn - CH₄ (BKG) emissiereductie:

Nogal positief

- Wanneer in de praktijk de reductiepercentages gehaald worden die in pilots in de literatuur zijn gerapporteerd (50-100%) en er geen onverwachte gevolgen voor andere aspecten zijn, dan is deze maatregel nogal positief voor het milieu (Martinez et al., 2003; Petersen et al., 2012; Petersen et al., 2014; Šebek et al., 2016).

Autonomie – biodiversiteit:

Nogal positief

- Petersen en collega's rapporteerden dat door drijfmest van varkens aan te zuren (pH <6) de ammoniakemissie tot 90% gereduceerd kan worden.

Rechtvaardigheid - Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Neutraal

- Wat de gevolgen zijn voor mestsamenvorming, bodemleven en waterkwaliteit bij het toevoegen van middelen is ons niet bekend. Sommige chemische additieven hebben een biocide activiteit (BPC, 2017) en dit kan dus de samenstelling en activiteit van mest beïnvloeden. Hoe dan ook moeten voor elk additief de consequenties in de keten nader onderzocht worden.

3.3.3 Mest mixen/beluchten

Onderzoekers hebben in een pilot aangetoond dat het mixen en beluchten van mest de methaanemissie reduceert. Het werkingsmechanisme van deze maatregel is echter nog niet goed bekend. Het kan zijn dat het zuurstofgehalte door het mixen hoger wordt waardoor de anaerobe bacteriën minder actief zijn. Een andere theorie is dat door het mixen de hoge pH van de toplaag in de mest afneemt.

Hoe dan ook, door het toepassen van deze methode wordt een mogelijke reductie van methaan uit mest ingeschat van 57% in melkveestallen (Amon et al., 2006; Van Dooren et al., 2015; Šebek et al., 2016). Bij varkens-drijfmest, wordt in de literatuur een methaanreductie van tussen 47% en 99% gerapporteerd (Martinez et al., 2003; Thompson et al., 2004; Šebek et al., 2016). Recent onderzoek met beluchting van drijfmest van varkens bevestigde een reductie van 40% (Calvet et al., 2017).

Duurzaamheids-ethische toetsing

Tabel 11 Duurzaamheids-ethische toetsing van maatregel mest mixen/beluchten.

Respect voor: Melkveehouders & Varkenshouders	Welzijn De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Autonomie Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering	Rechtvaardigheid ('fairness') Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkkoeien & Varkens	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- Een nieuwe mestmixer of beluchtingssysteem aanschaffen en de daaraan gerelateerde hoge energiekosten van het regelmatig gebruik, betekenen extra kosten voor ondernemers (Martinez et al., 2003).
- Bij het mixen van mest komen giftige gassen vrij die normaal vastzitten in de mest onder de drijflaag. Met name waterstofsulfide (H_2S , zwavelwaterstof), waterstofcyanide of blauwzuur (HCN) zijn het meest gevaarlijk voor de mens (en ook voor het dier trouwens). De Gezondheidsdienst meldt dat: 'De meest dodelijke ongelukken (zowel bij dieren als bij mensen) veroorzaakt worden door het inademen van een dodelijke hoeveelheid waterstofsulfide. Het grote risico van waterstofsulfide is dat tijdens het mixen zodanig hoge gehalten ontstaan, dat dit de zintuigen dooft en men het dan niet meer ruikt. Dit treedt al op bij een gehalte van 200 ppm waterstofsulfide in de lucht. Bij gehalten tussen 200 en 500 ppm ontstaat na enige tijd misselijkheid, duizeligheid en bewusteloosheid. Bij gehalten boven de 700 ppm is sprake van direct levensgevaar: een ademtocht van dit gas is dan al dodelijk.'³⁵ Dit betekent dat deze maatregel beter in een externe en/of in een goed gecontroleerde mestopslag toegepast zou moeten worden en vooral niet in dichte stallen met mechanische ventilatie zoals in de varkenshouderij.

Autonomie - Veehoudsters hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

- Management is bij mixen een issue. Mocht er in huidige stallen vaak gemixt moeten worden, dan zijn er een aantal veiligheidsmaatregelen die het proces ingewikkeld maken. De Gezondheidsdienst geeft een groot aantal noodzakelijke voorzorgmaatregelen aan. O.a., mix alleen bij voldoende wind. Ga in geen enkel geval in de stal boven de roosters. Dieren uit hoeken verwijderen en op afstand houden. Kinderen mogen niet in de stal komen waar gemixt wordt. Als een dier of mens onwel wordt, ga dan niet direct redden: zet eerst de mixer stil, bel 112, en ga dan pas hulp bieden bij mensen, bij dieren geen hulp bieden maar wacht op assistentie.³⁶
- Een goed gecontroleerde externe opslag wordt aanbevolen en zou veehouders kunnen helpen om hun mestmanagement-praktijken te verbeteren. Mestopslagen zullen echter niet primair vanwege mestmixen of beluchten geplaatst worden maar eerder vanwege de verplichting tot zeven maanden opslagcapaciteit in verband met de mestwetgeving of vanwege mestvergisting.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Neutraal

- Wanneer mixen wordt toegepast in buitenopslagen kan de landschappelijke inpassing van veehouderijbedrijven verslechteren als dit betekent dat een nieuwe buitenopslag (bovengronds) gebouwd moet worden.
- Goed afgesloten mestopslagen kunnen in de varkenshouderij als het systeem geur-dicht is positief werken voor de acceptatie.

³⁵ www.gddiergezondheid.nl/diergezondheid/management/veiligheid-bij-het-mestmixen (geraadpleegd oktober 2018).

³⁶ <https://www.gddiergezondheid.nl/diergezondheid/management/veiligheid-bij-het-mestmixen> (geraadpleegd oktober 2018).

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

- Cruciaal hier is of deze maatregel minder/meer geurhinder gaat veroorzaken. Het Kennisplatform Veehouderij en Humane Gezondheid meldt over geur: '(ernstige) hinder, verstoring van gedrag en activiteiten en stress-gerelateerde gezondheidsklachten. Volgens de definitie van de WHO en de Gezondheidsraad wordt hinder als gezondheidseffect beschouwd, omdat gezondheid ook welzijn betreft en niet alleen de afwezigheid van ziekte.'³⁷

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

- In principe neutraal. Omwonenden en maatschappelijke organisaties krijgen wel een nieuw thema en handvat om mogelijke eisen aan de veehouderij te stellen omdat deze maatregel zou kunnen helpen om de methaanemissies te reduceren.

Rechtvaardigheid - Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- Zie discussie over geurhinder ten aanzien van omwonenden. In de Verenigd Staten wordt beluchting uitgevoerd tijdens een regenachtige dag of 's nachts, wanneer offensieve geuren geen overlast vormen (Martinez et al., 2003).
- De integrale verduurzaming (inclusief de rentabiliteit van onderneming) van de veehouderij zal zeer waarschijnlijk de prijzen van de landbouwproducten verhogen. De effecten op de koopkracht van consumenten (door het implementeren van een specifieke maatregel) is moeilijk in te schatten.

Dieren

Welzijn - Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Neutraal

- Mocht het mixen en beluchten onder de juiste omstandigheden plaatsvinden (dus niet onder de roostervloer als dieren er bovenop staan...) dan hoeft het geen verslechtering te betekenen ten opzichte van de huidige situatie. Indien het in een gesloten opslag plaatsvindt dan zou dit zelfs tot minder geur en gassen, en schonere stallen kunnen leiden.

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Doordat er waarschijnlijk extra kosten voor boeren gemaakt moeten worden, kan misschien wat minder geïnvesteerd worden in welzijn.

Rechtvaardigheid - De intrinsieke waarde wordt gerespecteerd:

Neutraal

- Uitgevoerd onder de juiste omstandigheden kan deze maatregel tot een beter binnenklimaat en schone stallen leiden. Wanneer de maatregel in de stallen zelf plaatsvindt zullen de eisen van de Gezondheidsdienst in acht genomen moeten worden. Dit is eigenlijk niet mogelijk in mechanisch geventileerde varkensstallen.

Milieu

Welzijn - CH₄ (BKG) emissiereductie:

Nogal positief

- De maatregel heeft een reductiepotentie voor de emissie van methaan uit mest van tussen 40% en 99% (Martinez et al., 2003; Thompson et al., 2004; Amon et al., 2006; Van Dooren et al., 2015; Šebek et al., 2016; Calvet et al., 2017).

³⁷ <https://www.kennisplatformveehouderij.nl/onderwerpen/geur> (geraadpleegd november 2018).

- Beluchting van mest is een duur proces dat een aanzienlijke hoeveelheid energie vereist. Of hiervoor duurzame energie wordt gebruikt is van cruciaal belang. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het beoordelen van de algehele haalbaarheid, voordelen en milieueffecten van de technologie (Martinez et al., 2009).
- Een potentieel negatief effect van het beluchten van mest betreft een toename van N₂O emissie. Nader onderzoek is nodig om te doorgronden waarom mixen effect heeft op de methaanemissie en ook handvaten oplevert om het neveneffect lachgasproductie te verminderen.

Autonomie – biodiversiteit:

Nogal negatief

- Calvet et al. (2017) constateerde een toename van NH₃ emissie van 20% bij de beluchting van varkensdrijfmest. Ondernemers kunnen weinig doen om de ammoniakemissie bij mixen te verminderen. 'Het terugbrengen van de mixfrequentie is bij de meeste ondernemers niet van toepassing. Vaker of anders mixen is dus ongeschikt als managementmaatregel bij het verminderen van de ammoniakemissie'.³⁸

Rechtvaardigheid - Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Neutraal

- In principe hoeven er geen negatieve noch positieve effecten voor bodem- en watersystemen te zijn.

3.3.4 Mest koelen

Een andere knop waarmee CH₄-gerelateerde processen in de mest gestuurd kunnen worden is de temperatuur. Als de temperatuur laag is, dan is de bacteriële activiteit ook laag waardoor er minder anaerobe processen (digestie) plaatsvinden en dus ook minder emissies (Groenestein et al., 2012; Borhan et al., 2012; GRA, 2013). Het afkoelen van mest kan door bijvoorbeeld koeling in de mestkelder toe te passen. Ook kan mest koeler bewaard worden door de opslagduur van de mest in de stal te verkorten wanneer de temperatuur aldaar warmer is dan buiten. Dit geldt vooral voor varkensstallen die verwarmd worden. Groenestein en haar collega's (2012) berekenden op basis van de Arrhenius-vergelijking dat met een gemiddelde buitenlucht temperatuur in Nederland van 10 °C de emissies in de varkensstallen tussen 23 en 43% gereduceerd kunnen worden. Bij rundvee is het verschil tussen de temperatuur binnen en buiten kleiner en zal een dergelijke maatregel dus minder effect hebben.

Duurzaamheids-ethische toetsing

Tabel 12 Duurzaamheids-ethische toetsing van maatregel mest koelen.

Respect voor: Melkveehouders & Varkenshouders	Welzijn	Autonomie	Rechtvaardigheid ('fairness')
	De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering	Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkkoeien & Varkens	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren zijn kunnen hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

³⁸ <http://agriconnect.nl/thema/mixen-van-mest> (geraadpleegd november 2018).

Veehoud(st)ers

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- Economisch gezien wordt het duurder voor veehouders. Een koelsysteem in de mestkelder binnen de stal of mest vaker uit de stal te halen in combinatie met een buitenopslag in de koude perioden, vereist extra investeringen van ondernemers. Het koelen zelf geeft extra energiekosten. Deze kosten kunnen deels worden terugverdiend door de mestwarmte elders toe te passen. Er zijn geen extra kosten door koeling via verwijdering van mest uit de stal bij varkenshouders die al een rioleringssysteem hebben, wat vaak het geval is.
- Een gevolg van de mest uit de stallen halen om te koelen is dat de dieren minder last van gasvormige emissies uit de mest hebben (geur, ammoniak). Dit heeft een positief effect op de gezondheid en productiviteit. Het koelen met koeltechnieken zal ook de emissies verlagen, maar in mindere mate.
- Bovenstaand heeft ook een positief effect voor de mensen die in de stal werken.

Autonomie - Veehoudsters hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

- Er kan afhankelijk van de uitvoering van de maatregel een lichte stijging van afhankelijkheid van techniek, leveranciers en/of adviseurs optreden.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Neutraal

- Buitenopslagen kunnen het imago van de veehouderij beïnvloeden (zie hierboven). Anderzijds kan de inspanning om methaanemissie te reduceren dit imago verbeteren.

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

- Zie hierboven de argumenten over geurhinder en ammoniakemissie door mest te koelen met koeltechnieken, maar vooral door de mest naar een buitenopslag te brengen.

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

- In principe verandert er niets voor burgers in hun relatie met mest. Maatschappelijke organisaties kunnen wel nieuwe eisen stellen aan de veehouderij omdat deze maatregel in principe wel werkt tegen klimaatverandering.

Rechtvaardigheid – Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- De investeringen van veehoud(st)ers om deze maatregel te implementeren kunnen zich vertalen in hogere prijzen voor consumenten.
- Buitenopslagen kunnen het aanzicht van boerderijen veranderen.

Dieren

Welzijn - Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Neutraal

- Buitenopslagen kunnen positief voor dieren zijn als dat betekent dat er geen gassen en mest in de stallen aanwezig zijn. Dit geldt in sterkere mate voor stallen die mechanisch geventileerd zijn (vooral varkens) ten opzichte van stallen die natuurlijk geventileerd zijn (vooral rundvee).

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Investerings in nieuwe koeltechnieken kunnen leiden tot minder investeringen in welzijn.

Rechtvaardigheid - De intrinsieke waarde wordt gerespecteerd:

Neutraal

- Uitgevoerd onder de juiste omstandigheden zal deze maatregel geen negatieve impact hebben op de integraliteit van dieren ten opzichte van de huidige omgang met dieren. Hij kan licht positief uitwerken als de mest buiten opgeslagen wordt.

Milieu

Welzijn - CH₄ (BKG) emissiereductie:

Neutraal

- In principe helpt deze maatregel bij het reduceren van de methaanemissie. Wanneer koeltechnieken worden toegepast kan deze maatregel leiden tot een hoger energiegebruik.

Autonomie – biodiversiteit:

Neutraal

- Mestkoeling leidt tot een reductie van de ammoniakemissie. Het verwijderen van de mest uit de stal en vervolgens afgedekt opslaan zal een groter effect hebben dan koeltechnieken in de stal, mits dit correct gebeurt (frequent en restloos).

Rechtvaardigheid - Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Neutraal

- Neutraal

3.3.5 Mestvergisting

In het proces van vergisting zetten micro-organismen onder anaerobe omstandigheden de organische stof om in (onder andere) biogas (CO₂ en CH₄). Het methaan kan vervolgens gebruikt worden als groen gas en daarmee fossiele energie brandstoffen vervangen. In de literatuur worden echter ook verliezen van methaan van rond 5-20% uit de vergisters geconstateerd (Sommer et al. 2001 in Šebek et al., 2016). Amon et al. (2006) rapporteerden een reductie van 95% van broeikasgasemissie, ondanks een toename van de N₂O emissie, door het toepassen van deze maatregel. Efficiënte biogas-vergisters kunnen CH₄-emissies verminderen met 60 tot 80% die anders vanuit de mest geproduceerd zouden worden gedurende opslag in de stal of daarbuiten (GRA, 2013). Voorwaarde is dan wel dat mest zo snel mogelijk na te zijn uitgescheiden vergist wordt. Dat is in de praktijk op dit moment vaak niet het geval. Mest verblijft meestal enige tijd in de stal of in een buitenopslag voordat het de vergister in gaat. Mono-vergisting (mest vergisten zonder toevoegingen) en co-vergisten (vergisten van mest met toevoegingen van andere organisch materiaal) zijn twee varianten van mest vergisting.



Tabel 13 Duurzaamheids-ethische toetsing van maatregel mestvergisting.

Respect voor: Melkveehoudsters & Varkenshouders	Welzijn De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Autonomie Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering	Rechtvaardigheid ('fairness') Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkkoeien & Varkens	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Veehoud(st)ers

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- Een vergister is een grote investering voor boeren. Er is echter nog geen goed verdienmodel georganiseerd. Op dit moment lijkt het moeilijk om deze maatregel zonder wetgeving of subsidies kosten-effectief te implementeren (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015; De Vries et al., 2018).
- Zie argumentatie van mestverwijdering van de stal over het stalklimaat in de varkenshouderij, diergezondheid en verbetering van productiviteit.
- De keuze voor co-producten in geval van covergisting bepaalt of effectief CO₂ equivalenten gereduceerd kunnen worden. Wanneer bijvoorbeeld stoffen gebruikt worden die ook (hoogwaardiger) elders kunnen worden toegepast, bijvoorbeeld als veevoer, dan kan het voordeel in de keten tegenvallen. Dit vraagt zorgvuldige afweging.

Autonomie – Veehoud(st)ers hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

- De controle van ondernemers over (en mogelijk commercialisering van) mest wordt verbeterd.
- Er wordt eigen energie geproduceerd en dat kan de autonomie van veehouders verbeteren. Maar dan worden veehouders ook verbonden met en beïnvloed door de ontwikkelingen binnen andere sectoren zoals de energiesector. Het rapport van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2015) meldt dat: 'Na 2010 stagneerde de groei van het aantal vergistingsinstallaties door stijgende prijzen van covergistingsmaterialen, dalende elektriciteitsprijzen en veranderende subsidieregelingen.'
- De complexiteit van primaire bedrijven neemt toe. Technische kennis, risico's en adviesvragen worden uitgebreid naar andere domeinen. De beheerders van de installaties zullen met meer handhaving en toezicht te maken krijgen.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Nogal negatief

- Covergisting is een aantal keer negatief in de media geweest 'door klachten van omwonenden van vergistingsinstallaties over stank en mogelijke veiligheid- en gezondheidsrisico's en door berichten over fraude met covergistingsmaterialen' (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015)
- Zie de eerder genoemde argumenten rondom externe mestopslagen, verwerkingsinstallaties en landschappelijke inpassing.

- Bij centralisatie van vergisting in grote installaties stijgt ook het aantal transportbewegingen door de aanvoer van mest en co-producten, afvoer van digestaat en van gevaarlijke stoffen (bijvoorbeeld ijzerchlorideoplossing om waterstofsulfide uit het biogas te verwijderen, of zwavelzuur om ammoniak te verwijderen).
- Het imago van de veehouderij kan verbeteren vanwege de bijdrage aan de productie van groene energie.

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

- Bij goede implementatie van normen en regels die gelden voor vergistingsinstallaties, zijn de risico's voor de gezondheid van omwonenden beperkt. De risico's voor de medewerkers van deze installaties zijn groter dan voor omwonenden.
- 'Risico's van covergisting voor de gezondheid en veiligheid van mens en dier hangen vooral samen met de opslag en samenstelling van biogas, mest, digestaat en covergistingsmaterialen. Biogas is brandbaar en bevat waterstofsulfide (H₂S), ammoniak (NH₃), koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄) die in hoge concentraties giftig of verstikkend zijn voor mens en dier. Ook in opgeslagen mest en digestaat worden deze gasen gevormd' (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015).

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

- Aan de ene kant maakt deze maatregel het mogelijk om meer controle uit te oefenen over mestmanagementprocessen. Aan de andere kant kunnen vergistingsinstallaties steeds groter worden (vanwege schaalvoordelen) en kunnen (relatief los van de discussies over de veehouderij) een issue op zichzelf worden.

Rechtvaardigheid - Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Nogal negatief

- De huidige overlast voor en klachten van omwonenden hangen deels samen met de onduidelijkheid over de geschiktheid van locaties voor vergistingsinstallaties (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). Daarbij is stankoverlast en de risico-perceptie een bron van onrust bij omwonenden van veehouderijbedrijven. 'In Coevorden [was] gedurende enkele jaren [sprake van] stankoverlast; in 2012 is een woonwijk ontruimd nadat biogas was ontsnapt uit een vergistingsinstallatie' (ibid.).
- Vanwege schaalvoordelen worden vergistingsinstallaties steeds groter gebouwd (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015).
- Bij centralisatie en grote co-vergisting installaties zal het aantal transportbewegingen toenemen.
- Positieve aan deze maatregel is dat de veehouderij duurzame energie produceert en de BKG-emissies naar de atmosfeer beperkt.

Dieren

Welzijn - Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Neutraal

- Mochten deze installaties dichtbij de dieren geplaatst worden dan zijn de risico's voor de dieren dezelfde als die voor de omwonenden (zie hierboven).
- Als vergisting toegepast wordt in combinatie met frequente mestverwijdering, leidt dat tot schone stallen en een beter stalklimaat, wat weer positieve effecten heeft op diergezondheid.

Autonomie - Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Investerings in nieuwe klimaatvriendelijke technieken zoals vergisters kan minder investering betekenen in dierenwelzijn.

Rechtvaardigheid - De intrinsieke waarde wordt gerespecteerd:

Neutraal

- In principe neutraal. Schonere stallen zijn een teken van respect voor dieren. De juiste vloeren en reinigingssystemen moeten echter ontwikkeld worden om te zorgen dat het weghalen van urine en mest uit de stallen ook daadwerkelijk tot schonere stallen leidt.

Milieu

Welzijn - CH₄ (BKG) emissiereductie:

Nogal positief

- Als deze maatregel goed uitgevoerd wordt dan is deze positief ten aanzien van methaanemissie reductie.
- Lekkages (van biogas van vergistingsinstallaties en opslagen van mest, covergistingsmaterialen en digestaat) zouden de positieve resultaten kunnen beperken (Sommer et al., 2001; Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015; Šebek et al., 2016).

Autonomie – biodiversiteit:

Neutraal

- 'Door de toevoeging van covergistingsmaterialen aan mest wordt er extra fosfaat aangevoerd (circa 2,7 miljoen ton in 2013) in dierlijke mest. De totale mestproductie in 2013 is daardoor toegenomen van 166,8 naar 169,6 miljoen kg fosfaat (P₂O₅). De omvang van de export van digestaat in 2013 was circa 1 miljoen kg fosfaat. Op nationaal niveau zijn de effecten van covergisting op de emissies van ammoniak, de uitspoeling van nitraat en de bodemvruchtbaarheid beperkt' (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015).

Rechtvaardigheid - Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Nogal negatief

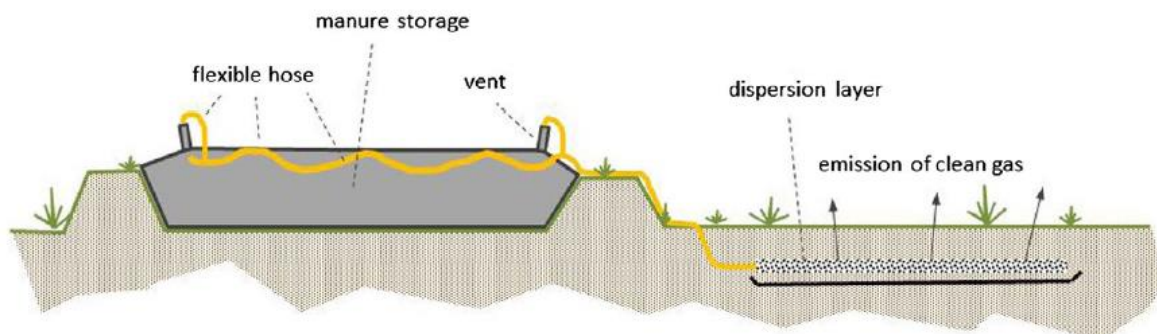
- Er zijn wel risico's ten aanzien van aanvoer van verontreinigende stoffen met de covergistingsmaterialen. De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) constateerde dat in bijna 30% van de gecontroleerde covergistingsinstallaties niet toegestane en (met bijvoorbeeld zware metalen zoals nikkel en chroom) verontreinigde co-materialen werden gebruikt (Suijker, 2013). De Technische Commissie Bodem beargumenteert dat: 'De problemen met covergisting liggen niet zozeer in de hoogte van de milieunormen of in de mate van overschrijding daarvan. Het probleem zit meer in het feit dat het lucratief is om afvalstoffen van onbekende herkomst en samenstelling illegaal bij te mengen in covergistingsinstallaties' (TBC, 2014).
- Mochten de voorschriften en regels goed gehandhaafd en nagevolgd worden dan zijn er geen negatieve effecten voor bodem en water. In reactie op het onderzoek van de NVWA (Suijker, 2013) werden al in 2014 stappen gezet vanuit het ministerie van Economische Zaken, namelijk het certificeren van bedrijven die covergistingsmaterialen van de zogenoemde lijst G gebruiken (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015).

3.3.6 Methaanoxidatie

Methaanoxidatie kan op drie verschillende wijzen uitgevoerd worden:

(1) *Methaan oxideren ondergronds.* De methaan die in de mestopslag is geproduceerd wordt afgevangen en naar een ondergrondse dispersie laag gevoerd (figuur 1). In de bodem wordt het methaan vervolgens door methanotrofe-bacteriën geoxideerd (Oonk et al., 2015). Deze auteurs schatten dat in zandige gronden het mogelijk is om een gemiddelde van 50-75 g methaan per m² per dag te oxideren (ibid.). Een standaard varkensbedrijf in Nederland vereist dan ongeveer 100 m² om 70% van de geproduceerde methaan te verminderen (Oonk et al., 2015). Echter uit de veldproeven

die zijn uitgevoerd op VIC Sterksel (WUR) kon de feitelijke methaanoxidatie niet worden vastgesteld omdat de onderzoekers twijfelden of al het methaan uit de opslag in het oxidatieveld terecht was gekomen.



Figuur 4 Visual van het concept rondom methaan oxidatie (Oonk et al., 2015).

(2) *Methaan oxideren bovengronds*. Luchtwassers om ammoniakemissie en stank te reduceren worden breed toegepast in de varkenshouderij. In de melkveehouderij worden luchtwassers minder toegepast dan in de intensieve veehouderij (varkens of pluimvee), o.a. vanwege het slechte imago van dichte stallen en de hoge kosten.

Methaan laat zich echter moeilijk afvangen in een luchtwasser vanwege de lage wateroplosbaarheid (Melse, 2003; Melse & Van der Werf, 2005; Mosquera et al., 2011; Borhan et al., 2012). Hierdoor lijken biofilters met organisch pakkingsmateriaal, een hoog specifiek oppervlak en een lange verblijftijd meer geschikt. In een experimentele setting met een biofilter stelden Melse en zijn collega's (2005) tot 85% methaanverwijdering vast. Echter stallen hebben relatief lage methaanconcentraties en hoge luchtstromen waardoor het biofilter zeer grote afmetingen zou moeten hebben. Melse et al. (2005) extrapoleerden de resultaten van hun onderzoek naar de praktijk en concludeerden dat de behandeling van lucht uit een 1000 m³ opslag van vloeibare mest met een methaanconcentratie van 22 g m⁻³ een biofilter van 20 m³ vereist voor een gewenste emissiereductie van 50%. De investeringen en operationele kosten van bio-filtratie zijn relatief hoog, maar deze zullen afnemen met de schaalvergroting van de filters (ibid.).

(3) *Affakkelen van CH₄ (thermische oxidatie)*. In principe zou deze maatregel toepasbaar kunnen zijn waar mest afgesloten wordt opgeslagen en methaan in voldoende hoge concentraties wordt geproduceerd. Door verbranding wordt methaan omgezet in CO₂, water en energie/warmte. Wightman en Woodbyry (2016) schatten in dat voor de zuivelsector in de staat New York (Verenigde Staten) door de combinatie van afdekken van de mestopslag en het affakkelen van methaan 62% reductie van broeikasgassen bereikt kan worden.

Duurzaamheids-ethische toetsing

Tabel 14 Duurzaamheids-ethische toetsing van maatregel methaanoxidatie.

Respect voor:	Welzijn	Autonomie	Rechtvaardigheid ('fairness')
Melkveehoudsters & Varkenshouders	De veehouderij is rendabel (UDV13) en arbeid aantrekkelijk (UDV14)	Veehouders hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie (UDV15) <i>Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering</i>	Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving (UDV12) en hun producten gewaardeerd op de markt
Burgers (Consumenten, omwonenden)	De veehouderijpraktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen (UDV11)	Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan	Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke/gezonde veehouderijproducten. Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij (UDV12)
Melkkoeien & Varkens	Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie) (UDV10)	Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoeften (UDV9)	Hun intrinsieke waarde wordt gerespecteerd (UDV9)
Het milieu	CH ₄ (BKG) emissiereductie (UDV2 & UDV1)	Biodiversiteit (UDV3 & UDV4)	Bevordering van duurzame ecosystemen (bijv. bodem en water voorraad en kwaliteit) (UDV6, UDV7, UDV8, & UDV5)

Veehouders/sters

Welzijn – De veehouderij is rendabel + arbeid is aantrekkelijk:

Nogal negatief

- Nieuwe milieutechnologieën brengen nieuwe kosten met zich mee (aanschaf, onderhoud, advies) voor veehoud(st)ers (Melse, 2003; Melse & Van der Werf, 2005; Wightman & Woodbury, 2016).

Autonomie - Veehoudsters hebben veerkracht door kennis, leervermogen en innovatie. Ze zijn autonoom in hun bedrijfsuitvoering:

Neutraal

- Dit type maatregelen passen bij de huidige trend van mechanisering en toenemende complexiteit van primaire bedrijven. De behoefte aan technische kennis en advies nemen toe evenals extern toezicht op de bedrijfsvoering. Deze trend zet zich voort binnen de veehouderij - met of zonder methaanoxidatie.

Rechtvaardigheid - Veehouderijpraktijken worden geaccepteerd/gerespecteerd in hun lokale omgeving + hun producten gewaardeerd op de markt:

Neutraal

- De concentratie van methaan in stallen is veel te laag om (affakkelen) methaanoxidatie toe te passen. Dit is een techniek die toepasbaar is bij mestopslag buiten. Dit kan de landschappelijke inpassing van boerderijen beïnvloeden.

Burgers (consumenten, omwonenden)

Welzijn - De veehouderij en haar praktijken zijn veilig voor de gezondheid van mensen:

Neutraal

- Neutraal

Autonomie - Burgers zijn goed geïnformeerd over veehouderijpraktijken en producten waardoor er relatief democratische processen ontstaan:

Neutraal

- De processen in de primaire bedrijven worden complexer voor burgers maar tegelijkertijd krijgen omwonenden en maatschappelijke organisaties nieuwe aangrijpingspunten om mestmanagement te beïnvloeden.

Rechtvaardigheid – Burgers hebben toegang tot betaalbare/eerlijke veehouderijproducten + Omwonenden ervaren geen overlast en/of accepteren de veehouderij:

Neutraal

- Worden de investeringen in systemen die methaan oxideren terugverdiend via hogere prijzen voor consumenten?
- De biofilters of affakkelininstallaties zullen in meer of mindere mate het aanzicht van boerderijen veranderen.

Dieren

Welzijn – Dieren zijn gezond (zonder structurele medicatie):

Neutraal

- Hoge concentraties van CH₄ in de stallen ten behoeve van oxidatie zijn niet wenselijk. Als methaanoxidatie wordt toegepast vanuit mestopslagen zal dit echter geen effect hebben op de leefomgeving van de dieren. Wellicht kan de techniek ook toegepast worden op lucht die onder de roosters wordt weggezogen, maar dat is technisch nog niet bewezen. In dat laatste geval kan het stalklimaat positief beïnvloed worden omdat dan ook ammoniak en geur worden weggezogen.

Autonomie – Dieren kunnen hun hele leven voorzien in hun ethologische behoefte:

Neutraal

- Investerings in nieuwe technieken die methaan oxideren kunnen tot gevolg hebben dat minder geïnvesteerd wordt in welzijn.

Rechtvaardigheid – De intrinsieke waarde wordt gerespecteerd:

Neutraal

- Neutraal. Schone stallen is een teken van respect voor dieren maar respect-voor-dieren is uiteraard niet de drijfveer voor het implementeren van deze maatregelen maar een bijgevolg hiervan.

Milieu

Welzijn – CH₄ (BKG) emissiereductie:

Nogal positief

- Het klimaat is gediend met 50% - 70% CH₄ reductie uit mestopslagen (Melse & Van der Werf, 2005; Oonk et al., 2015; Wightman & Woodbury, 2016).
- Voorwaarde is dat de opslagen dicht zijn om lekkages te voorkomen.
- Bij ondergrondse oxidatie. Verschillende gronden hebben verschillende oxidatie capaciteiten. Zandgronden bijvoorbeeld zijn geschikte gronden voor deze techniek (Oonk et al., 2015).
- Bij affakkelen is het nog de vraag of de concentratie van methaan in de mestopslagen hoog genoeg is om af te fakkelen (Šebek et al., 2014). Het positieve effect kan geflankeerd worden gedaan als er bijvoorbeeld olie of gas worden gebruikt om het affakkelen-proces mogelijk te maken.

Autonomie – biodiversiteit:

Neutraal

Nogal positief

- Bij affakkelen wordt ook ammoniak verbrand. 'Het verdient aanbeveling nader te onderzoeken of de condities bij affakkelen leiden tot volledige verbranding van ammoniak' (Šebek et al., 2014).

Rechtvaardigheid – Bevordering van duurzame ecosystemen (bodem en water voorraad en kwaliteit):

Neutraal

Nogal negatief

- Oonk et al. (2015) rapporteren een negatieve impact van het oxidatieproces op de vegetatie boven een ondergrondse installatie. Dit is een indicatie van een gebrek aan zuurstof rond de wortels veroorzaakt door de migratie van biogas naar boven (ibid.). Dit kan wijzen op effecten op de vegetatie op lokaal niveau. Welke effect heeft deze maatregel op het bodemleven of de

vegetatie verder weg van de installatie bij langdurige toepassing van ondergrondse oxidatie van methaan is ons niet bekend.

- Op zand gronden (met name als er landbouw activiteiten plaatsvinden) lijkt de sulfaatconcentratie in het water, uit een proefveld om methaan te oxideren toe te nemen. Een waarschijnlijke bron van sulfaat is H_2S in het biogas, geoxideerd tot sulfaat in het oxidatiebed.

4 Reflectie en afsluiting

'The social consequences of a technology cannot be predicted early in the life of the technology. By the time undesirable consequences are discovered, however, the technology is often so much part of the whole economics and social fabric that its control is extremely difficult. This is the dilemma of control. When change is easy, the need for it cannot be foreseen; when the need for change is apparent, change has become expensive, difficult and time consuming'. (Collingridge, 1980, blz. 11)

David Collingridge schetste in zijn boek 'The social control of technology' een dilemma rondom de mogelijkheden om technologische processen te beïnvloeden in een vroeg stadium van ontwikkeling. Het zogenoemde Collingridge-dilemma. Het probleem is dubbelzijdig en betreft (het gebrek aan) informatie en (controle in de tijd) beheersing. Ten aanzien van beheersing van technologische ontwikkelingen speelt tijd een belangrijk rol. Wanneer de technologie volledig is ontwikkeld en geïntegreerd in de socio-ecologische context, is het moeilijk die te veranderen (te beheersen). Ten aanzien van informatie geldt dat totdat de technologie grootschalig is geïmplementeerd er niet voldoende informatie beschikbaar is om een goede beoordeling te kunnen maken. Als grootschalige implementatie wel gerealiseerd is, worden de effecten wel duidelijk, maar daarna is de technologie al te sterk met de sociale, materiele en ecologische dimensies en contexten verweven om gemakkelijk veranderd te kunnen worden.

Eén strategie om met het Collingridge-dilemma te dealen is om het voorzorgsprincipe ('precautionary principle') toe te passen. Dat wil zeggen dat technische innovaties niet geïmplementeerd zouden kunnen worden totdat hun ontwikkelaars kunnen bewijzen dat ze geen schade zullen veroorzaken.

Deze studie heeft een reflectieve poging gedaan om de belangrijkste problemen, kansen en dilemma's bij het implementeren van technische (maatregelen) oplossingen voor de huidige klimaatuitdaging in kaart te brengen.

Er zijn een aantal inzichten die uit deze analyse (hoofdstuk 3) getrokken kunnen worden:

Op het eerste gezicht betreffen de meeste maatregelen nieuwe milieutechnologieën die de methaanemissie reduceren maar daarmee ook nieuwe kosten voor veehouders en veehoudsters met zich meebrengen, zonder dat daar directe opbrengsten tegenover staan. Voor toepassing lijkt het daarom nodig om deze maatregelen te subsidiëren en/of nieuwe verdienmodellen te ontwikkelen om ze terug te verdienen in de markt.

Er zijn geen duidelijke 'groene' (zeer positieve) of 'rode' (zeer negatieve) beoordelingen in de analyse van maatregelen naar boven gekomen. We denken dat er een aantal factoren zijn die dit kunnen verklaren. Bijvoorbeeld dat we kansrijke maatregelen hebben getoetst en er dus al een eerste selectie heeft plaats gevonden, waardoor de extreem negatieve (rode no go area's) maatregelen niet eens de toetsing hebben gehaald. Verder hebben we individuele maatregelen getoetst en geen combinatie van maatregelen. We vermoeden dat een zeer positief (groen) effect op klimaat bijvoorbeeld bereikt kan worden met een combinatie van maatregelen (fokkerij + inhibitors + mestmaatregelen).

Deze studie (zoals meestal het geval is bij exploratief onderzoek) bevat een aantal redeneringen die niet volledig zijn uitgewerkt of nader in perspectief geplaatst moeten worden. Bij de implementatie van nieuwe maatregelen hebben we bijvoorbeeld naar betekenis voor veehouders ten aanzien van nieuwe kosten en investeringen gekeken op relatief korte termijn. Ook hebben we dat voor burgers gedaan ten aanzien van het verbeteren/verslechteren van de volksgezondheid. Een diepere analyse zou kunnen wijzen op andere algehele economische uitkomsten voor ondernemers/sters door bijvoorbeeld de verbetering van de productiviteit vanwege een eventuele verbetering van diergezondheid. Een ander lange-termijn effect zou een verandering van de volksgezondheid kunnen

zijn vanwege bijvoorbeeld extreem weer en klimaatverandering als niet voldoende maatregelen worden geïmplementeerd.

Je zou kunnen betogen dat mestmaatregelen in principe een positief effect hebben op het milieu (klimaat en biodiversiteit) en op het dier omdat ze vaak resulteren in relatief schone stallen en in een beter binnenklimaat. Aan de andere kant verhogen ze de complexiteit van mestmanagement en versterken ze het 'industriële' imago van de veehouderij door elementen zoals mestsilos, mestvergistingsinstallaties om methaan te oxideren etc. Tegelijkertijd bieden ze weer kansen om mestmanagement-processen zodanig te verbeteren dat de circulaire veehouderij een stap dichterbij kan komen.

Fokkerijmaatregelen hebben veel tijd nodig om het effect te bereiken, zeker vergeleken met de toepassing van voerinhouders die relatief snel het gewenste effect (methaanemissie reductie) kunnen leveren. In beide gevallen zijn er echter risico's ten aanzien van de beeldvorming, bijvoorbeeld omdat deze maatregelen geassocieerd worden met industrialisatie, GMO's of synthetische/chemische middelen. Ze vereisen de juiste communicatie strategieën om de framing 'klimaatvriendelijk' en 'natuurlijkheid' te versterken. De vraag is daarbij of de koe hierop ziet te wachten...

Verder blijkt vooral de inhibitor 3-NOP een kansrijke maatregel om een snelle reductie van de enterische methaanemissie te bereiken. De economische incentive voor implementatie door melkveehouders ontbreekt echter nog. Zolang CO₂ uit de landbouw niet een economische waarde krijgt zal toepassing moeten worden gestimuleerd met subsidies, of via wet- en regelgeving worden afgedwongen. Daar komt bij dat 3-NOP gepatenteerd is en nog niet gecommercialiseerd.

Het dier zit ook niet te wachten op maatregelen die dan wel goed voor het milieu zijn maar die haar lichaam verder zouden kunnen veranderen. Maar let wel op, zoals een welzijn expert het tijdens een van onze gesprekken heeft geformuleerd: en niet herkauwende koe is geen koe, een koe die geen methaan uitstoot, blijft wel een koe.

Mestmaatregelen zijn in principe diervriendelijk omdat ze vaak impliceren dat de ruimtes en het klimaat waarin dieren worden gehouden schoner worden omdat feces en urine frequent verwijderd worden. Dit is met name positief voor varkens in de intensieve houderijssystemen met mestopslag onder de roosters en mechanische ventilatie.

In eerste instantie lijken de veehoud(st)ers de rekening van de methaanreductie te gaan betalen. De meeste van deze maatregelen betekenen nieuwe investeringen en veranderingen in de bedrijfsvoering. Specifieke maatregelen (denk aan subsidies, milieubelasting, verhoging van de prijzen van dierlijke producten, maar ook verplichtingen of stimulatie van klimaatbewustwording) lijken wenselijk om veehouders te stimuleren om maatregelen te implementeren. Een aantal kansrijke maatregelen zoals voeradditieven, met respect voor de koe methaanarm fokken, snel en vaak mest en urine naar een afgesloten opslag afvoeren (en daar vergisten, koelen, middelen toevoegen of beluchten) zijn moeilijk te implementeren als de marges voor boeren klein blijven en er geen intrinsieke motivatie aanwezig is.

Dankwoord

Graag willen we de volgende experts bedanken voor het delen van hun kennis (per instituut en dan in alfabetische volgorde):

Wageningen Livestock Research: A. (André) Bannink, A.P. (Bram) Bos, Y (Yvette) de Haas, M. (Marion) de Vries, R.W. (Roland) Melse, J. (Julio) Mosquera Losada, N. W.M. (Nico) Ogink, C.G. (Kees) van Reenen, N. (Nico) Verdoes & H.M. (Herman) Vermeer.

Wageningen Economic Research: C.C. (Caroline) de Lauwere, & J.W. (Joan) Reijs.

Department of Social Sciences, WUR: H.G.J. (Bart) Gremmen

Farm Technology Group, WUR: P.W.G. (Peter) Groot Koerkamp.

Daniel P.R. bedankt Marieke van Vliet voor het corrigeren van de eerste versie van dit rapport vanwege zijn dyslexie. We willen ook Bram Bos en Ferry Leenstra bedanken voor hun scherpzinnig en constructief commentaar op de laatste conceptversie van dit rapport.

Literatuur

- Aan de Brugh, M. (2016). Koeien geven wat minder gas. *NRC*. Retrieved from www.nrc.nl/nieuws/2016/05/14/koeien-geven-wat-minder-gas-2277476-a636532.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112(2-3), 153-162. doi: 10.1016/j.agee.2005.08.030.
- Bannink, A., Van Schijndel, M. W., & Dijkstra, J. (2011). A model of enteric fermentation in dairy cows to estimate methane emission for the Dutch National Inventory Report using the IPCC Tier 3 approach. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 603-618. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.043.
- Bannink, A., Hatweg, B., & Dijkstra, J. (2015). Oogstmoment snijmais beïnvloedt methaanuitstoot. *Veeteelt, Oktober 1*, 34-35.
- Beauchamp, T., & Childress, J. (2008). *Principles of Biomedical Ethics* (6th ed.). New York and Oxford: Oxford University Press.
- Bell, M. J., Wall, E., Russell, G., Simm, G., & Stott, A. W. (2011a). The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. *Journal of Dairy Science*, 94, 3662-3678. doi: 10.3168/jds.2010-4023.
- Bell, M. J., Wall, E., Simm, G., & Russell, G. (2011b). Effects of genetic line and feeding system on methane emissions from dairy systems. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 699-707. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.049.
- Borhan, M. S., Mukhtar, S., Capareda, S., & Rahman, S. (2012). Greenhouse Gas Emissions from Housing and Manure Management Systems at Confined Livestock Operations. In L. F. Marmolejo Rebellon (Ed.), *Waste Management - An Integrated Vision* (pp. 259-296): InTech.
- Bos, A. P., Puente-Rodríguez, D., Reijs, J. W., Van der Peet, J.G.F.V., & Groot Koerkamp, P. W. G. (2017). Monitoring verduurzaming veehouderij 1.0; Een eerste proeve van een Monitorings-systeematiek voor de 15 ambities van de Uitvoeringsagenda Duurzame Veehouderij, met initiële resultaten voor drie diersectoren en een aantal keteninitiatieven. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Livestock Research.
- BPC (2017). Opinion on a request according to Article 75(1)(g) of Regulation (EU) No 528/2012 on the Status of copper sulphate pentahydrate in Manica Spa and Stoermoele product Staloson F for product type 3. Helsinki, Finland: Biocidal Products Committee (BPC), European Chemicals Agency.
- Brujinis, M.R.N., Blok, V., Stassen, E. N. & Gremmen, H.G.J. (2015). Moral "Lock-In" in Responsible Innovation: The Ethical and Social Aspects of Killing Day-Old Chicks and Its Alternatives. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28, 939-960. doi: 10.1007/s10806-015-9566-7.
- Calvet, S., Hunt, J., & Misselbrook, T. H. (2017). Low frequency aeration of pig slurry affects slurry characteristics and emissions of greenhouse gases and ammonia. *Biosystems Engineering*, 159, 121-132. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.04.011.
- Collingridge, D. (1980). *The social control of technology*. St Martin, New York. New York.
- Commissie Deskundigen Meststoffenwet, C. D. (2015). Nut en risico's van covergisting *Syntheserapport. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu*. Wageningen
- Crosson, P., Shalloo, L., O'Brien, D., Lanigan, G. J., Foley, P. A., Boland, T. M., & Kenny, D. A. (2011). A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Anim. Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 29-45. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.001.
- De Vries, M., Vellinga, T. V., Hoving, I., Van Middelkoop, J., Ten Napel, J., Verhagen, J., & Van der Weide, R. (2018). Klimaatslimme melkveehouderij: Een routekaart voor implementatie van mitigatie- en adaptatiemaatregelen. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Duin, E., Wagner, T., Shima, D., Prakash, D., Cronin, B., Yáñez-Ruiz, D. R., Duval, S., Rumbeli, R., Stemmler, R.T., Thauer, R.K., Kindermann, M. (2016). Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *PNAS*, 113(22), 6172-6177. doi: 10.1073/pnas.1600298113.
- Duval, S., & Kindermann, M. (2012). Use of nitrooxy organic molecules in feed for reducing enteric methane emissions in ruminants, and/or to improve ruminant performance. International Patent Application WO 2012/084629 A1. World Intellectual Property Organization.
- EC (2014). Mededeling over de herziening van de lijst van voor de EU kritieke grondstoffen en de uitvoering van het grondstoffeninitiatief. (COM(2014) 297 final). Brussel: Europese Commissie.

- Foucault, M. (1972-91). *Discipline and Punish: the Birth of the Prison*. London: Penguin.
- Fraser, D. (2008). *Understanding Animal Welfare: The Science in its Cultural Context*. USA: Wiley blackwell.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- LRG & GRA (2013). Reducing greenhouse gas emissions from livestock: Best practice and emerging options: Livestock Research Group (LRG) & Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases (GRA).
- Grandin, T. (2015). An Introduction to Implementing an Effective Animal Welfare Program. In T. Grandin (Ed.), *Improving Animal Welfare, 2nd Edition: A Practical Approach*. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI.
- Groenestein, G. M., Huijsmans, J. F. M., & Schils, R. L. M. (2010). Emissies van broeikasgassen, ammoniak, fijn stof en geur in de mestketen. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Groenestein, C. M., Mosquera, J., & Van der Sluis, S. M. (2012). Emission factors for methane and nitrous oxide from manure management and mitigation options. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 9(1), 139-146. doi: 10.1080/1943815X.2012.698990.
- Hatew, B. (2015). *Low Emission Feed: Opportunities to mitigate enteric methane production of dairy cows*. (PhD), Wageningen University & Research, Wageningen.
- Hristov, A. N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E., Oosting, S.J., Gerber, P.J., Henderson, B., Makkar, H.P.S., Firkins, J. L. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *American Society of Animal Science*, 91(11), 5095-5113. doi: 10.2527/jas.2013-6585.
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., Branco, A.F., Moate, P.J., Deighton, M.H., Williams, S.R.O., Kindermann, M., Duval, S. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663-10668. doi: 10.1073/pnas.1504124112.
- Immelmann, K. (1980). *Introduction to Ethology*. New York and London: Plenum Press.
- Jayanegara, A., Sarwono, K. A., Kondo, M., Matsui, H., Ridla, M., & Laconi & Nahrowi, E. B. (2018). Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Italian Journal of Animal Science*, 17(3), 650-656. doi: 10.1080/1828051X.2017.1404945.
- Jenkins, T.C. (1993). Lipid Metabolism In the Rumen. *Journal of Dairy Science*, 76 (12), 3851-3863. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77727-9.
- Kinley, R. D., Vucko, M. J., Machado, L., & Tomkins, N. W. (2016). In Vitro Evaluation of the Antimethanogenic Potency and Effects on Fermentation of Individual and Combinations of Marine Macroalgae. *American Journal of Plant Sciences*, 7, 2038-2054. doi: 10.4236/ajps.2016.714184.
- Kinley, R.D., de Nys, R., Vucko, M.J., Machado, L. & Tomkins N.W. (2016). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during in vitro fermentation with rumen fluid. *Animal Production Science*, 56 (3), 282-289. doi: 10.1071/AN15576.
- Klop, G. (2016). *Low Emission Feed: Using feed additives to decrease methane production in dairy cows*. (PhD), Wageningen University & Research, Wageningen.
- Li, X., Norman, H. C., Kinley, R. D., M., L., M., W., Bender, H., de Nys, R., Tomkins, N. W. (2018). *Asparagopsis taxiformis* decreases enteric methane production from sheep. *Animal Production Science*, 58, 681-688. doi: 10.1071/AN15883.
- Llorch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., & Turner, S. P. (2017). Review: Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: An animal welfare perspective. *Journal Animal*, 11(2), 274 - 284. doi: 10.1017/S1751731116001440.
- Manzanilla-Pech, C. I. V., De Haas, Y., Hayes, B. J., Veerkamp, R. F., Khansefid, M., Donoghue, K. A., Arthur, P.F., Pryce, J. E. (2016). Genomewide association study of methane emissions in Angus beef cattle with validation in dairy cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 94(10), 4151 - 4166. doi: 10.2527/jas2016-0431.
- Martinez-Fernandez, G., Duval, S., Kindermann, M., Schirra, H. J., Denman, S. E., & McSweeney, C. S. (2018). 3-NOP vs. Halogenated Compound: Methane Production, Ruminal Fermentation and Microbial Community Response in Forage Fed Cattle. *Frontiers in Microbiology*, 9(1582). doi: 10.3389/fmicb.2018.01582.
- Martinez, J., Dabert, P., Barrington, S., & Burton, C. (2009). Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety, and sustainability. *Bioresource Technology*, 100, 5527-5536. doi: 10.1016/j.biortech.2009.02.038.
- Martinez, J., Guiziou, F., Peu, P., & Gueutier, V. (2003). Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. *Biosystems Engineering*, 85(3), 347-354. doi: 10.1016/S1537-5110(03)00067-9
- Massé, D. I., Jarret, G., Hassanat, F., Benchaar, C., & Cata Saady, N. M. (2016). Effect of increasing levels of corn silage in an alfalfa-based dairy cow diet and of manure management practices on manure

- fugitive methane emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, 109–114. doi: 10.1016/j.agee.2016.01.018.
- Melse, R. W. (2003). Biologisch filter voor verwijdering van methaan uit lucht van stallen en mestopslagen. Wageningen: Agrotechnology & Food Innovation B.V.
- Melse, R. W., & Van der Werf, A. (2005). Biofiltration for Mitigation of Methane Emission from Animal Husbandry. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 5460–5468. doi: 10.1021/es048048q.
- Mepham, B. (2005). *Bioethics for the biosciences: an introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Mepham, B. (2013). Ethical Principles and the Ethical Matrix. In J. P. Clark & C. Ritson (Eds.), *Practical Ethics for Food Professionals: Ethics in Research, Education and the Workplace* (pp. 39–56): John Wiley & Sons, Ltd.
- Mirzaei-Aghsaghali, A., & Maheri-Sis, N. (2016). Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants: Microbiology and biotechnology strategies. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 4(1), 22–31. doi: 10.14269/2318-1265/jabb.v4n1p22-31.
- Mosquera, J., Hol, J. M. G., Melse, R. W., Winkel, A., Nijeboer, G. M., Ploegaert, J. P. M., Ogink, N.W.M., Aarnink, A. J. A. (2011). Fijnstofemissie uit stallen: luchtwassers. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Negussie, E., De Haas, Y., Dehareng, F., Dewhurst, R. J., Dijkstra, J., Gengler, N., Morgavi, D.P., Soyeurt, H., Van Gastelen, S., Yan, T., Biscarini, F. (2017). Invited review: Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. *Journal of Dairy Science*, 100(4), 2433–2453 doi: 10.3168/jds.2016-12030.
- Onwezen, M. C., Reinders, M. J., & H.M., S. (2016). De Agrifoodmonitor 2016: Hoe burgers de Agri & Food sector waarderen. *De Agrifoodmonitor*. Den Haag: Wageningen Economic Research.
- Oonk, H., Koopmans, J., Geck, C., Peters, B., & Van Bergen, J. (2015). Methane emission reduction from storage of manure and digestate-slurry. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 12(1), 121–137. doi: 10.1080/1943815X.2015.1096796.
- Özkan Gülzari, Ş., Ahmadi, B. V., & Stott, A. W. (2018). Impact of subclinical mastitis on greenhouse gas emissions intensity and profitability of dairy cows in Norway. *Preventive Veterinary Medicine*, 150, 19–29. doi: 10.1016/j.prevetmed.2017.11.021.
- Patra, A., Park, T., Kim, M., & Yu, Z. (2017). Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(13). doi: 10.1186/s40104-017-0145-9.
- Petersen, S. O., Andersen, A. J., & Eriksen, J. (2012). Effects of Cattle Slurry Acidification on Ammonia and Methane Evolution during Storage. *Journal of Environmental Quality*, 41(1), 88–94. doi: 10.2134/jeq2011.0184.
- Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., & Sommer, S. G. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. *Animal*, 7(2), 266–282. doi: 10.1017/S1751731113000736.
- Petersen, S. O., Højberg, O., Poulsen, M., Schwab, C., & Eriksen, J. (2014). Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. *Journal of Applied Microbiology*, 117(1), 160–172. doi: 10.1111/jam.12498.
- Pickering, N. K., Oddy, V. H., Basarab, J., Cammack, K., Hayes, B. J., Hegarty, R. S., Lassen, J., McEwan, J.C., Miller, S., Pinares-Patiño, C.S., De Haas, Y. (2015). Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. *Animal*, 9(9), 1431–1440. doi: 10.1017/S1751731115000968.
- Pinares-Patiño, C. S., Ebrahimi, S. H., McEwan, J. C., Dodds, K. G., Clark, J. P., & Luo, D. (2011). Is rumen retention time implicated in sheep differences in methane emission? *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 71, 219–222.
- Puente-Rodríguez, D. & Bos, A.P. (2019). Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20). Ontwerpen voor huisvesting systemen van melkvee met lage ammoniakemissie. Wageningen Livestock Research report 1162. doi.org/10.18174/474654.
- RIVM. (2016). Veehouderij en gezondheid omwonenden. Bilthoven, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu - Ministerie van Volksgezondheid Welzijn en Sport.
- Rli. (2018). Duurzaam en Gezond: Samen naar een houdbaar voedselsysteem. Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.
- Ros, J & Daniëls, B. (2017). Verkenning van klimaatdoelen. Planbureau voor de Leefomgeving. PBL-publicatienummer 2966.
- Ross, W. D. (1930). *The Right and the Good*. Oxford: Oxford University Press.
- Schils, R. L. M., Oudendag, D. A., van der Hoek, K. W., de Boer, J. A., Evers, A. G., & de Haan, M. H. (2006). Broeikasgasmodule BBPR *PraktijkRapport Rundvee 90*: Animal Science Group, Wageningen UR; Alterra WUR, RIVM.

- Šebek, L. B., De Haan, M. H. A., & Bannink, A. (2014). Methaanemissie op het melkveebedrijf: Impactanalyse voor reductiemaatregelen en doorrekening daarvan in de Kringloopwijzer. Wageningen: Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research.
- Šebek, L. B., Mosquera, J., & Bannink, A. (2016). Rekenregels voor de enterische methaanemissie op het melkveebedrijf en reductie van de methaanemissie via mest-handling; het handelingsperspectief van het voerspoor inzichtelijk maken met de Kringloopwijzer. Lelystad: Wageningen Livestock Research, Wageningen University and Research.
- Seshadri, R., Leahy, S. C., Attwood, G. T., Teh, K. H., Lambie, S. C., Cookson, A. L., Eloë-Fadrosh, E.A., Pavlopoulos, G.A., Hadjithomas, M., Varghese, N.J., Paez-Espino, D., Hungate1000 project collaborators, Perry, R., Henderson, G., Creevey, C.J., Terrapon, N., Lapebie, P., Drula, E., Lombard, V., Rubin, E., Kyrpides, N.C., Henrissat, B., Woyke, T., Ivanova, N.N., Kelly, W. J. (2017). Cultivation and sequencing of rumen microbiome members from the Hungate1000 Collection. *Nature Biotechnology*, 36(4), 359-365. doi: 10.1038/nbt.4110.
- Sommer, S. G., Møller, H. B., & Petersen, S. O. (2001). The reduction of greenhouse gases from manure and organic waste using digestion and biogas production (in Deens). Denmark: Danmarks JordbrugsForskning.
- Suijker, P. A. C. (2013). Evaluatierapport covergisting. Evaluatierapport controle gebruik organische reststoffen van Bijlage Aa, onderdelen A t/ F en, in het bijzonder, onderdeel G, van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet bij covergisting. Utrecht: Nederlandse Voedsel en Warenautoriteit.
- TCB (2011). Advies bodemverdichting. Den Haag: Technische commissie bodem (TCB).
- TBC (2014). Advies Evaluatie Covergisting. Den Haag: Technische commissie bodem (TBC).
- Thompson, A. G., Wagner-Riddle, C., & Fleming, R. (2004). Emissions of N₂O and CH₄ during the composting of liquid swine manure. *Environmental Monitoring and Assessment*, 91(1-3), 87-104. doi: 10.1023/B:EMAS.0000009231.04123.2d.
- Troy, S. M., Duthie, C. A., Hyslop, J. J., Roehe, R., Ross, D. W., Wallace, R. J., Waterhouse, A., Rooke, J. A. (2015). Effectiveness of nitrate addition and increased oil content as methane mitigation strategies for beef cattle fed two contrasting basal diets. *Journal of Animal Science*, 93(4), 1815-1823. doi: 10.2527/jas.2014-8688.
- Van Bruggen, C. van, Bannink, A., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Luesink, H.H., Sluis, S.M. van der, Velthof, G.L., Vonk, J. (2018). Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016 : Berekeningen met het model NEMA. Wageningen : Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOt technical report 119.
- Van den Akker, J. J. H., & Hendriks, R. F. A. (2015). Hoe erg is ondergrond-verdichting in de landbouw? *Bodem*, 3-juni 2015, 42-44.
- Van der Zaag, A. C., Gordon, R. J., Jamieson, R. C., Burton, D. L., & Stratton, G. W. (2009). Gas emissions from straw covered liquid dairy manure during summer storage and autumn agitation. *Transactions of the ASABE*, 52(2), 599-608.
- Van Dooren, H. J. C., Bokma, S., & Zonderland, J.L. (2015). Effect van het Aeromix systeem op ammoniakemissie in een melkveestal; Verkennend onderzoek op Dairy Campus. Wageningen: Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research.
- Van Laarhoven, W. (2010). Praktische adviezen voor dierduurzaamheid en methaan. Rapportage van de mogelijkheden voor de verbetering van de dierduurzaamheid en de gevolgen voor de methaanproductie in de melkveehouderij. In V.-D. v.o.f. (Ed.). Sint-Oedenrode: Valacon-Dairy v.o.f.
- Van Leuken, J. P. G., Hoeksma, P., Nijsten, D. R. E., Schijven, J. F., Schmitt, H., & De Roda Husman, A. M. (2017). Verkenning van de microbiologische risico's van mest voor de gezondheid. Op basis van een systematisch literatuuronderzoek. Bilthoven, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Ministerie van Volksgezondheid Welzijn en Sport.
- Van Middelaar, C. (2014). *Milk Production & Greenhouse Gases: Integrated modeling of feeding and breeding strategies to reduce emissions*. (PhD), Wageningen University & Research, Wageningen.
- Van Zijderveld, S. M., Gerrits, W., J.J., Dijkstra, J., Newbold, J. R., Hulshof, R. B. A., & Perdok, H. B. (2011). Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 4028-4038. doi: 10.3168/jds.2011-4236.
- Vellinga, T. V., & De Vries, M. (2018). Effectiveness of climate change mitigation options considering the amount of meat produced in dairy systems. *Agricultural Systems*(162), 136-144. doi: 10.1016/j.agsy.2018.01.026.
- Verloop, K., Geerts, R. H. E. M., Oenema, J., Hilhorst, G. J., De Haan, M. H. A., & Evers, A. (2013). Gebruik van de dunne en dikke fractie van rundveemest getest op Koeien & Kansenmelkveebedrijven. Resultaten 2010, 2011 en 2012. Rapport nr. 69. Wageningen Plant Research International.
- Vermeulen, G. D., & Mosquera, J. (2009). Soil, crop and emission responses to seasonal-controlled traffic in organic vegetable farming on loam soil. *Soil and Tillage Research*, 102(1), 126-134. doi: 10.1016/j.still.2008.08.008.

-
- Walsh, S. W., Williams, E. J., & Evans, A. C. O. (2011). A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 123(3-4), 127–138. doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.12.001.
- Warner, D., Bannink, A., Hatew, B., Van Laar, H., & Dijkstra, J. (2017). Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows. *American Society of Animal Science*, 95, 3687–3699. doi: 10.2527/jas2017.1459.
- Webb, J., Sommer, S. G., Groenestein, C. M., Hutchings, J. H., Eurich-Menden, B., Rodhe, L., Misselbrook, T.H., Amon, B. (2012). Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and Methane During the Management of Solid Manures. In E. Lichtfouse (Ed.), *Agroecology and Strategies for Climate Change*, 8, 67-107. Dordrecht: Springer.
- Wightman, J. L., & Woodbury, P. B. (2016). New York Dairy Manure Management Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Costs (1992–2022). *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 266-275. doi: 10.2134/jeq2014.06.0269.
- Willeghems, G., De Clercq, L., Michels, E., Meers, E., & Buysse, J. (2016). Can spatial reallocation of livestock reduce the impact of GHG emissions? *Agricultural Systems*, 149, 11-19. doi: 10.1016/j.agsy.2016.08.006.

Bijlage 1 Andere denkbare maatregelen (die niet op duurzaamheids- ethische aspecten zijn getoetst)

Hier maken we een kort inventarisatie van andere maatregelen die we hebben geïdentificeerd en met de experts besproken maar dat niet als relevant werden gezien om in deze analyse op te nemen. Redenen hiervoor zijn bijvoorbeeld dat een aantal van deze maatregelen focussen op productiviteit en als 'bijeffect' methaanreductie hebben (zie hieronder). Andere maatregelen (zoals het uitrijden van mest) zijn niet opgenomen omdat de bijdrage aan de methaanemissie gering is.

- Er zijn maatregelen die toegepast kunnen worden tijdens het *aanwenden van mest* en urine stoffen. De manier van bemesting op weilanden en bij de akkerbouw kan effecten hebben op de methaanemissie. Van de totale CH₄ emissie van de melkveehouderij wordt het aandeel bij aanwending echter als verwaarloosbaar klein gezien (Šebek et al., 2016). Amon et al (2006) lieten zien dat CH₄ emissie tijdens het uitrijden van mest met verschillende behandeling (inderdaad) verwaarloosbaar was. Het percentage dat ze rapporteerden ten opzichte van de totale emissie was bijvoorbeeld 0% voor het uitrijden van onbehandelde mest, 0,8% voor gescheiden mest, of 0,1% als het uitrijden na het vergisten gebeurde (ibid.). En dus claimen deze onderzoekers en de experts die we hebben geraadpleegd dat alle energie rondom methaanemissiereductie op andere onderdelen van het systeem ingezet moet worden om impact te kunnen bereiken.
- Tijdens het uitrijden van mest of andere werkzaamheden worden soms er *maatregelen tegen bodemverdichting* toegepast (TCB, 2011; Van den Akker & Hendriks, 2015). Bodemverdichting komt met name door de inzet van zware machines op het land in combinatie met natte omstandigheden. Daarbij wordt de grotere dichtheid van grazend vee ook als oorzaak van bodemverdichting gezien (TCB, 2011). Door bodemverdichting er is sprake van een kleinere porositeit van de bodem en dus minder zuurstof waardoor anaerobe processen leidend worden. Dit kan in principe de productie van CH₄ faciliteren. Daarom kunnen maatregelen tegen bodemverdichting (zoals vaste rijpaden) ook voor CH₄ emissiereductie ingezet worden. Dit kan echter ook een hogere N₂O (lachgas)emissie veroorzaken (Vermeulen & Mosquera, 2009).
- Voor *fokkerijmaatregelen* zijn er belangrijke eigenschappen rondom *efficiëntie* (binnen 'gezonde' marges, zie bijvoorbeeld Llonch et al., 2017) van dieren om met relatief minder (qua volume en kwaliteit) *input* meer *output* te leveren. Zo kan de methaan emissie per eenheid product verkleind worden (Crosson et al., 2011; GRA, 2013; Hristov et al., 2013; Llonch et al., 2017). Bijvoorbeeld door selectie op verhoging van melkproductie, kortere intervallen tussen lactaties, en langere levensduur, kan fokkerij bijdragen aan de verbetering van de productiviteit en zo de uitstoot van broeikasgassen per kg melk te verminderen (Bell et al., 2011a; Van Middelaar, 2014). Bannink en zijn collega's (2011) hebben berekend bijvoorbeeld dat door de melkproductie per koe te verhogen van 6.270 kg per jaar in 1990 tot 8.350 kg/jaar in 2008, de CH₄ productie in het darmkanaal daalde van 17,6 naar 15,4 g per kg melk. Verder verhoogt het verminderen van het interval tussen de lactaties de gemiddelde dagelijkse melkproductie per koe en vermindert het onvrijwillig ruimen, terwijl een langere levensduur het aantal vervangende vaarzen vermindert (Van Middelaar, 2014). Een verbetering van deze kenmerken verhoogt de levensduurmelkproductie per koe en vermindert het aantal niet-productieve dieren in de kudde, wat beide bijdraagt aan een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen per kg melk (ibid.). Momenteel worden deze fokkerijmaatregelen met betrekking tot het verhogen van de productie al uitgevoerd. Deze focussen niet op de reductie van methaanuitstoot, maar hebben dat wel als neveneffect.

- Andere productiemaatregelen die een effect op methaan hebben zijn bijvoorbeeld zorgen voor 100% voerplaatsen of voortdurende beschikbaarheid van vers voer. Dit is belangrijk om de productie te bevorderen (Van Laarhoven, 2010). *Stress factoren* zoals hitte stress, transport, onvoldoende beschikbaarheid van voedsel en water, etc. hebben een impact op de productiviteit van dieren en dus ook op de balans tussen BKG per product-eenheid. Maar er zijn ook technische maatregelen om stress tijdens de dracht te managen. Bijvoorbeeld embryooverlies kan vooral in de eerste 4 tot 6 weken na het paren of inseminatie gerelateerd zijn aan stress (Hristov et al., 2013) dus in deze periode kunnen stress verminderingmaatregelen goede gevolgen hebben om de reproductiecyclus optimaal te organiseren. Van Laarhoven meldt dat de aanwezigheid van voldoende ligplaatsen in de melkveehouderij belangrijk is voor de stofwisseling, gezondheid en productie van koeien en een 'aanmerkelijk effect' kan hebben op de methaanemissie (Van Laarhoven, 2010).
- *De link tussen productiviteit, levensduur en diergezondheid is essentieel voor BKG* en dus voor methaan emissies. Vergroten van de levensduur van koeien kan een effect hebben op de BKG emissies per producteenheid (per liter melk bijvoorbeeld of per kg 'human edible protein') ten opzichte van de productieve levenscyclus van het dier (GRA, 2013; Hristov et al., 2013). Gezonde dieren die goed produceren verbeteren de balans van de emissies per productie-eenheid. Daarbij behorende maatregelen zijn bijvoorbeeld de algemene verbetering van de gezondheid van dieren. Voor de melkveehouderij zijn dat bijvoorbeeld het reduceren/beëindigen van mastitis en kreupelheid, aandoeningen die belangrijke oorzaken voor het afvoeren van melkkoeien zijn. Een betere gezondheid kan bereikt worden door de ziekteresistentie van dieren te verhogen via fokkerij (GRA, 2013) maar ook door welzijns- en voedingsmaatregelen te implementeren. Özkan Gülzari et al (Özkan et al., 2018) hebben gemeld dat gezondheids(mastitis)problemen een effect hebben op het productieniveau en uiteindelijk op de emissie per product-unit. Maar hier hebben we het ook over een indirect effect. Deze maatregel is primair gericht op productie verbetering en niet op BKG. Ook een slechte fertiliteit vergroot de BKG emissies van productiedieren (Crosson et al., 2011). Hristov et al. (2014) rapporteren op basis van de literatuur dat met de verbetering van de vruchtbaarheid een 24% reductie van de CH₄ emissie in de melkveehouderij te bereiken is. Aspecten die belangrijk zijn om de vruchtbaarheid te verbeteren zijn: Versnellen van de conceptie, d.w.z. de timing van de initiële inseminatie na de bevalling. Vervroegen van het moment van de eerste reproductie, en verhogen van de reproductieve levensduur (GRA, 2013; Hristov et al., 2013). Dit zou ook gevolgen kunnen hebben voor praktijken zoals het vroegtijdig ruimen van zieke of slecht presterende dieren. Echter als de melkveestapel ook gebruikt wordt voor rundvleesproductie, kan het voordeel van levensduurverlenging bij melkkoeien en dus een lagere vleesproductie uit de melkveestapel meer dan teniet gedaan worden door uitbreiding van het aantal zoogkoeien om de rundvleesproductie op peil te houden (GRA, 2013, Vellinga & De Vries, 2018). Zo kunnen dit type maatregelen een reductie bereiken in de ene sector maar die in ander sectoren verhogen.
- Er zijn een aantal voermaatregelen die we voor deze studie niet hebben gekozen. Bijvoorbeeld, het is mogelijk om het *voeropnameniveau te verhogen*. Voor melkvee wordt er beweerd dat 'bij rantsoendifferentiatie naar het aandeel snijmais in het ruwvoerdeel van het rantsoen tussen 0% en 80% snijmais een verschil van 0,02 g methaan/kg droge stof geconstateerd is in het effect van voeropnameniveau.' Dit betekent een reductie van 1% (Bannink, persoonlijk communicatie, mei 2018). 'Voor diezelfde rantsoenen nam bij een stijgende voeropname (van 14 tot 24 kg ds/dag) de methaanemissie per kg ds vrijwel constant af' (Šebek et al., 2016, blz. 7). We hebben hier niet voor deze maatregel gekozen niet alleen vanwege het geringe reductiepotentieel, maar ook omdat deze maatregel eigenlijk een combinatie van maatregelen is. Een aantal worden al in de praktijk toegepast maar focussen op de productiviteit van dieren en niet op emissiereductie. Bovendien zijn ze ook afhankelijk van het type koe en managent. Experts denken dat de type koeien en veehouderij systemen van bijvoorbeeld de USA (relatief grotere dieren, 24 uur opstal bijvoorbeeld) hier in NL niet wenselijk worden geacht.

- *Weidegang*. In principe heeft het beweiden positieve/reducerende effecten op de productie van methaan omdat mest in het weiland onder aerobe omstandigheden verkeert (Groenestein et al., 2012). Daarbij worden echter ook hogere N₂O emissies veroorzaakt, maar daarbij weer minder ammoniakemissies. Šebek et al. (2016) zeggen dat de enterische methaanemissie kan toenemen bij weidegang 'door een minder efficiënte voerbenutting.'
- Er zijn een aantal *handelingen* die met de *mest* uitgevoerd kunnen worden waarvan het niet zo duidelijk is hun effect op methaanemissie. Voor vaste mest is composteren een technische maatregel waarvan het niet zo duidelijk is welk effect dit heeft op de methaan (en andere BKG) emissies. Er bestaat bijvoorbeeld de zogenoemde 'windrow' compostering, dit is het stapelen van mest en gewasresten in lange rijen in de buitenlucht. Deze (grote) rijen worden regelmatig gedraaid met machines waardoor de porositeit en het zuurstofgehalte toeneemt. In principe kan dit positief voor de methaanemissie uitpakken en negatief voor andere BKG (zoals N₂O). Anaerobe vormen van compostering kunnen in principe methaanemissie verhogen, maar zouden het affakkelen van de geproduceerde methaan kunnen faciliteren. Net zoals bij het afdekken van mest is het echter niet precies bekend wat de gevolgen voor CH₄ emissie zijn (Amon et al., 2006; Šebek et al., 2016 en referenties daarin). Webb et al. (2012) rapporteren dat ammoniakemissie zal toenemen bij composteren. Verder zijn andere factoren die een rol spelen. Deze onderzoekers melden dat losjes verpakte varkensmest vijfmaal meer CH₄ uitstoot dan melkveemest, waarschijnlijk als gevolg van een grotere gasuitwisseling en hogere mesttemperatuur (Webb et al., 2012).

Methaanproductie wordt door anaerobe processen versterkt. Daarom is het, in principe, niet verstandig om mest met stro of andere materialen af te dekken. Amon et al. (2006) melden bijvoorbeeld dat het afdekken van de mestopslag met een laag gesneden stro in plaats van met hout de methaanemissie verhoogt met 21,7% even als die van andere BKG. Op basis hiervan zouden we kunnen concluderen dat het afdekken van mest moet worden afgeraden. Volgens Šebek en zijn collega's (2016) in hun review van de literatuur blijkt echter dat er verschillende factoren en mogelijkheden zijn om methaanemissie en die van andere BKG te beïnvloeden via het afdekken van mest, zoals de mate van verdichting van de afgedekte mest, en het temperatuursverloop in de mest hoop'. 'Het afdekken van mest met een laag stro kan wel tot minder methaanemissie leiden. Niet omdat er minder methaan wordt gevormd, maar omdat het gevormde methaan in de strolaag door methanotrophe/aerobe bacteriën wordt gebruikt als energiebron en zo wordt omgezet in CO₂' (ibid.; blz. 40). De dikte van de stro-laag blijkt ook relevant te zijn. Bijvoorbeeld Van der Zaag et al. (2009) melden dat bij een stro-laag dikker dan 15 cm je ongeveer een kwart van de emissie van CH₄ kan reduceren. Daarbij is het altijd mogelijk om de (relatief sneller) geproduceerde methaan af te fakkelen (zie maatregel CH₄ affakkelen).

- En andere mogelijkheid is om *drijfmest te verdunnen*. Šebek en collega's (2016) concluderen op basis van de experimenten van Martinez et al. (2003) dat voor rundveedrijfmest een reductie van 57% op de methaanemissie te bereiken is bij 67% verdunning met water. Voor varkensmest bij 50% verdunning werd een reductie van 35% bereikt.
- Gebruik van '*recombinant bovine somatotropin*' (rbST). Door het gebruik van de groeihormoon bij runderen is een reductie van 7,3% CH₄ emissie per unit geproduceerde melk geclaimd (Borhan et al., 2012; Hristov et al. 2013 en referenties erin) vanwege de hogere productie per dier, die met dit hormoon bereikt wordt. Dit hormoon is echter verboden in veel landen waaronder Japan, Israël, Canada en ook binnen de EU.
- Gebruik van *vaccins bij herkauwers*. Door midden van vaccins is het mogelijk om binnen de pens microbiële ecosystemen te modificeren. De vaccins helpen het dier om antilichamen te produceren tegen bacteriën die methanogenese veroorzaken. Zo zou die populatie bacteriën verkleind kunnen worden en daarmee de methaanproductie gereduceerd. Noch de specifieke vaccins noch de potentie om de methaan emissies te reduceren (GRA, 2013) en noch de mogelijke neveneffecten zijn bekend. Patra et al (2017) betogen dat de hoeveelheid antilichamen die de pens binnenkomt waarschijnlijk te klein is om enig effect te hebben. Ook

kunnen antilichamen die de pens binnenkomen snel worden afgebroken door proteolytische bacteriën daarin (ibid.).

- *Overbrengen van de microbiom* van laag-methaan producerende herkauwers naar de pens van herkauwers met een hoge methaan productie. Het verschil tussen de methaanemissie van individuele dieren is 13-17% tussen laag en hoog. Er zijn enkele aanwijzingen dat interventies in het vroege leven kunnen resulteren in meer stabiele veranderingen in de microbiële samenstelling van de pens ook tijdens de belangrijkste dieet overgangen (bijvoorbeeld tijdens het spenen en veranderen van het gehalte aan voedingsvezels). In de literatuur vinden we dat bij uitgevoerde experimenten het oorspronkelijke (hoog) emissieniveau na enige tijd weer terug komt (GRA, 2013). Dit impliceert een stevige relatie tussen microbiom en gastdier.

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



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

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

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

