



Praktijkimplementatie CH₄ en NH₃ reductie via voerspoor – praktijkrapport 2021

Voerstrategieën om de methaan- en ammoniakemissie te reduceren in de melkveehouderij

L. Koning, A.G. Evers, M.H.A. de Haan, L.B. Šebek

Openbaar
Rapport 1412



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Praktijkimplementatie CH₄ en NH₃ reductie via voerspoor – praktijkrapport 2021

Voerstrategieën om de methaan- en ammoniakemissie te reduceren in de melkveehouderij

L. Koning, A.G. Evers, M.H.A. de Haan, L.B. Šebek

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Praktijkimplementatie kennis voereffecten op CH₄ en NH₃ melkvee' (projectnummer BO-43-105-016).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, maart 2023

Openbaar

Rapport 1412

Abstract – Nederlands

Deze praktijkrapportage over 2021 is een vervolg op de praktijkrapportage over 2020 en beschrijft het proces en de resultaten van het implementeren van bedrijfsspecifieke voerstrategieën op vijf melkveebedrijven. De implementatie heeft als doel om in 4 jaren stapsgewijs een uiteindelijke reductie van 30% van zowel methaan als ammoniak te realiseren ten opzichte van het referentiejaar 2018. Voyerstrategieën zijn per bedrijf ontwikkeld, geïmplementeerd en onderzocht op effectiviteit en werkbaarheid. Op twee bedrijven kon geen passende voerstrategie met een substantiële emissiereductie worden ontwikkeld. Op de drie andere bedrijven was volgens modelberekeningen 6 tot 9% extra methaanreductie mogelijk. Na implementatie van de voerstrategie werd 3 tot 13% gemeten. Voor het realiseren van meer reductie dan de geobserveerde 10% zal het sturen van de ruwvoer kwaliteit naar een lagere emissiefactor vermoedelijk het grootste effect opleveren. Belangrijk hierin is de integrale aanpak met als grote uitdaging het kunnen maken van een objectieve afweging bij tegenstrijdige effecten op verschillende belangen.

Abstract – English

This report about 2021 is a sequel to the report of 2020 and describes the process and results of the implementation of feeding strategies to reduce methane emissions on five dairy farms. The project goal is to stepwise reduce both methane and ammonia emission over a period of 4 years with 30% compared to the reference year 2018. Farm specific feeding strategies were developed, implemented and tested on efficiency on five commercial dairy farms. For two farms no possibilities were found for implementing feeding strategies with a substantial reduction potential. According to model calculations, 6 to 9% additional methane reduction was possible on three farms. During implementation of the feeding strategies the observed methane reduction was 3-13%. To achieve a higher reduction potential, changes in roughage quality seem to be required. Doing so an integrated approach is essential to recognize possible swapping between different environmental goals. One of the challenges is to enable farmers to make objective decisions when strategies for different goals are conflicting.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/589285> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2023

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

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.

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 gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergrond	9
	1.2 Resultaten praktijkimplementatie 2020	10
	1.3 Projectdoelen 2021	10
	1.4 Leeswijzer	11
2	Ontwikkelen voerstrategieën	12
	2.1 Werkwijze	12
	2.1.1 Algemeen	12
	2.1.2 Berekening CH ₄ emissie	12
	2.1.3 Berekening TAN excretie	13
	2.2 Opstellen voerstrategieën	13
	2.2.1 Bedrijf F	13
	2.2.2 Bedrijf G	14
	2.2.3 Bedrijf H	14
	2.2.4 Bedrijf I	14
	2.2.5 Bedrijf J	15
3	Demonstreren voerstrategieën	16
	3.1 Algemeen	16
	3.2 Werkwijze	16
	3.2.1 Bedrijven en planning	16
	3.2.2 CH ₄ metingen	16
	3.2.3 Melkcontrole	17
	3.2.4 Voeropname testgroep	17
	3.2.5 Berekende CH ₄ emissie en TAN excretie	18
	3.3 Toepassen voerstrategie	18
	3.3.1 Reductiepotentie CH ₄ emissie en TAN excretie	18
	3.3.2 Vergelijking modelberekening met gemeten CH ₄ emissie per bedrijf	28
	3.3.3 Overzicht vergelijking modelberekening met gemeten CH ₄ emissie	31
4	Evalueren voerstrategieën	33
	4.1 Visie veehouder en adviseur	33
	4.2 Impact	33
5	Scenariostudies	35
	5.1 Algemeen	35
	5.2 Bedrijf C	36
	5.2.1 Effect op CH ₄ en NH ₃ emissie	36
	5.2.2 Aandachtspunten en uitdagingen	37
	5.2.3 Reactie veehouder	37
	5.3 Bedrijf G	38
	5.3.1 Effect op CH ₄ en NH ₃ emissie	38
	5.3.2 Aandachtspunten en uitdagingen	39

5.4	Bedrijf H	40
5.4.1	Effect op CH ₄ en NH ₃ emissie	40
5.4.2	Aandachtspunten en uitdagingen	41
6	Discussie en conclusies	42
6.1	Ontwikkelen voerstrategieën	42
6.2	Implementeren voerstrategieën	43
6.3	Scenariostudies	44
6.4	Handelingsperspectief	45
	Literatuur	46
	Bijlage 1 Algemene bedrijfsgegevens	47
	Bijlage 2 Berekende EF rantsoenen bedrijf F	48
	Bijlage 3 Berekende EF rantsoenen bedrijf G	49
	Bijlage 4 Berekende EF rantsoenen bedrijf H	50
	Bijlage 5 Berekende EF rantsoenen bedrijf I	51
	Bijlage 6 Berekende EF rantsoenen bedrijf J	52
	Bijlage 7 Resultaten scenariostudie bedrijf C	53
	Bijlage 8 Resultaten scenariostudie bedrijf G	55
	Bijlage 9 Resultaten scenariostudie bedrijf H	57

Woord vooraf

Dit onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) in het kader van de klimaatopgave en is onderdeel van een groter geheel aan projecten in het programma Integraal Aanpakken van de Klimaatenvolp.

Het programma Integraal Aanpakken is in 2020 gestart om kansen te identificeren om de emissies van methaan en ammoniak in de Nederlandse veehouderij te verlagen. Het doel is om inzichten en werkbare maatregelen te bepalen waarmee veehouders hun bedrijf rendabel en toekomstgericht kunnen aanpassen aan de opgaven voor klimaat en stikstof. Een integrale aanpak staat in het onderzoek voorop. Een duurzame toekomst voor de veehouderij betekent immers dat ook andere (maatschappelijk) noodzakelijke opgaven en doelen worden gehaald. De aanpak is erop gericht om melkveebedrijven in Nederland keuzes te bieden uit maatregelen die passen binnen hun bedrijfsvoering; maatregelen die bij voorkeur ook de bedrijfsresultaten verbeteren. Meer informatie over het programma kan gevonden worden op de website: <https://www.integraalaanpakken.nl/nl/integraalaanpakken.htm>

Deze praktijkrapportage over 2021 is een vervolg op de praktijkrapportage over 2020 (Rapport 1351) in een reeks waarin onderzocht wordt of en zo ja, hoe de melkveehouderij de reductiedoelen voor 2030 kan halen. Het projectdoel voor 2026 is een reductie realiseren van 30% voor zowel de methaan- en ammoniakemissie ten opzichte van het Nederlandse gemiddelde in 2018. Hiervoor is samenwerking met de praktijk essentieel. In dit project wordt daarom samengewerkt met het project "Koeien & Kansen"; een netwerk van 16 melkveehouders met hun (voer)adviseurs, proefbedrijf De Marke en onderzoekers die zoeken naar de mogelijkheden van een duurzame en maatschappelijk geaccepteerde melkveehouderij.

Door het toepassen van reductiemaatregelen via het voerspoor op de Koeien & Kansen bedrijven, kunnen de milieukundige, technische en economische gevolgen hiervan op bedrijfsniveau in beeld gebracht worden. Net zoals andere maatregelen die binnen het project Koeien & Kansen zijn onderzocht, wordt ook hiervoor *prototyping* toegepast. Dit houdt in dat er vanuit bestaande kennis en concrete doelen reductiemaatregelen binnen een bedrijfssysteem in de praktijk worden toegepast die vervolgens intensief worden gemonitord en op basis van resultaten jaarlijks bijgesteld. Dit proces levert bovenal kennis op voor gebruik in de brede praktijk.

Dr. Ing. Léon Šebek

Projectleider
Wageningen Livestock Research, Wageningen.

Samenvatting

De melkveehouderij is een belangrijke sector in Nederland, maar draagt ook sterk bij aan de Nederlandse emissies van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃). Over het terugdringen van die emissie zijn internationale afspraken gemaakt en die zijn in Nederland in een Klimaatakkoord vastgelegd. Voor het project zijn de doelen voor 2030 zoals beschreven in het Klimaatakkoord (2019) uitgedrukt als een procentuele reductie van 30% voor zowel CH₄ als Totaal Ammoniakaal stikstof (TAN), waarbij als referentiewaarde het Nederlands gemiddelde volgens de KringloopWijzer (KLW) 2018 is aangehouden.

Het project richtte zich primair op de technische aspecten van het implementeren van reductiemaatregelen in het bedrijfsmanagement. Secundair en in breder verband binnen de Klimaat Envelop werden de integrale effecten van aanpassing in het bedrijfsmanagement gemonitord en geëvalueerd.

Deze rapportage beschrijft twee aspecten van de technische implementatie van voermaatregelen:

1. Het ontwikkelen en demonstreren van concrete en bedrijfsspecifieke voerstrategieën met 30% CH₄ en NH₃ reductie voor representatieve praktijkbedrijven uit verschillende regio's. Deze strategieën zijn geïmplementeerd in het bedrijfsmanagement en het effect van die implementatie op de emissies en het implementatieproces zijn voor enterisch CH₄ gemonitord met behulp van de Greenfeed (duiden reductiepotentie).
2. Een beschrijving en evaluatie van het proces dat de bedrijven, veehouders en de adviseurs doormaken zodat andere bedrijven een goed beeld krijgen van wat hoe het aanpassen van het bedrijfsmanagement gerealiseerd kan worden en wat dat betekent voor en vraagt van veehouder en adviseur.

De eerste stap in het verminderen van de enterische CH₄ emissie is voor praktijkbedrijven het verbeteren en optimaliseren van de algemene bedrijfsefficiëntie en het diermanagement. Voor wat betreft de voerstrategie is de eerste stap het sturen in de voeraankopen. In 2020 is het *prototypen* van het voerspoor gestart door op 5 melkveebedrijven specifieke voerstrategieën te implementeren, door te meten en te evalueren. In 2021 is op deze bedrijven gekeken naar vervolgstappen die zij kunnen nemen en naar de mogelijkheden voor de jaarrond toepassing van de maatregelen. Het jaarrond effect van maatregelen die de veehouders gedurende het jaar toepassen, kan op zijn vroegst na afloop van het jaar bepaald worden. Tegelijkertijd is in 2021 met 5 andere melkveebedrijven hetzelfde traject gestart als met de 5 bedrijven in 2020. Met behulp van bestaande modellen zijn berekeningen gemaakt voor bedrijfsspecifieke situaties met betrekking tot de CH₄ emissie en TAN excretie (als maat voor de NH₃ emissie) op basis van het gevoerde rantsoen. Met deze berekeningen zijn bedrijfsspecifieke voerstrategieën ontwikkeld die in theorie voldeden aan de gestelde eisen. Deze voerstrategieën zijn gedurende één maand geïmplementeerd en onderzocht op effectiviteit en praktische toepassing. De CH₄ emissie van individuele koeien is met een GreenFeed gemeten voor, tijdens en na de voerstrategie en vergeleken met de modelberekeningen. De hierbij opgedane kennis kan helpen bij het verder (door)ontwikkelen van voerstrategieën.

Op de bedrijven waar maatregelen werden toegepast, bestonden de maatregelen met name uit:

- Het verlagen van de emissiefactor (EF, in g CH₄ per kg DS) van het totale rantsoen door de EF te verlagen van
 - o aangekocht krachtvoer (al dan niet door het vetgehalte in het krachtvoer te verhogen).
 - o aangekochte voedermiddelen en bijproducten (door producten met een hoge EF te vervangen door producten met een lage EF).
- Het verhogen van het vetgehalte van het rantsoen door toevoegen van extra vet.
- Het aanpassen van de onderlinge verhouding en/of de selectie van de ruwvoerders (op basis van de EF van die producten).

Net zoals in 2020, lieten de toegepaste bedrijfsspecifieke voerstrategieën zien dat het einddoel van 30% reductie meer vraagt dan alleen deze eerste stap in het *prototypen*. Een vervolgstap is daarom nodig en die bestaat uit het sturen op voeraankopen (de eerste stap) plus het tegelijkertijd wijzigen van de ruwvoer kwaliteit¹. Omdat het aanpassen van de ruwvoer kwaliteit tijd kost, kon deze maatregel niet worden ingezet tijdens deze implementatieronde.

De gemeten CH₄ opbrengst van het basisrantsoen was gemiddeld 19,5 g CH₄/kg DS (op basis van 21 kg DS opname), wat overeen komt met het Nederlands gemiddelde van 2018. Op één bedrijf kon geen voerstrategie voor CH₄ reductie ontwikkeld en geïmplementeerd worden, omdat het bedrijf vrijwel alle voerders zelf teelt en nauwelijks (kracht)voer aankoopt. Op dit bedrijf waren de metingen er op gericht kwantitatieve informatie te krijgen van de CH₄ emissie van de zelf geteelde (kracht)voerders. Daarnaast was er één bedrijf waarvoor geen voerstrategie ontwikkeld kon worden met een substantiële reductiepotentie. Op de andere drie bedrijven werd een CH₄ reductie berekend van 6-9%, met een berekende gemiddelde EF van 17,2 g CH₄/kg DS op basis van 21 kg DS opname. Op deze bedrijven werd een reductie gemeten van 3-13%. De gemeten CH₄ opbrengst per kg DS op basis van 21 kg DS opname was op deze bedrijven gemiddeld 17,6 g CH₄/kg DS tijdens de voerstrategie. Op alle bedrijven was de TAN excretie lager dan het Nederlands gemiddelde. Op twee bedrijven werd het doel van 30% TAN reductie gehaald en op twee bedrijven 20% TAN reductie ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de KLV 2018.

Een vergelijking van modelberekeningen met de metingen gaf aan dat het gebruik van de EF voor voerders gemiddeld goed voldoet. De berekende enterische CH₄ emissie van de voerstrategieën op de drie bedrijven was met gemiddeld 17,2 g CH₄/kg DS vergelijkbaar met het gemeten gemiddelde van 17,6 g CH₄/kg DS. Er lijkt nog extra reductiepotentie van toegevoegd vet te liggen wanneer onbestendig vet wordt ingezet. Vettoevoeging wordt in de praktijk meestal met bestendige vetten gerealiseerd om problemen met de pensvertering te voorkomen. Inzet van onbestendige vetten is goed mogelijk, maar daarbij is voorzichtigheid geboden. Een opvallend verschil tussen modelberekening en meting kwam naar voren op het enige bedrijf met zomerstalvoeding. De modelberekening was duidelijk hoger dan de meting. Echter, uit voorlopige resultaten van ander onderzoek komt naar voren dat de EF voor vers gras mogelijk te hoog is. Het verschil tussen modelberekening en meting werd opgeheven wanneer de EF van het verse gras verlaagd werd naar 19,0 g CH₄/kg DS (gelijk aan de EF van vers gras bij beweiding) in plaats van de huidige 23,2 g CH₄/kg DS.

Naast het ontwikkelen en implementeren van concrete voerstrategieën, zijn voor drie van de vijf bedrijven scenariostudies uitgevoerd om te onderzoeken welke reductiepotentie voor enterisch CH₄ op de lange termijn mogelijk is bij het voldoen aan de reductie eis voor ammoniak. De bedrijven hadden volgens de KLV 2020 al een 8-20% lagere CH₄ emissie uit pensfermentatie dan het Nederlands gemiddelde. In de scenario's is ook het effect van het verlagen van de EF van zelf geteelde ruwvoerders meegenomen. De scenariostudies lieten zien dat de emissie met nog eens 10 tot 15% extra zou kunnen dalen als alle mogelijkheden (inclusief verlagen EF van ruwvoerders) worden ingezet. Met de doorgerekende extra reductie kwam geen van de bedrijven aan het reductiedoel van 30% (ten opzichte van de KLV 2018), maar een reductie van 25% lijkt volgens de scenariostudies haalbaar.

Het vervolg van dit project zal zich richten op mogelijkheden om de kwaliteit van de ruwvoerders zodanig aan te passen dat zowel de CH₄ emissie als de TAN excretie laag zullen zijn. Daarbij is de integrale aanpak essentieel, omdat een maatregel positief voor het ene doel kan werken (emissiereductie) en tegelijkertijd negatief voor een ander maatschappelijk doel (b.v. kringlooplandbouw, eiwit van eigen land). Daarnaast is bedrijfseconomische duurzaamheid voor veehouders een belangrijke factor bij het wel of niet implementeren van maatregelen. In de huidige setting waarin de voerstrategieën zijn ontwikkeld is de bedrijfseconomische duurzaamheid niet meegenomen, maar bij uitrol in de brede praktijk zal de kosteneffectiviteit belangrijk zijn.

¹ De inzet van voeradditieven is in dit project buiten beschouwing gelaten.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De melkveehouderij is een belangrijke sector in Nederland, maar draagt ook bij aan de Nederlandse emissies van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃). Over het terugdringen van die emissie zijn internationale afspraken gemaakt en die zijn in Nederland in een Klimaatakkoord vastgelegd. In dat Klimaatakkoord staat onder andere:

“Het kabinet heeft een concreet pakket aan maatregelen uitgewerkt voor een geïntegreerde voer- en diergerichte aanpak van methaan en ammoniak. Zo kan de emissie van deze stoffen in samenhang worden opgepakt met benutting van de natuurlijke mogelijkheden en variatie van de spijsvertering van dieren.” (Klimaatakkoord, 2019)

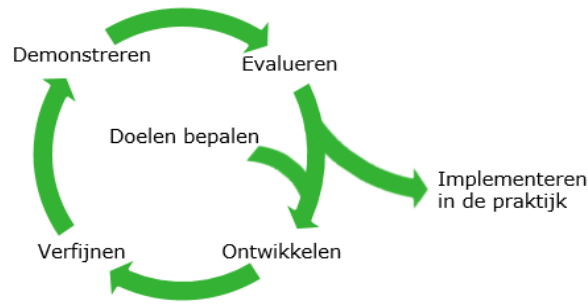
Om hier invulling aan te geven heeft de overheid sinds 2018 op basis van een plan van aanpak onderzoek geïnitieerd. Een onderdeel van het plan van aanpak is onderzoek naar geïntegreerde voer- en diergerichte maatregelen die gericht zijn op het terugdringen van de CH₄ emissie uit het maagdarmkanaal van melkvee (enterisch CH₄) en de excretie van ammoniakale stikstof (TAN). Uit dat onderzoek is gebleken dat de reductiepotentie groot is en dat die potentie onder andere benut moet worden via hierop toegesneden voerstrategieën. Voor wat betreft de toepassing van dergelijke voerstrategieën in relatie tot CH₄ reductie, blijkt dat de praktijk daar nog weinig notie van heeft. De kennis die in de projecten van de Klimaatenvelpe zijn gegenereerd, moet geschikt gemaakt worden voor praktijktoepassing.

Voor het onderdeel ‘voer’ in de integrale aanpak is de gehele keten van maatregelen en werkwijzen om tot een rantsoen te komen (inkuilen, graslandbeheer, graswinning, kwaliteit, beweiding, bemesting, etc.) van belang. In de projecten binnen de Klimaatenvelpe zullen de effecten van emissiereductie via het voerspoor in de praktijk worden getoetst op pilotbedrijven en gedemonstreerd op demobedrijven. Daarmee kan aan veehouders handelingsperspectief worden gegeven.

Voor het onderdeel ‘dier’ in de integrale aanpak gaat het om nieuwe kennis over basisprocessen van de spijsvertering met betrekking tot microbiom, genetica, verzorging, voersamenstelling en voerconversie. Deze kennis moet de boer nieuw handelingsperspectief geven in het diermanagement en de interactie met het voerspoor. Samen leiden het voer- en dierspoor tot integrale maatregelen.

Het project ‘Praktijkimplementatie van kennis over de spijsvertering van melkvee om via (voer)managementmaatregelen de CH₄ en NH₃ emissie te reduceren’ richt zich op de interactie tussen dier en rantsoen van de integrale aanpak. Dit project bestaat uit verschillende onderdelen, waarvan deze praktijkimplementatie er één is. Deze rapportage is de tweede in de reeks en beschrijft de voortgang van het project waarbij voerstrategieën worden toegepast op vijf praktijkbedrijven. Het project is in 2020 gestart en is ingericht volgens het model van prototyping (Koning *et al.*, 2021).

Bij prototyping wordt een ambitieus doel gesteld dat in meerdere rondes bereikt moet worden. Het proces werkt via ‘leren door te doen’, door een stap te zetten en de resultaten te monitoren, te evalueren en te gebruiken voor de volgende stap in de emissiereductie (**Figuur 1.1**; Koning *et al.*, 2021). Dit gebeurt op verschillende locaties (in dit project melkveebedrijven) die weer onderling van elkaar leren. Ook wordt door de verschillende locaties een bredere doelgroep (in dit project de Nederlandse melkveehouderij) bereikt. Een stap zetten betekent dat (een deel van) het bedrijfsmanagement wordt aangepast om de emissies te reduceren.



Figuur 1.1 Schematische weergave van het prototyping proces. Het proces begint met het bepalen van het doel van de voermanagementmaatregelen. Vervolgens gaat het verschillende rondes van ontwikkelen, verfijnen, demonstreren en evalueren door (waarbij het doel centraal blijft staan), tot het uiteindelijk voldoet en gereed is om te implementeren in de brede praktijk (Koning et al., 2021).

1.2 Resultaten praktijkimplementatie 2020

In 2020 is de eerste stap gezet op 5 bedrijven met intensieve begeleiding zoals beschreven in Koning et al. (2021), en op 12 bedrijven met minder intensieve begeleiding zoals beschreven in Wemmenhove & Šebek (2021). Het blijkt dat het realiseren van de genoemde reductiedoelen een verandering in mentaliteit en instelling (*mindset*) vragen. Momenteel lijkt de reductiepotentie op maximaal 10-15% te liggen, waarmee ongeveer de helft van de verwachte reductiepotentie wordt gehaald. Verder is gebleken dat er zowel bij veehouders als adviseurs weinig kennis is over het reduceren van de enterische CH₄ emissie. Voor meer informatie over de toegepaste voerstrategieën, het effect daarvan op de emissie en het perspectief van de veehouders en voeradviseurs (zie Koning et al., 2021).

In de regel is de eerste stap voor wat betreft reductie een kleine stap, maar qua *mindset* is het vaak een grote stap. Bedrijven moeten dan met name het denk- en managementpatroon aanpassen en de focus verleggen. Dat is in de eerste stap belangrijker dan een flinke reductie bereiken. Het moet garanderen dat in de jaren daarop grotere stappen gezet kunnen worden. De grootte van de stappen in de jaren daarop zijn afhankelijk van het uitgangsniveau en de jaarlijkse evaluatie van de bereikte reducties en de resterende reductiepotentie.

1.3 Projectdoelen 2021

In 2021 is de tweede stap gezet. Bij alle deelnemende bedrijven is via verdere implementatie van algemene maatregelen die binnen de huidige mentaliteit passen gestreefd naar verhoging van de emissiereductie. Daarnaast zijn in 2021 opnieuw 5 bedrijven intensief begeleid bij het ontwikkelen van voerstrategieën gericht op maatregelen die op korte termijn geïmplementeerd kunnen worden. Dat zijn met name aanpassingen in de bijproducten en mengvoeders (net zoals in 2020). Deze rapportage beschrijft vooral dit laatste proces.

De vragen die in deze praktijkimplementatie (deelproject) een rol spelen zijn:

1. Is het mogelijk voerstrategieën te ontwikkelen met een reductiepotentie voor zowel CH₄ als NH₃ voor verschillende praktijkbedrijven?
2. Zo ja, wordt die reductie ook gemeten wanneer de voerstrategie voor een korte periode (vier weken) wordt toegepast op het bedrijf?
3. Komen de modelberekeningen en de gemeten emissie van het basisrantsoen en de voerstrategie met elkaar overeen? Zo niet, kunnen hier dan mogelijke verklaringen voor gevonden worden?
4. Wat is er op de lange termijn mogelijk op de bedrijven en wat is daarvan het effect op de CH₄ en NH₃ emissie en wat zijn de economische gevolgen?

Parallel aan bovenstaande is met een aantal bedrijven gezocht naar maatregelen die met name gericht zijn op het aanpassen van de kwaliteit van de zelf-geteelde ruwvoerders. Het gaat om bedrijfsspecifieke mogelijkheden om de emissie gerelateerd aan zelf geteelde ruwvoerders te verminderen via teelt-, oogst- en conserveringsmaatregelen. In 2022 en 2023 kunnen deze maatregelen toegepast worden op (een deel van) de zelf-geteelde ruwvoerders en in 2023 en 2024 (en verder) kunnen deze maatregelen getoetst worden op werkbaarheid.

Het doel van dit deelproject is het in kaart brengen en beschrijven van het proces en de resultaten horende bij de volledige praktijkimplementatie van voerstrategieën om CH₄ en NH₃ te reduceren. Concrete voerstrategieën voor representatieve praktijkbedrijven uit verschillende regio's zijn ontwikkeld, in het bedrijfsmanagement geïmplementeerd, het effect op de emissies en het proces gemonitord, en tot slot zijn de resultaten op praktische uitvoerbaarheid en emissiereductie geëvalueerd om de strategieën te optimaliseren. Daarnaast is het doel van het project om de kennis die wordt opgedaan om te zetten in handelingsperspectief voor de gemiddelde (voer)adviseur in de melkveehouderij, zodat deze in staat is om zelfstandig met de melkveehouder een passende voerstrategie voor het bedrijf op te stellen. Dit laatste staat beschreven in Wemmenhove & Šebek (2022).

Het project gebruikt kennis uit eerdere projecten van de Klimaatenvolp om bedrijfsspecifieke en praktijk implementeerbare voerstrategieën te ontwikkelen en monitoren. Tegelijkertijd kunnen de resultaten van dit project direct gebruikt worden door projecten gericht op verdere praktijkimplementatie, communicatie en kennisverspreiding. Kennisverspreiding naar boer, erfbetreders en monitoring van implementatie complementeren het geheel tot een samenhangend programma van kennisontwikkeling tot uiteindelijke implementatie op de bedrijven.

1.4 Leeswijzer

Deze rapportage betreft de resultaten van 2021. In dat jaar zijn op vijf bedrijven voor het eerst met intensieve begeleiding bedrijfsspecifieke voerstrategieën ontwikkeld en gemonitord. Voor vijf andere bedrijven waarvoor dat proces al in 2020 is doorgelopen (Koning *et al.*, 2021), is gekeken naar vervolgstappen.

In hoofdstuk 2 is de werkwijze van het ontwikkelen en implementeren van voerstrategieën beschreven (vraag 1). Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van de implementatie, zowel op basis van gemeten emissie (vraag 2) als op basis van rekenmodellen (vraag 3). Hoofdstuk 4 beschrijft de evaluatie, waarin de visie van de veehouder en voeradviseur en de impact voor de praktijk centraal staat. Hoofdstuk 5 beschrijft de start van een nieuwe prototyping ronde: het doorontwikkelen van de voerstrategie in de vorm van scenariostudies (vraag 4). Hierin zijn bedrijven beschreven die in 2020 of 2021 intensief begeleid zijn. Ten slotte volgt de discussie en conclusie (hoofdstuk 6). Deze praktijkrapportage maakt deel uit van een rapportagereeks, waarvan dit de tweede is. In deze reeks zullen verschillende prototyping rondes worden gerapporteerd om te laten zien of en hoe de reductiedoelen gehaald kunnen worden.

2 Ontwikkelen voerstrategieën

2.1 Werkwijze

2.1.1 Algemeen

In 2021 zijn ten opzichte van 2020 vijf andere bedrijven intensief begeleid in de ontwikkeling van voerstrategieën gericht op het verlagen van de enterische CH₄ emissie en TAN excretie. Vanuit een bestaande voerstrategie kunnen een aantal stappen genomen worden om deze emissies te verminderen. In 2020 en 2021 lag de focus van het ontwikkelen van een voerstrategie met name op het aanpassen van de bijproducten en mengvoedersamenstelling. Daarbij werd als randvoorwaarde aangehouden dat de voorgestelde voerstrategie moest voldoen aan de nutritionele eisen van het bedrijf dat de voeradvisen verzorgt. Deze aanpak sluit aan bij wat praktijkbedrijven als eerste zouden doen en de maatregelen kunnen direct worden toegepast. Maatregelen als het aanpassen van de kwaliteit van de (zelf geteelde) ruwvoerders vraagt aanpassingen in de (ruw)voerteelt en dat vraagt tijd. Wanneer dit jaar iets gewijzigd wordt in de ruwvoerteelt, is dat op zijn vroegst volgend jaar pas zichtbaar/meetbaar. De stappen voor 2021 waren (gelijk aan die van 2020):

1. Aanvullende voedermiddelen (bijproducten) met een hoge emissiefactor (EF, in g CH₄/kg DS) vervangen door voedermiddelen met een lage EF.
2. EF van het krachtvoer verlagen.
3. Aandeel gras in ruwvoerdeel verlagen (en dus het aandeel mais in het ruwvoerdeel verhogen).
4. Aandeel ruwvoer in het rantsoen verlagen.
5. Het vetgehalte van het rantsoen verhogen.

Per bedrijf (zie bijlage 1 voor de algemene bedrijfsgegevens) is voor zowel de CH₄ emissie als TAN excretie gekeken of het reductiedoel behaald kon worden zonder in te leveren op de nutritionele waarde van het rantsoen (vraag 1 van hoofdstuk 1.3). Omdat in deze eerste prototyping ronde nog geen aanpassingen zijn gedaan in de kwaliteit van de ruwvoerders, werd gestreefd naar de maximale theoretisch haalbare reductie in de praktijk zoals beschreven in Šebek *et al.* (2014). Om dit te kwantificeren, is er voor gekozen om te streven naar een EF van 15,8 g CH₄/kg DS (of lager) bij 21 kg DS opname. Bij het bespreken van de voerstrategieën bleek dat in de Nederlandse praktijk bij vettoevoeging altijd pensbestendig vet wordt gebruikt. Daardoor blijft er ten opzichte van het gebruik van onbestendig vet nog reductiepotentie onbenut. Om deze potentie te duiden is in 2.2 bij het opstellen van de voerstrategie steeds het extra reductie effect van onbestendig vet berekend. Voor de TAN excretie is uitgegaan van een reductie van 30% ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de K LW 2018, wat overeenkomt met een excretie van 7,6 kg TAN /1000 kg melk.

2.1.2 Berekening CH₄ emissie

Om het theoretische effect van elke aanpassing vast te stellen, is de CH₄ emissie berekend op basis van het op papier ontwikkelde rantsoen met behulp van de rekenregels zoals beschreven door Šebek *et al.* (2016). Deze rekenregels berekenen per voedermiddel een EF afgeleid met behulp van de Nederlandse IPCC Tier 3 benadering. De EF is gebaseerd op en gecorrigeerd voor bedrijfsspecifieke rantsoeneigenschappen, namelijk:

1. Per voedermiddel is de EF bepaald op basis van de algemene EF-lijst van de K LW zoals beschreven in Van Dijk *et al.* (2020)
2. Correctie voor het aandeel snijmaissilage in het rantsoen.
3. Correctie voor het voeropnameniveau.
4. Correctie voor de ruwvoer kwaliteit. Voor grassilage op basis van het NDF gehalte en voor snijmaissilage op basis van het NDF- en zetmeelgehalte.
5. De EF van de mengvoedersamenstelling, bepaald en aangereikt door de mengvoerfabrikant.

6. Extra correctie voor het vetpercentage van het totale rantsoen wanneer onbestendig vet zou zijn gebruikt².

Op basis van de EF per voedermiddel kan er op bedrijfsniveau een gewogen gemiddelde berekend worden voor de CH₄ emissie per kg DS van het rantsoen. Zowel de EF van het basisrantsoen als het ontwikkelde rantsoen is berekend. Er werden aanpassingen gedaan tot het reductiedoel van een EF van 15,8 g CH₄/kg DS behaald werd, tenzij er geen opties meer over waren. Aanpassingen aan het rantsoen werden door de voeradviseur van het melkveebedrijf getoetst aan de nutritionele eisen voor melkgevende koeien van de betreffende voerleverancier om te borgen dat de gevoerde rantsoenen praktijkconform waren.

2.1.3 Berekening TAN excretie

De TAN excretie 'onder de staart' bestaat uit de uitgescheiden stikstof (N) via urine. De N via urine wordt berekend als het verschil tussen 'de verteerde en door de darm opgenomen N' en 'de in het lichaamswefsel plus melk vastgelegde N'. De verteerde N is berekend als het product van de hoeveelheid opgenomen N via voer en de verteringscoëfficiënt van het ruw eiwit (V_{CRE}). De V_{CRE} van het rantsoen is berekend als het gewogen gemiddelde van de V_{CRE} van de afzonderlijke voercomponenten. De gebruikte V_{CRE} van de verstrekte voedermiddelen is een gemiddelde uit de voedertabellen van het Centraal Veevoeder Bureau (CVB, 2016). Deze VC-re zijn conform Bannink *et al.*, 2018 en de daarvan afgeleide KLV rekenregels met een factor 0,91 vermenigvuldigd. De N-vastlegging bestaat uit vastlegging in het lichaam (default waarden afhankelijk van leeftijd, gewicht en dracht zoals beschreven in de Handreiking bedrijfsspecifieke excretie melkvee (RVO, 2019)) plus de N vastgelegd in melk die is berekend door de melkproductie (kg) te vermenigvuldigen met het N-gehalte van de melk (in g/kg).

Bovenstaande stappen geven samen de volgende rekenregel voor de TAN excretie:

$$TAN = N_{urine} = N_{verteerd\ en\ opgenomen} - N_{vastlegging\ lichaamswefsel\ en\ melk} = (N_{voer} * V_{CRE}) - N_{vastlegging}$$

Waarbij:

TAN = Totaal Ammoniakal N (kg)

N_{urine} = kg N in de urine

N_{voer} = kg N die opgenomen is via het voer

N_{vastlegging} = kg N vastgelegd in het dier (lichaamswefsel) en in melk

V_{CRE} = de verteringscoëfficiënt van ruw eiwit in voer

2.2 Opstellen voerstrategieën

2.2.1 Bedrijf F

Het rantsoen van de uitgangssituatie (voorjaar 2021) op bedrijf F (kleigrond) had een EF van 17,8 g CH₄/kg DS en het doel was dit te reduceren naar 15,8 g CH₄/kg DS (reductie van 11%). Het basisrantsoen bestond uit vers gras (zomerstalvoeding) aangevuld met grassilage, snijmaissilage en bijproducten. In de meetperiode zijn de volgende maatregelen toegepast:

1. Naast vers gras (op stal) geen graskuil bijvoeren, enkel maiskuil.
2. De bijproducten sojaschroot en raapzaadschroot in het rantsoen verlagen en aardappelpersvezel en cichoreiperspulp volledig uit het rantsoen halen. Deze bijproducten vervangen door bierbostel en meer mengvoer.
3. De EF van het mengvoer verlagen van 18,2 naar 16,1 g CH₄/kg DS.
4. Het toevoegen van voedervet aan het rantsoen.

² Deze rekenregel staat niet beschreven in Sebek *et al.* (2016), maar uit nog niet gepubliceerd onderzoek van Bannink en Dijkstra (persoonlijke mededeling) blijkt dat het toevoegen van onbestendig vet de enterische CH₄ emissie met een extra factor verlaagt. Per 1% toegevoegd onverzadigd vet in het totale rantsoen (op DS basis) reduceert de CH₄ emissie met 15,5 g CH₄/koe/dag.

Vers gras bij zomerstalvoeding heeft volgens de KLV rekenregels een hoge EF van 23,2 g CH₄/kg DS, waardoor het niet zou passen in een laag CH₄ emissie rantsoen. Echter, op basis van onderzoek van Klootwijk *et al.* (2021) wordt verwacht dat vers gras in bepaalde situaties (seizoenen, maaistadia) een lagere EF heeft dan graskuil. Daarom is de EF van vers gras op stal in de berekeningen aangepast naar 19 g CH₄/kg DS. Met deze aanpassing van de EF van vers gras werd de berekende EF van de uitgangssituatie op 17,3 g CH₄/kg DS en van de voerstrategie op 16,8 g CH₄/kg DS (3% reductie) geschat. Het doel werd niet gehaald, maar een eventuele extra reductie van het toevoegen van extra onbestendig vet aan het rantsoen (rekenregel 6 beschreven in hoofdstuk 2.1.2) was nog niet doorgerekend, omdat het type vettoevoeging en het exacte vetpercentage van het rantsoen vooraf niet bekend was. Er is daarom besloten deze voerstrategie toe te passen op het bedrijf. De EF van de voerstrategie inclusief de extra reductie van vet werd geschat op 16,5 g CH₄/kg DS (bijna 5% reductie ten opzichte van het basisrantsoen in de uitgangssituatie).

2.2.2 Bedrijf G

Het rantsoen van de uitgangssituatie (voorjaar 2021) op bedrijf G (zandgrond) had een EF van 17,9 g CH₄/kg DS en het doel was dit te reduceren naar 15,8 g CH₄/kg DS (reductie van 12%). De volgende maatregelen werden voorgesteld:

1. Graskuilen met een lagere EF voeren (die kuilen waren op het bedrijf aanwezig).
2. De EF van het mengvoer verlagen van 19,8 naar 15,8 g CH₄/kg DS.
3. Het toevoegen van voedervet aan het rantsoen.

Tijdens het ontwikkelen van het rantsoen werd geen rekening gehouden met het voeren van vers gras (beweiding), dit is uiteindelijk wel toegepast en is uitgeruild tegen graskuil (maiskuiltaandeel bleef hierdoor gelijk). De reductiepotentie van het rantsoen werd geschat op 14% (naar een EF van 15,5 g CH₄/kg DS) en hiermee werd het doel gehaald. Indien de vettoevoeging (rantsoenvetgehalte van 4,3 naar 5,1%) met onbestendig vet zou zijn gedaan was de rantsoen EF verder gedaald naar 14,9 g CH₄/kg DS (17% reductie).

2.2.3 Bedrijf H

Het rantsoen van de uitgangssituatie (najaar 2021) van bedrijf H (op kleigrond) had een EF van 18,8 g CH₄/kg DS en het doel was dit te reduceren naar 15,8 g CH₄/kg DS (reductie van 16%). De volgende maatregelen werden voorgesteld voor de voerstrategie:

1. Hoger percentage maiskuil voeren (van 42 naar 47% in het ruwvoerdeel van de rantsoen DS)
2. Tarwegistconcentraat verlagen en maisglutenvoer en geplette gerst uit het rantsoen verwijderen. Deze bijproducten vervangen door sojaschroot en meer mengvoer.
3. De EF van het mengvoer verlagen naar 17,8 g CH₄/kg DS.
4. Het toevoegen van voedervet aan het rantsoen.

Het vetgehalte van het rantsoen werd verhoogd naar 5,3%. De reductiepotentie van het rantsoen werd geschat op 4% (EF=18,1 g CH₄/kg DS). Zou voor de vettoevoeging onbestendig vet zijn gebruikt dan was de geschatte EF=16,9 g CH₄/kg DS (10% reductie). Ook dan zou het doel voor de CH₄ emissie volgens de berekening niet gehaald worden.

2.2.4 Bedrijf I

De reductiemogelijkheden op bedrijf I (op kleigrond) waren niet duidelijk, omdat het bedrijf al zijn voeders en bijproducten zelf verbouwd. Van deze producten zijn geen geverifieerde EF beschikbaar. Ook worden er geen of nauwelijks (kracht)voeders aangekocht. Hierdoor is het verlagen van de EF van krachtvoer en het vervangen van hoog EF bijproducten door laag EF producten niet mogelijk. Bovendien zijn de modelschattingen op dit bedrijf mogelijk minder nauwkeurig omdat het rantsoen geen conventioneel rantsoen is en veel producten bevat waarvan de EF is afgeleid van andere voeders. Voor dit bedrijf lag de focus daarom op het vergelijken van de gemeten CH₄ emissie met de modelberekeningen om een beeld te krijgen of de emissie goed wordt ingeschat.

Daarnaast zijn er kleine veranderingen in het rantsoen toegepast:

1. Een deel van de graskuil vervangen door een graskuil met een lagere EF.
2. Sojaschroot toegevoegd
3. Lager percentage maiskuil gevoerd

Bovenstaande wijzigingen hadden als combinatie naar verwachting geen reductiepotentie.

2.2.5 Bedrijf J

Het rantsoen van de uitgangssituatie (najaar 2021) op bedrijf J (zandgrond) had een EF van 18,3 g CH₄/kg DS en het doel was dit te reduceren naar 15,8 g CH₄/kg DS (reductie van 14%). De volgende maatregelen werden voorgesteld:

1. Verlagen van het aandeel graskuil en verhogen van het aandeel maiskuil in het ruwvoerdeel.
2. Voederbieten uit het rantsoen halen
3. De EF van het mengvoer verlagen van circa 20,5 naar 16,8 g CH₄/kg DS.

De EF van het mengvoer werd verlaagd door het verhogen van het vetgehalte. Het vetgehalte van het totale rantsoen nam toe van 3,7% naar 5,8%. De reductiepotentie van het rantsoen werd geschat op 7% (EF=17,0 g CH₄/kg DS). Door gebruik van onbestendig vet zou de reductiepotentie 13% zijn (EF=16,0 g CH₄/kg DS). Ook hiermee zou het doel voor de CH₄ emissie volgens de berekening niet worden gehaald.

3 Demonstreren voerstrategieën

3.1 Algemeen

Nadat de voerstrategie was ontwikkeld en verfijnd tot een voorstel waarbij zowel de veehouder, voeradviseur en onderzoeker akkoord gingen, was de volgende stap deze toe te passen (demonstratie). De ontwikkelde voerstrategie is voor een periode van 4 weken geïmplementeerd op het bedrijf (vraag 2 van hoofdstuk 1.3). Het effect van de voerstrategie op de enterische CH₄ emissie is gemonitord met behulp van de GreenFeed (C-lock Inc., Rapid City, USA) en geëvalueerd door veehouder, voeradviseur en onderzoekers.

3.2 Werkwijze

3.2.1 Bedrijven en planning

De ontwikkelde voerstrategieën beschreven in hoofdstuk 2.2 zijn geïmplementeerd op de betreffende vijf bedrijven tussen mei 2021 en januari 2022. De vijf bedrijven zijn deelnemers in het project Koeien & Kansen³, een meerjarig onderzoeks- en demonstratieproject. Zie Bijlage 1 voor de algemene bedrijfsgegevens van deze bedrijven. De werkwijze in 2021, inclusief CH₄ metingen, melkcontrole, gemodelleerde voeropname en de berekeningen van de emissies was gelijk aan de werkwijze uitgevoerd in 2020, zoals beschreven in Koning *et al.* (2021). Samengevat is er gedurende een periode van 12 weken per bedrijf gemeten. De 12 weken zijn onderverdeeld in drie perioden van vier weken; twee weken adaptatie aan het door te meten rantsoen gevolgd door twee weken meetperiode. In de eerste en derde periode werd een gebruikelijk rantsoen van dat bedrijf gemeten en in de tweede periode de voerstrategie zoals beschreven in hoofdstuk 2.2. In elke meetperiode werd de voeropname en voersamenstelling op groepsniveau geregistreerd, een melkcontrole uitgevoerd en werd de enterische CH₄ emissie gemeten met behulp van de GreenFeed. De praktijkimplementatie kent geen experimenteel design en er is daarom geen statistische analyse uitgevoerd. De metingen voor (periode 1) en na (periode 3) het implementeren van de voerstrategie (periode 2) dienden als controle om het mogelijke effect van de voerstrategie zo goed mogelijk in een praktijksetting in beeld te brengen.

3.2.2 CH₄ metingen

De enterische CH₄ productie is op de vijf bedrijven gemeten met behulp van de GreenFeed (C-lock Inc.). De GreenFeed is een aangepast krachtvoerstation dat enerzijds de CH₄ en CO₂ concentratie meet (met behulp van niet-dispersieve infraroodsensoren) en anderzijds de kwantitatieve luchtstroom (met behulp van een hot-film anemometer) wanneer een koe het station bezoekt. Door de kwantitatieve luchtstroom met de concentraties te vermenigvuldigen wordt de emissie in g/koe/dag op dat monsterniveau geschat. Verder registreert de GreenFeed de positie van de kop van de koe waarmee wordt bepaald of er een representatieve meting van de ademlucht van de koe wordt verricht tijdens een bezoek. Deze data zijn gebruikt om de kwantitatieve CH₄ productie (in gram per koe per dag) per bezoek te berekenen. De sensoren die de concentraties gassen (CH₄, CO₂) detecteerden werden dagelijks gekalibreerd en de sensor die de kwantitatieve luchtstroom registreerde werd maandelijks gekalibreerd. Een uitgebreidere omschrijving van de werking van de GreenFeed staat beschreven in het manuscript van C-lock (C-lock Inc., 2017).

³ Voor meer informatie over Koeien & Kansen zie <https://www.koeienenkansen.nl/nl/koeien-kansen-1/Projectinformatie.htm>

Om een representatieve gemiddelde CH₄ productie van een bepaalde periode te genereren met behulp van vrijwillige bezoeken aan de GreenFeed, zijn meerdere metingen per dag op meerdere dagen nodig. Er is daarom per rantsoen voor een periode van twee weken gemeten. Om meerdere metingen per koe te ontvangen, werd lokbrok (krachtvoer) verstrekt via de GreenFeed in maximaal zes voerbeurten van circa 300-400 g per voerbeurt per koe per dag, met minimaal drie uur tussen elke voerbeurt. De CH₄ metingen per koe zijn gemiddeld tot een emissie in gram per koe per dag van die tweewekelijkse periode. De CH₄ emissie kan vervolgens uitgedrukt worden in:

- CH₄ productie (g CH₄/koe/dag)
- CH₄ intensiteit (g CH₄/kg FPCM) door de individuele CH₄ productie te delen door de individuele meetmelkproductie
- CH₄ opbrengst (g CH₄/kg DS) door de individuele CH₄ productie te delen door de geschatte individuele DS opname (zie hoofdstuk 3.2.4).

3.2.3 Melkcontrole

In iedere meetperiode is in de tweede week een standaard melkcontrole uitgevoerd om de melkgift en het vet- en eiwitgehalte van de melk van individuele koeien te bepalen. Deze data zijn vervolgens gebruikt om de melkproductie in kg meetmelk of FPCM (fat and protein corrected milk) te berekenen. De meetmelk is berekend volgens de formule:

$$FPCM \text{ (kg/dag)} = (0,337 + 0,16 * \%vet + 0,06 * \%eiwit) * \text{melkgift (kg/dag)}$$

3.2.4 Voeropname testgroep

De metingen zijn uitgevoerd op praktijkbedrijven, waardoor individuele voeropnameregistratie niet mogelijk was. De voeropname is daarom geregistreerd per week en op koppelniveau (alle lacterende koeien op het bedrijf). De voergift is dagelijks geregistreerd en aan het einde van iedere week in de meetperiode zijn de voerresten gewogen om de groepsvoeropname te bepalen. Echter, niet alle lacterende dieren zaten in de testgroep waarvoor de CH₄ emissie is gemeten. Daardoor kan de gemiddelde opname van de testgroep afwijken van het gemiddelde op koppelniveau. Om de gemiddelde voeropname van de testgroep te schatten is een combinatie van de droge stofopname van alle lacterende dieren (DSO_{koppel}) en de individuele voeropnamecapaciteit (VOC, Koemodel, Zom, 2014) gebruikt. Dat is uitgevoerd door eerst voor alle lacterende dieren in de meetperiode de VOC te berekenen volgens:

$$VOC = \left(8,08 + 3,2956 * \left(1 - e^{-1,2758 * \left(LNR - 1 + \frac{LD}{365} \right)} \right) \right) * e^{0,3983 * (1 - e^{-0,05341 * LD})}$$

Waarbij:

VOC = voeropname capaciteit (kg DS/dag), exclusief aantal dagen drachtig (niet beschikbaar)

LD = aantal dagen in lactatie

LNR = lactatienummer

Met VOC is vervolgens de individuele voeropname van de geteste groep lacterende koeien gemodelleerd:

$$\text{Voeropname per koe in de testgroep (DSO)} = VOC_{\text{koe testgroep}} * \frac{DSO_{\text{koppel}}}{VOC_{\text{koppel}}}$$

Waarbij:

DSO = droge stofopname (kg per dier per dag)

VOC = voeropname capaciteit (kg DS per dier per dag)

Koppel = alle lacterende dieren in de meetperiode van het bedrijf

Testgroep = lacterende dieren waarvan de CH₄ en CO₂ productie (g per dier per dag) is gemeten

Door de gemiddelde gemeten emissie (CH₄ en CO₂ in g per dier per dag) te delen door de gemiddelde gemodelleerde voeropname (in kg DSO per dier per dag) van de dieren in de testgroep te middelen is de gemiddelde emissie (in g/kg DS) voor de testgroep bepaald.

3.2.5 Berekende CH₄ emissie en TAN excretie

Naast de CH₄ metingen met de GreenFeed, is de CH₄ emissie van het verstrekte rantsoen ook berekend conform de rekenregels van de KLW. Daarnaast is op basis van de gegevens van de meetperiode voor de hele melkveestapel de TAN excretie berekend in kg TAN/1000 kg melk en in g TAN per dier per dag. Dat is gedaan volgens de rekenregels van de KLW, omdat het direct meten van de TAN excretie in praktijkomstandigheden niet mogelijk is. De verandering in TAN excretie tussen voerstrategieën geeft aan welke impact de voerstrategie heeft op de verwachte NH₃ emissie. Tijdens het ontwikkelen en verfijnen van de voerstrategie, is bij de modelberekeningen uitgegaan van een verwachte voeropname en melkproductie. Naderhand is op basis van de gerealiseerde voeropname en melkproductie de verwachte CH₄ emissie (g per kg DS) en TAN excretie (g per dier per dag) opnieuw berekend zoals beschreven in hoofdstuk 2.1.2 en 2.1.3. Deze gemodelleerde CH₄ emissie is gebruikt voor de vergelijking met de gemeten excreties (praktijktoets voor modelcontrole, vraag 3 van hoofdstuk 1.3).

3.3 Toepassen voerstrategie

3.3.1 Reductiepotentie CH₄ emissie en TAN excretie

3.3.1.1 Bedrijf F

De drie meetperiodes liepen op dit bedrijf van 26 april tot en met 17 juli 2021. De voerstrategie (periode 2) had een vooraf gemodelleerde EF van 16,8 g CH₄/kg DS onder de aanname (zie hoofdstuk 2.2.1) dat voor vers gras bij zomerstalvoeding de EF 19,0 g CH₄/kg DS is. De CH₄ reductiepotentie van de voerstrategie was 3%. De modelberekeningen gaven voor het werkelijk gevoerde rantsoen in de perioden 1, 2 en 3 respectievelijk een EF van 19,5, 18,1 en 18,1 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per koe per dag. Daarmee was de reductiepotentie van de voerstrategie (periode 2 t.o.v. periode 1) op papier iets meer dan 7%. Met een EF van 19,5 was de EF van het gevoerde rantsoen in periode 1 hoger dan vooraf berekend werd bij de ontwikkeling van de voerstrategie. De EF van de rantsoenen in periode 2 en 3 waren gelijk, doordat de graskuil in periode 3 de laagste EF had van de 3 meetperiodes (Bijlage 2). De gemeten CH₄ emissie laat hetzelfde patroon zien, met de hoogste CH₄ opbrengst in periode 1 (18,1 g CH₄/kg DS bij 22 kg DS) en de laagste in periode 3 (17,4 g CH₄/kg DS bij 23,7 kg DS). Het verschil in CH₄ opbrengst over de perioden wordt voor ongeveer de helft veroorzaakt door een toename van de voeropname van de gevolgde groep koeien over de perioden (van 22,0 naar 23,7 kg DS). Omgerekend naar een gelijke DS opname van 21 kg is de EF op basis van de gemeten CH₄ opbrengst 18,3 g CH₄/kg DS in periode 1 en 18,0 g CH₄/kg DS in periode 2 en 3 (**Tabel 3.1**). Daarmee was de gemeten reductiepotentie bijna 2%. De absolute CH₄ productie (per koe per dag) en de CH₄ intensiteit (per kg meetmelk) nam toe over de perioden (**Figuur 3.1**). Dit zou een effect van tijd kunnen zijn, omdat in periode 1 gestart werd met relatief veel nieuwmelkte koeien in vermoedelijk een negatieve energiebalans (NEB). Er werd geen effect van de voerstrategie waargenomen. Het compleet gevoerde rantsoen inclusief de (berekende) EF per product staat weergegeven in Bijlage 2.

De TAN excretie (van alle lacterende dieren op het bedrijf) was tijdens de voerstrategie iets hoger dan tijdens het basisrantsoen in periode 1 (5%), maar circa 10% lager ten opzichte van periode 3 (**Tabel 3.1**). In alle perioden was de TAN excretie van bedrijf F lager dan de streefwaarde van 7,6 g TAN/kg melk (= 30% lager dan het Nederlandse gemiddelde volgens de KLW 2018, zie ook **Tabel 5.1**). Daaruit blijkt enerzijds dat het mogelijk is om bij het ontwikkelen van een voerstrategie gericht op CH₄ reductie tevens te voldoen aan eisen voor de NH₃ emissie en anderzijds dat er een wisselwerking is. Het is daarom aan te bevelen de impact op de TAN excretie mee te wegen bij het formuleren van een voerstrategie gericht op CH₄ reductie.

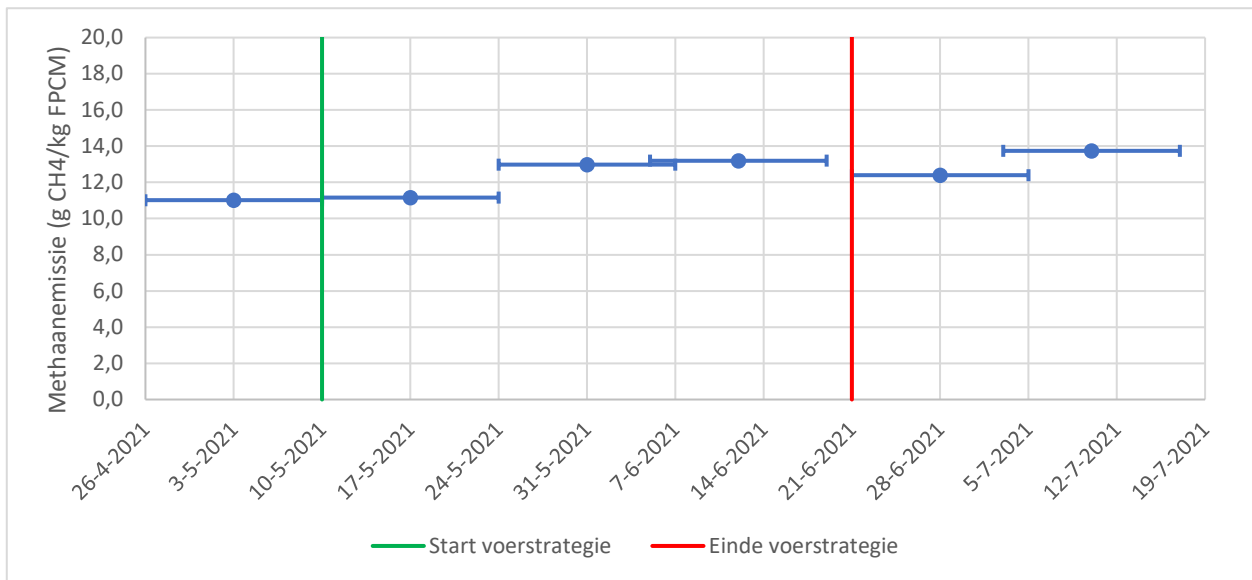
Tabel 3.1 Bedrijf F: Per periode het aantal dieren in de testgroep, de gemeten CH₄ en CO₂ emissie, voeropname, (meet)melkproductie en overige diergegevens van de testgroep, evenals het aantal dieren, de (meet)melkproductie en de berekende TAN excretie (op veestapelniveau) van de volledige melkgevende veestapel per periode.

	Periode 1: Basisrantsoen	Periode 2: Voerstrategie	Periode 3: Basisrantsoen
Selectie testgroep			
Aantal lacterende koeien testgroep	30	30	27
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	398	406	412
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	11,0	13,2	13,7
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	18,1	17,6	17,4
EF (g CH ₄ /kg DS) bij DSO=21 ¹	18,3	18,0	18,0
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	13132	12948	13160
CH ₄ /CO ₂ ratio	0,0302	0,0311	0,0311
Variatiecoëfficiënt CH ₄ ²	15,5	17,4	15,2
Voeropname (kg DS)	22,0	23,1	23,7
Meetmelkproductie (kg FPCM)	37,6	31,7	31,8
Melkproductie (kg melk)	34,8	32,6	32,7
Vetgehalte melk (%)	4,70	3,86	3,87
Eiwitgehalte melk (%)	3,52	3,23	3,41
Ureumgehalte melk (mg/100g)	11,8	10,8	13,6
Gemiddelde lactatiedagen	131	171	207
Gemiddelde lactatienummer	3,9	3,9	3,8
Melkgevende veestapel			
Aantal lacterende koeien totaal	139	137	143
TAN excretie (g TAN/koe/dag) ³	187,8	202,6	223,5
TAN excretie (g TAN/kg melk) ³	6,3	6,6	7,4
Melkproductie (kg melk/koe/dag)	30,1	31,0	30,4
Meetmelkproductie (kg FPCM)	32,1	31,5	30,9

¹ De EF is berekend op basis van de gemeten CH₄ opbrengst, gecorrigeerd voor een DSO van 21 kg (waarbij rekening is gehouden met de rekenregel dat als de voeropname toeneemt, de emissie per kg DS afneemt).

² Variatiecoëfficiënt (CV) is een maat voor de relatieve spreiding ten opzichte van het gemiddelde, berekend door de standaard deviatie van de CH₄ productie te delen door het gemiddelde maal 100% ($CV = \sigma / \mu * 100$)

³ De TAN excretie is berekend voor de hele melkgevende koppel, niet enkel de testgroep.



Figuur 3.1 Gemiddelde gemeten CH₄ intensiteit (in g CH₄/kg FPCM) per meetperiode op bedrijf F (n=30). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen). Vóór de groene lijn representeert periode 1 (basisrantsoen), tussen de groene en rode lijn representeert periode 2 (voerstrategie) en na de rode lijn representeert periode 3 (basisrantsoen).

3.3.1.2 Bedrijf G

De drie meetperioden liepen op bedrijf G van 12 april tot en met 12 juli 2021. De voerstrategie (periode 2) had een gemodelleerde EF van 15,5 g CH₄/kg DS (zie hoofdstuk 2.2.2) met een reductiepotentie van 14%. De modelberekeningen van de werkelijk gevoerde rantsoenen gaven in periode 1, 2 en 3 respectievelijk een EF van 18,3, 16,6 en 18,3 g CH₄/kg DS bij een DS opname van 21 kg. Hiermee was de reductiepotentie met ongeveer 9% iets lager dan vooraf ingeschat en werden de doelen op papier niet gehaald. Het compleet gevoerde rantsoen staat weergegeven in Bijlage 3. De gemeten CH₄ emissie was tijdens de voerstrategie circa 13% lager dan tijdens het basisrantsoen in periode 1 en meer dan 20% lager dan het basisrantsoen in periode 3. De gemeten CH₄ opbrengst van de voerstrategie was 16,8 g CH₄/kg DS (periode 2) en 19,5 g CH₄/kg DS tijdens het basisrantsoen in periode 1. In periode 3 was de emissie 22,9 g CH₄/kg DS (**Tabel 3.2**). De CH₄ opbrengst teruggerekend naar een DS opname van 21 kg werd 17,5 g CH₄/kg DS voor de voerstrategie versus 20,2 en 23,5 g CH₄/kg DS voor de basisrantsoenen in respectievelijk periode 1 en 3. De CH₄ intensiteit volgde een vergelijkbaar patroon met de laagste emissie tijdens de voerstrategie (**Figuur 3.2**).

De TAN excretie (**Tabel 3.2**) vertoonde een variatie van circa 15% en was alleen tijdens periode 2 (voerstrategie) hoger dan de streefwaarde van 7,6 g TAN/kg melk. Desondanks was in periode 2 de TAN excretie 29% lager dan het Nederlands gemiddelde (volgens de KLV 2018).

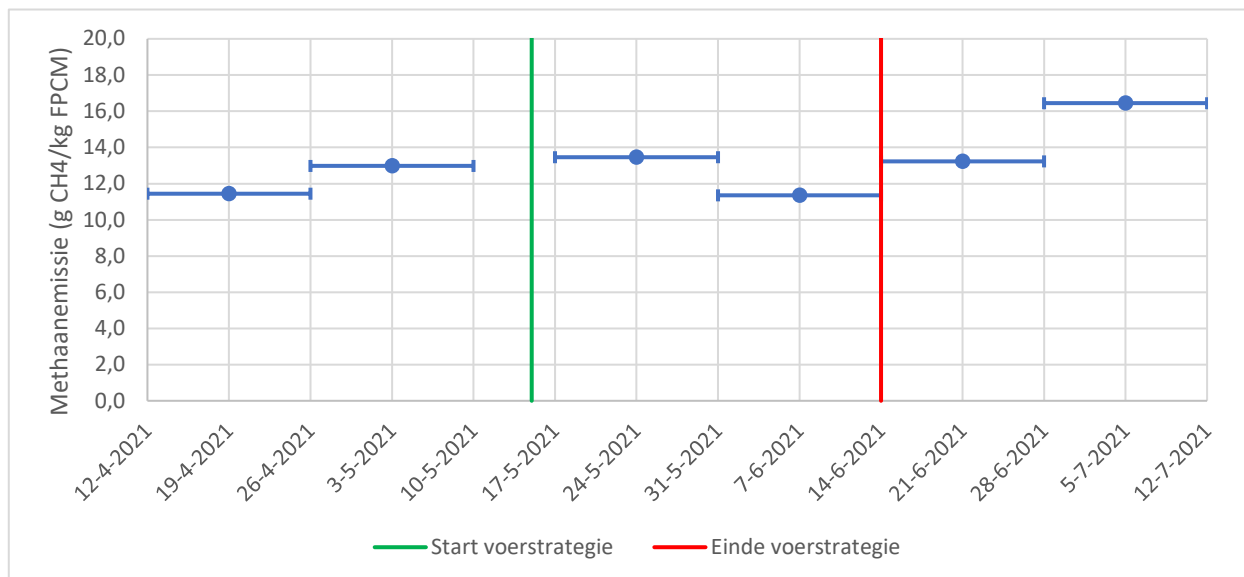
Tabel 3.2 *Bedrijf G: Per periode het aantal dieren in de testgroep, de gemeten CH4 en CO2 emissie, voeropname, (meet)melkproductie en overige diergegevens van de testgroep, evenals het aantal dieren, de (meet)melkproductie en de berekende TAN excretie (op veestapelniveau) van de volledige melkgevende veestapel per periode.*

	Periode 1: Basisrantsoen	Periode 2: Voerstrategie	Periode 3: Basisrantsoen
Selectie testgroep			
Aantal lacterende koeien testgroep	37	38	38
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	473	411	549
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	13,0	11,4	16,4
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	19,5	16,8	22,9
EF (g CH ₄ /kg DS) bij DSO=21 ¹	20,2	17,5	23,5
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	14098	13931	15258
CH ₄ /CO ₂ ratio	0,0334	0,0293	0,0358
Variatiecoëfficiënt CH ₄ ²	17,3	21,2	17,5
Voeropname (kg DS)	24,2	24,3	24,0
Meetmelkproductie (kg FPCM)	37,7	37,4	35,4
Melkproductie (kg melk)	37,1	37,7	34,7
Vetgehalte melk (%)	4,10	3,93	4,21
Eiwitgehalte melk (%)	3,50	3,40	3,42
Ureumgehalte melk (mg/100g)	23,1	21,7	19,5
Gemiddelde lactatiedagen	174	203	238
Gemiddelde lactatienummer	3,5	3,5	3,5
Melkgevende veestapel			
Aantal lacterende koeien totaal	108	101	96
TAN excretie (g TAN/koe/dag) ³	237,4	265,1	216,1
TAN excretie (g TAN/kg melk) ³	7,5	7,7	6,2
Melkproductie (kg melk/koe/dag)	31,9	34,7	34,9
Meetmelkproductie (kg FPCM)	33,0	34,5	34,5

¹ De EF is berekend op basis van de gemeten CH₄ opbrengst, gecorrigeerd voor een DSO van 21 kg (waarbij rekening is gehouden met de rekenregel dat als de voeropname toeneemt, de emissie per kg DS afneemt).

² Variatiecoëfficiënt (CV) is een maat voor de relatieve spreiding ten opzichte van het gemiddelde, berekend door de standaard deviatie van de CH₄ productie te delen door het gemiddelde maal 100% (CV=σ/μ*100)

³ De TAN excretie is berekend voor de hele melkgevende koppel, niet enkel de testgroep.



Figuur 3.2 Gemiddelde gemeten CH₄ intensiteit (in g CH₄/kg FPCM) per meetperiode op bedrijf G (n=38). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen). Vóór de groene lijn representeert periode 1 (basisrantsoen), tussen de groene en rode lijn representeert periode 2 (voerstrategie) en na de rode lijn representeert periode 3 (basisrantsoen).

3.3.1.3 Bedrijf H

De drie meetperioden liepen op bedrijf H van 27 september tot en met 13 december 2021. De voerstrategie (periode 2) had een vooraf gemodelleerde reductiepotentie van 4% (EF=18,1 g CH₄/kg DS). De modelberekeningen gaven voor het werkelijk gevoerde rantsoen in de perioden 1, 2 en 3 respectievelijk een EF van 19,6, 17,8 en 18,3 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per koe per dag. De EF van de voerstrategie was lager dan vooraf geschat, wat met name werd veroorzaakt door een lagere EF van de gevoerde maaskuil (Bijlage 4). De berekende reductiepotentie was hiermee bijna 9%. De gemeten CH₄ opbrengst van het basisrantsoen was 17,5 g CH₄/kg DS in periode 1 en 17,9 g CH₄/kg DS in periode 3. De CH₄ opbrengst van de voerstrategie was 17,0 g CH₄/kg DS. De CH₄ opbrengst teruggerekend naar een voeropname van 21 kg DS per koe per dag gaf in de perioden 1, 2 en 3 respectievelijk een EF van 17,9, 17,3 en 17,8 g CH₄/kg DS (**Tabel 3.3**). Dat is een reductie van 3%. De CH₄ intensiteit (per kg FPCM) volgde een vergelijkbaar patroon met t.o.v. periode 1 en 3 een reductie van respectievelijk 8 en 13% tijdens de voerstrategie (**Figuur 3.3**).

Uit **Tabel 3.3** blijkt dat de TAN excretie constant boven de streefwaarde van 7,6 g TAN per kg melk lag. Daarmee werd niet voldaan aan de streefwaarde van 30% reductie. De TAN excretie nam af in de tijd en was in periode 3 het laagst (20% lager ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de KLW 2018).

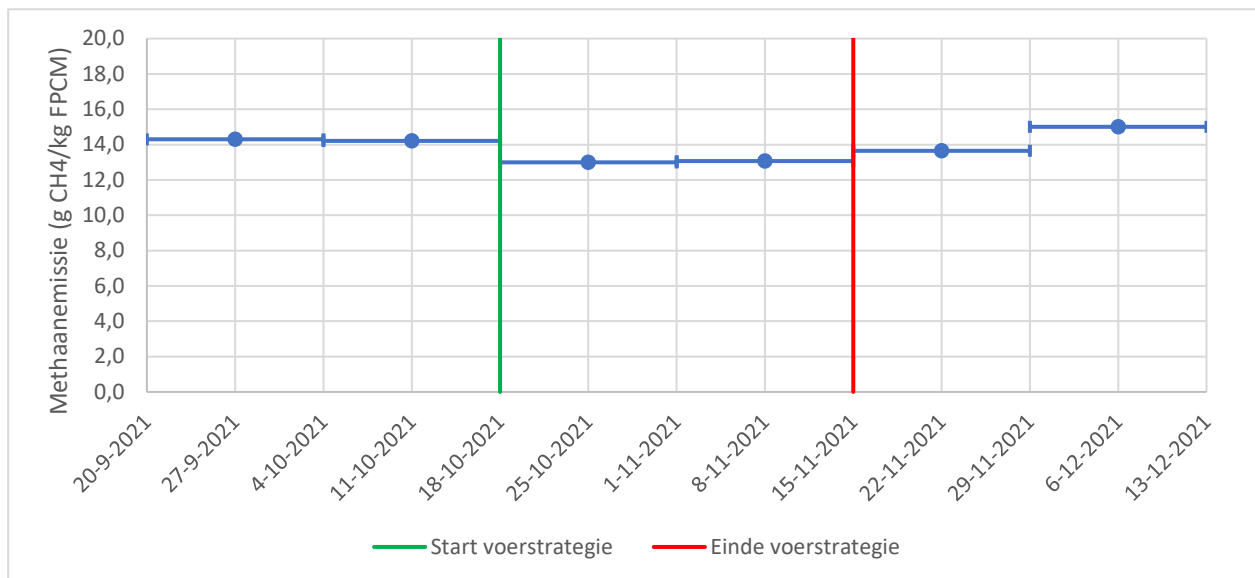
Tabel 3.3 Bedrijf H: Per periode het aantal dieren in de testgroep, de gemeten CH₄ en CO₂ emissie, voeropname, (meet)melkproductie en overige diergegevens van de testgroep, evenals het aantal dieren, de (meet)melkproductie en de berekende TAN excretie (op veestapelniveau) van de volledige melkgevende veestapel per periode.

	Periode 1: Basisrantsoen	Periode 2: Voerstrategie	Periode 3: Basisrantsoen
Selectie testgroep			
Aantal lacterende koeien testgroep	27	27	26
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	403	384	368
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	14,2	13,1	15,0
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	17,5	17,0	17,9
EF (g CH ₄ /kg DS) bij DSO=21 ¹	17,9	17,3	17,8
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	12620	12363	12214
CH ₄ /CO ₂ ratio	0,0315	0,0307	0,0299
Variatiecoëfficiënt CH ₄ ²	15,3	16,5	15,5
Voeropname (kg DS)	23,0	22,6	20,6
Meetmelkproductie (kg FPCM)	29,1	30,4	27,2
Melkproductie (kg melk)	27,0	27,5	24,4
Vetgehalte melk (%)	4,59	4,86	5,04
Eiwitgehalte melk (%)	3,63	3,66	3,59
Ureumgehalte melk (mg/100g)	22,2	21,7	20,7
Gemiddelde lactatiedagen	206	235	257
Gemiddelde lactatienummer	2,8	2,8	2,8
Melkgevende veestapel			
Aantal lacterende koeien totaal	166	168	170
TAN excretie (g TAN/koe/dag) ³	244,3	213,6	184,5
TAN excretie (g TAN/kg melk) ³	9,2	9,1	8,2
Melkproductie (kg melk/koe/dag)	26,6	23,8	22,5
Meetmelkproductie (kg FPCM)	28,8	26,4	24,9

¹ De EF is berekend op basis van de gemeten CH₄ opbrengst, gecorrigeerd voor een DSO van 21 kg (waarbij rekening is gehouden met de rekenregel dat als de voeropname toeneemt, de emissie per kg DS afneemt).

² Variatiecoëfficiënt (CV) is een maat voor de relatieve spreiding ten opzichte van het gemiddelde, berekend door de standaard deviatie van de CH₄ productie te delen door het gemiddelde maal 100% (CV=σ/μ*100)

³ De TAN excretie is berekend voor de hele melkgevende koppel, niet enkel de testgroep.



Figuur 3.3 Gemiddelde gemeten CH₄ intensiteit (in g CH₄/kg FPCM) per meetperiode op bedrijf H (n=27). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen). Vóór de groene lijn representeert periode 1 (basisrantsoen), tussen de groene en rode lijn representeert periode 2 (voerstrategie) en na de rode lijn representeert periode 3 (basisrantsoen).

3.3.1.4 Bedrijf I

De drie meetperioden liepen op bedrijf I van 28 september tot en met 14 december 2021. In tegenstelling tot de overige bedrijven, had de voerstrategie op dit bedrijf geen reductiepotentie. Er is geen specifieke voerstrategie toegepast, omdat de hoofdvraag op dit bedrijf was of de rekenregels de CH₄ emissie goed schatten. Op dit bedrijf werd daarom enkel verkennend gemeten. De rantsoenen die gevoerd zijn per periode staan weergegeven in Bijlage 5. De EF van alle perioden werd berekend tussen de 19,7 en 19,9 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per koe per dag. De EF die werd gemeten, teruggerekend naar een DS opname van 21 kg, was respectievelijk 21,4, 20,0 en 20,1 g CH₄/kg DS in periode 1, 2 en 3 (**Tabel 3.4**). De modelberekeningen kwamen overeen met de gemeten emissie, vooral per kg DS, waarbij in periode 1 de grootste afwijking (8%) werd gevonden. Waardoor dit werd veroorzaakt, is niet bekend. De gemeten emissie was vrij stabiel over de tijd (**Figuur 3.4**). Hoewel het rantsoen dus buiten de conventionele rantsoenen valt, voorspelde het model de CH₄ emissie goed.

Uit **Tabel 3.4** blijkt dat de TAN-excretie flink kan variëren (ruim 30%). Hoewel dit bedrijf normaliter het doel voor de TAN excretie haalt (periode 1), was de kwaliteit van het rantsoen tijdens de meetperioden 2 en 3 suboptimaal, waardoor de koeien minder melk produceerden en de TAN excretie per 1000 kg melk hoger was.

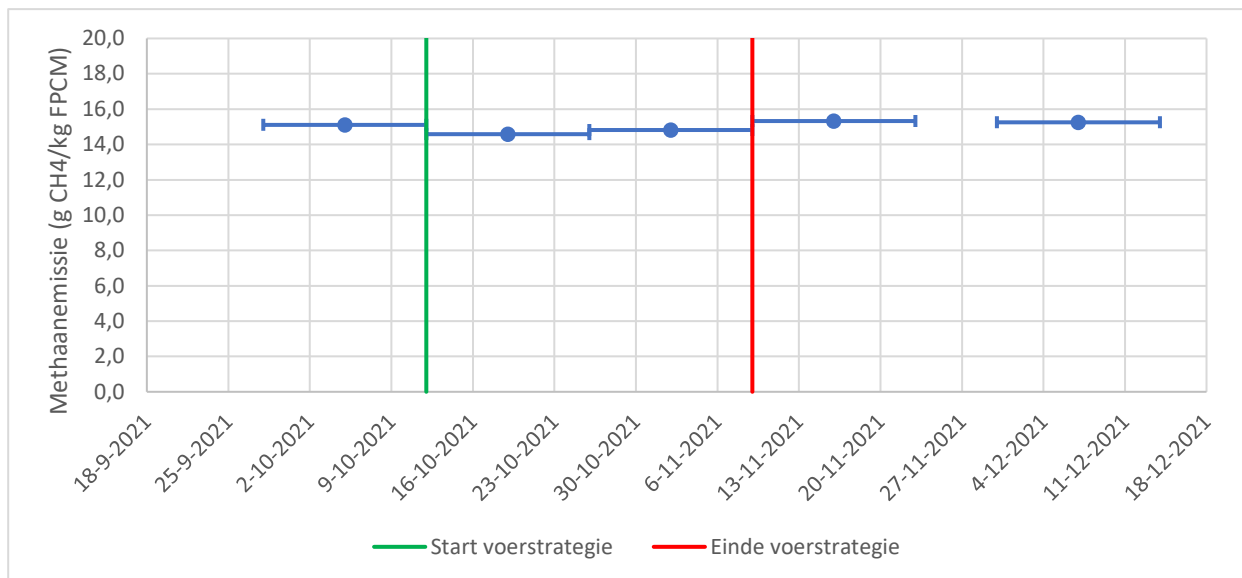
Tabel 3.4 Bedrijf I: Per periode het aantal dieren in de testgroep, de gemeten CH₄ en CO₂ emissie, voeropname, (meet)melkproductie en overige diergegevens van de testgroep, evenals het aantal dieren, de (meet)melkproductie en de berekende TAN excretie (op veestapelniveau) van de volledige melkgevende veestapel per periode.

	Periode 1: Basisrantsoen	Periode 2: Voerstrategie	Periode 3: Basisrantsoen
Selectie testgroep			
Aantal lacterende koeien testgroep	34	34	31
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	482	464	485
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	15,1	14,8	15,3
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	20,9	19,4	19,2
EF (g CH ₄ /kg DS) bij DSO=21 ¹	21,4	20,0	20,1
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	14178	13225	14701
CH ₄ /CO ₂ ratio	0,0335	0,0349	0,0325
Variatiecoëfficiënt CH ₄ ²	12,8	14,7	18,7
Voeropname (kg DS)	23,1	24,0	25,3
Meetmelkproductie (kg FPCM)	32,4	32,1	31,9
Melkproductie (kg melk)	29,0	28,2	27,6
Vetgehalte melk (%)	4,90	4,76	5,08
Eiwitgehalte melk (%)	3,70	3,84	3,93
Ureumgehalte melk (mg/100g)	17,5	13,7	18,8
Gemiddelde lactatiedagen	189	224	258
Gemiddelde lactatienummer	2,4	2,4	2,3
Melkgevende veestapel			
Aantal lacterende koeien totaal	118	117	119
TAN excretie (g TAN/koe/dag) ³	148,5	235,7	225,8
TAN excretie (g TAN/kg melk) ³	5,4	9,0	8,0
Melkproductie (kg melk/koe/dag)	27,5	26,4	28,4
Meetmelkproductie (kg FPCM)	30,1	29,2	31,6

¹ De EF is berekend op basis van de gemeten CH₄ opbrengst, gecorrigeerd voor een DSO van 21 kg (waarbij rekening is gehouden met de rekenregel dat als de voeropname toeneemt, de emissie per kg DS afneemt).

² Variatiecoëfficiënt (CV) is een maat voor de relatieve spreiding ten opzichte van het gemiddelde, berekend door de standaard deviatie van de CH₄ productie te delen door het gemiddelde maal 100% (CV=σ/μ*100)

³ De TAN excretie is berekend voor de hele melkgevende koppel, niet enkel de testgroep.



Figuur 3.4 Gemiddelde gemeten CH₄ intensiteit (in g CH₄/kg FPCM) per meetperiode op bedrijf I (n=34). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen). Vóór de groene lijn representeert periode 1 (basisrantsoen), tussen de groene en rode lijn representeert periode 2 (voerstrategie) en na de rode lijn representeert periode 3 (basisrantsoen).

3.3.1.5 Bedrijf J

De drie meetperioden liepen op bedrijf J van 22 oktober 2021 tot en met 17 januari 2022. De voerstrategie (periode 2) had een vooraf gemodelleerde EF van 17,0 g CH₄/kg DS (zie hoofdstuk 2.2.5). De CH₄ reductiepotentie van de voerstrategie was daarmee 7%. De modelberekeningen gaven voor het werkelijk gevoerde rantsoen in de perioden 1, 2 en 3 respectievelijk een EF van 19,1, 17,1 en 18,8 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per koe per dag. Daarmee was de berekende reductiepotentie iets meer dan 10%. De EF van het basisrantsoen was iets hoger dan waar vooraf mee werd gerekend (zie hoofdstuk 2.2.5), wat met name veroorzaakt werd door een hogere EF van de gevoerde maiskuil (Bijlage 6). De gemeten CH₄ opbrengst van het basisrantsoen was 19,7 g CH₄/kg DS in periode 1 en 18,6 g CH₄/kg DS in periode 3. De CH₄ opbrengst van de voerstrategie was 18,0 g CH₄/kg DS (periode 2). De CH₄ opbrengst teruggerekend naar een voeropname van 21 kg DS per koe per dag gaf in de perioden 1, 2 en 3 respectievelijk een EF van 19,5, 18,1 en 18,8 g CH₄/kg DS (**Tabel 3.5**). De gemeten reductiepotentie was 4% en 7% in respectievelijk periode 1 en 3. Daarmee werd gemiddeld ongeveer 80% van de berekende reductiepotentie terug gemeten. De CH₄ intensiteit (per kg FPCM) volgde een vergelijkbaar patroon met een reductie van 4 en 11% tijdens de voerstrategie (**Figuur 3.5**).

Hoewel het doel voor de CH₄ reductie niet gehaald werd, werd het 30% reductiedoel voor de TAN excretie in periode 1 en 2 wel gehaald. Tijdens de voerstrategie was de TAN excretie met 6,4 kg/1000 kg melk was iets hoger dan in periode 1, maar ruim 41% lager dan het Nederlands gemiddelde (volgens de KLV 2018).

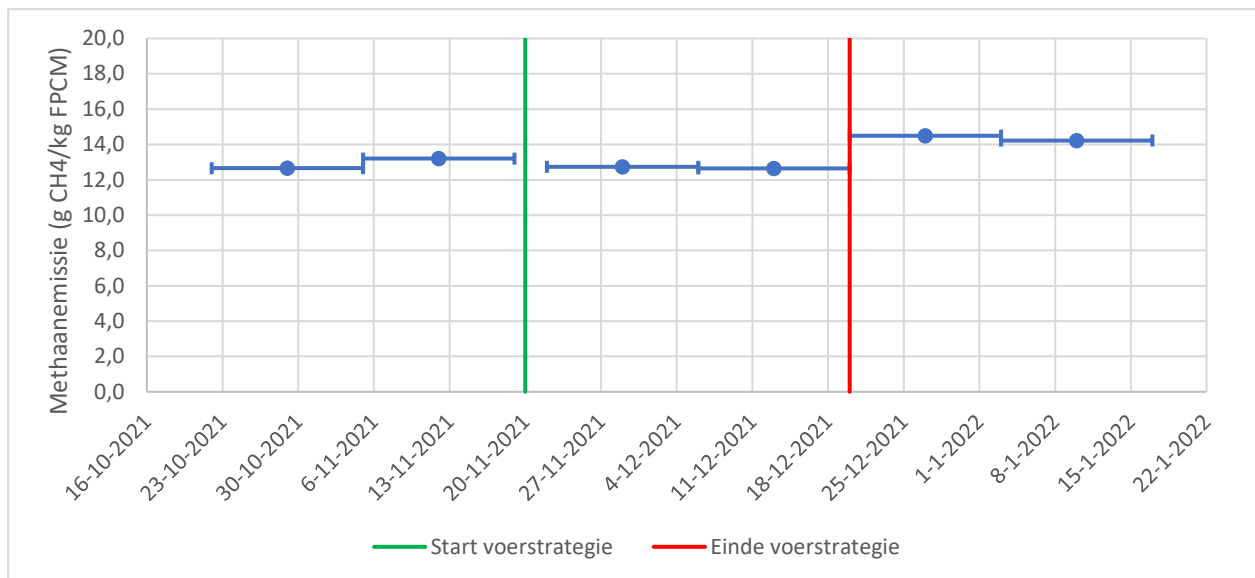
Tabel 3.5 Bedrijf J: Per periode het aantal dieren in de testgroep, de gemeten CH₄ en CO₂ emissie, voeropname, (meet)melkproductie en overige diergegevens van de testgroep, evenals het aantal dieren, de (meet)melkproductie en de berekende TAN excretie (op veestapelniveau) van de volledige melkgevende veestapel per periode.

	Periode 1: Basisrantsoen	Periode 2: Voerstrategie	Periode 3: Basisrantsoen
Selectie testgroep			
Aantal lacterende koeien testgroep	37	37	37
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	401,4	388,9	413,3
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	13,2	12,6	14,2
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	19,7	18,0	18,6
EF (g CH ₄ /kg DS) bij DSO=21 ¹	19,5	18,1	18,8
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	13468	13529	13809
CH ₄ /CO ₂ ratio	0,0298	0,0288	0,0298
Variatiecoëfficiënt CH ₄ ²	17,7	20,2	16,6
Voeropname (kg DS)	20,4	21,5	22,2
Meetmelkproductie (kg FPCM)	31,3	31,5	30,1
Melkproductie (kg melk)	28,6	29,2	26,9
Vetgehalte melk (%)	4,72	4,61	4,91
Eiwitgehalte melk (%)	3,76	3,76	3,87
Ureumgehalte melk (mg/100g)	14,2	16,0	15,5
Gemiddelde lactatiedagen	173	199	220
Gemiddelde lactatienummer	2,8	2,8	2,8
Melkgevende veestapel			
Aantal lacterende koeien totaal	123	122	124
TAN excretie (g TAN/koe/dag) ³	172,6	190,1	236,1
TAN excretie (g TAN/kg melk) ³	6,1	6,4	8,1
Melkproductie (kg melk/koe/dag)	28,3	29,7	29,2
Meetmelkproductie (kg FPCM)	31,0	31,7	31,6

¹ De EF is berekend op basis van de gemeten CH₄ opbrengst, gecorrigeerd voor een DSO van 21 kg (waarbij rekening is gehouden met de rekenregel dat als de voeropname toeneemt, de emissie per kg DS afneemt).

² Variatiecoëfficiënt (CV) is een maat voor de relatieve spreiding ten opzichte van het gemiddelde, berekend door de standaard deviatie van de CH₄ productie te delen door het gemiddelde maal 100% (CV=σ/μ*100)

³ De TAN excretie is berekend voor de hele melkgevende koppel, niet enkel de testgroep.

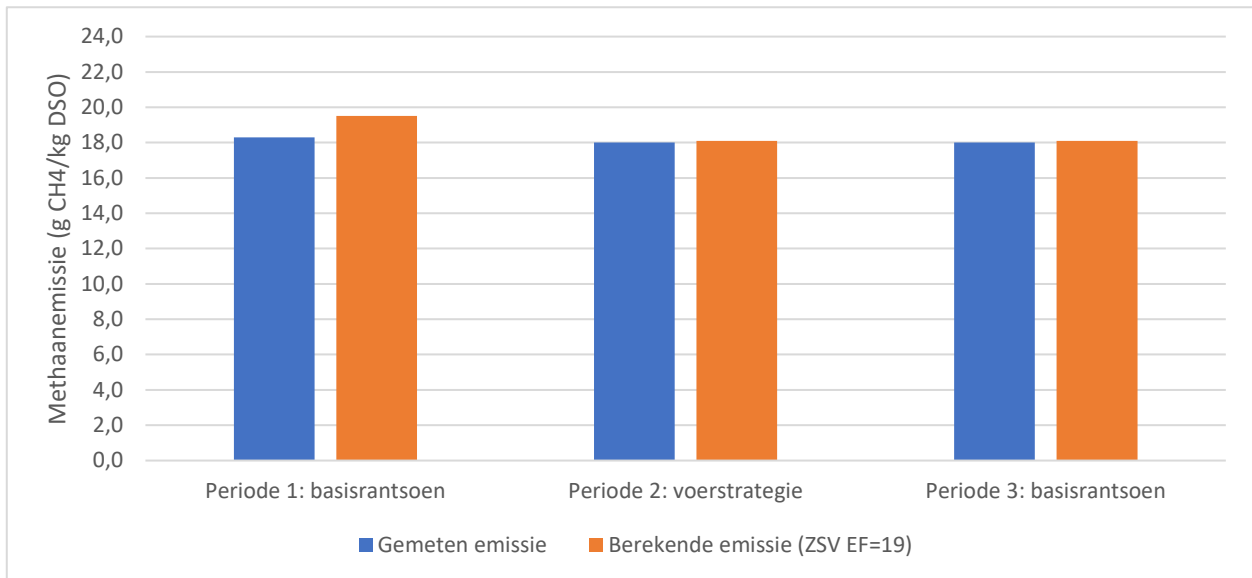


Figuur 3.5 Gemiddelde gemeten CH₄ intensiteit (in g CH₄/kg FPCM) per meetperiode op bedrijf J (n=37). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen). Vóór de groene lijn representeert periode 1 (basisrantsoen), tussen de groene en rode lijn representeert periode 2 (voerstrategie) en na de rode lijn representeert periode 3 (basisrantsoen).

3.3.2 Vergelijking modelberekening met gemeten CH₄ emissie per bedrijf

3.3.2.1 Bedrijf F

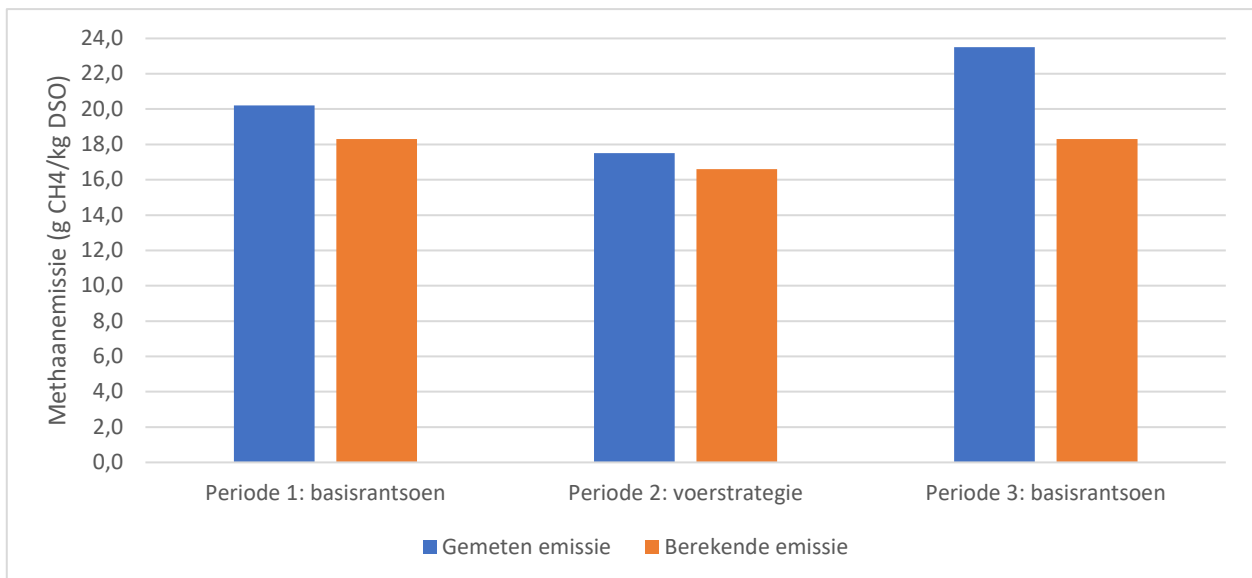
Voor een goede vergelijking tussen bedrijven zijn zowel de berekende als de gemeten EF (g/kg DS) gecorrigeerd naar een voeropname van 21 kg DS. Voor bedrijf F is de modelberekening voor EF uitgevoerd onder aanname dat de EF van vers gras lager was (19,0 g CH₄/kg DS) dan waar de KLW momenteel mee rekent (23,2 g CH₄/kg DS). De zo berekende emissie bij 21 kg DS voeropname was respectievelijk 19,5, 18,1 en 18,1 g CH₄/kg DS over periode 1, 2 en 3. De gemeten emissie was respectievelijk 18,3, 18,0 en 18,0 g CH₄/kg DS (**Figuur 3.6**). Inclusief de hierboven aangegeven aanname schat het model vooral in periode 2 en 3 de CH₄ emissie nauwkeurig (minder dan 1% afwijking). In periode 1 was de afwijking 6%. Wat de reden was van het verschil in afwijking tussen periode 1 en de andere perioden, is onbekend.



Figuur 3.6 Modelmatig berekende en gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per meetperiode op bedrijf F. In blauw de gemeten emissie, in oranje de modelmatig berekende emissie.

3.3.2.2 Bedrijf G

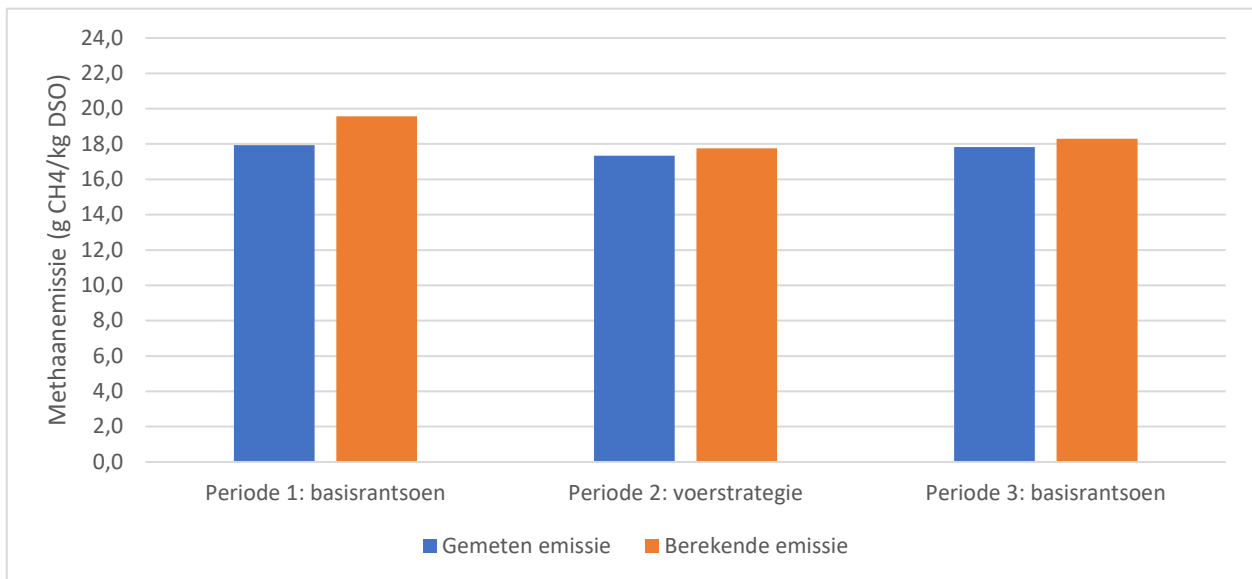
De gemeten en modelmatig berekende EF (per kg DS) bij een voeropname van 21 kg DS per koe per dag voor bedrijf G staat weergegeven in **Figuur 3.7**. In periode 1 was de berekende EF 18,3 g CH₄/kg DS en gemeten 20,2 g CH₄/kg DS. In periode 2 was dit 16,6 g CH₄/kg DS versus 17,5 g CH₄/kg DS en in periode 3 18,3 g CH₄/kg DS versus 23,5 g CH₄/kg DS. Er was een afwijking van 9% in periode 1, 5% in periode 2 en 22% in periode 3.



Figuur 3.7 Modelmatig berekende en gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per meetperiode op bedrijf G. In blauw de gemeten emissie, in oranje de modelmatig berekende emissie.

3.3.2.3 Bedrijf H

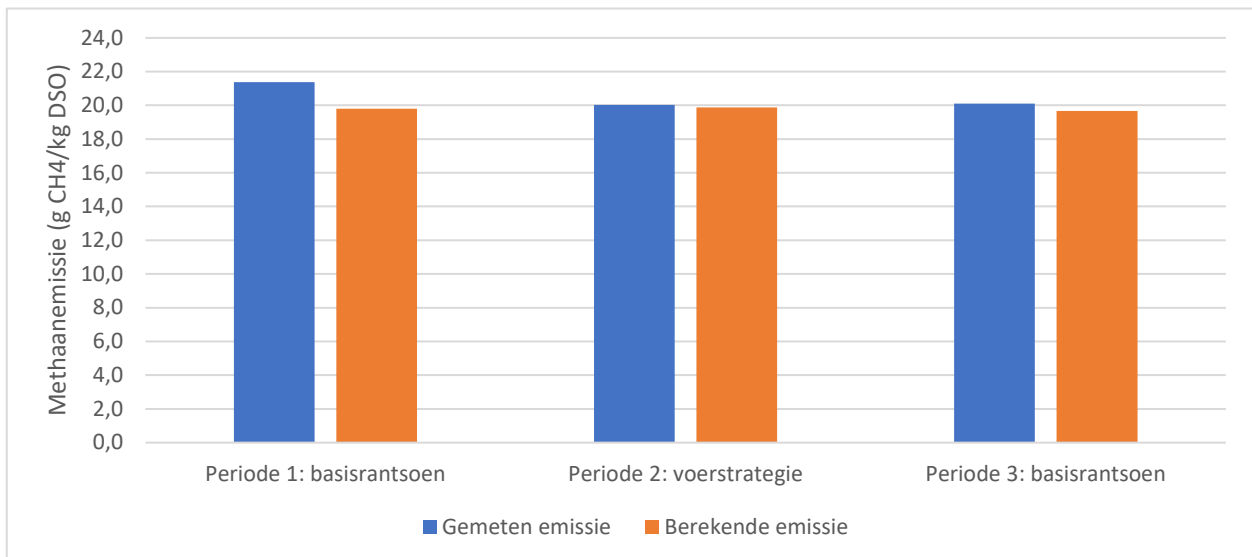
De gemeten en modelmatig berekende EF bij een voeropname van 21 kg DS voor bedrijf H staat weergegeven in **Figuur 3.8**. De berekende EF was respectievelijk 19,6, 17,8 en 18,3 g CH₄/kg DS voor periode 1, 2 en 3. De gemeten EF was 17,9, 17,3 en 17,8 g CH₄/kg DS voor periode 1, 2 en 3. De afwijking was het grootst tijdens periode 1 met bijna 10%. In periode 2 en 3 was de afwijking minder dan 5%.



Figuur 3.8 Modelmatig berekende en gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per meetperiode op bedrijf H. In blauw de gemeten emissie, in oranje de modelmatig berekende emissie.

3.3.2.4 Bedrijf I

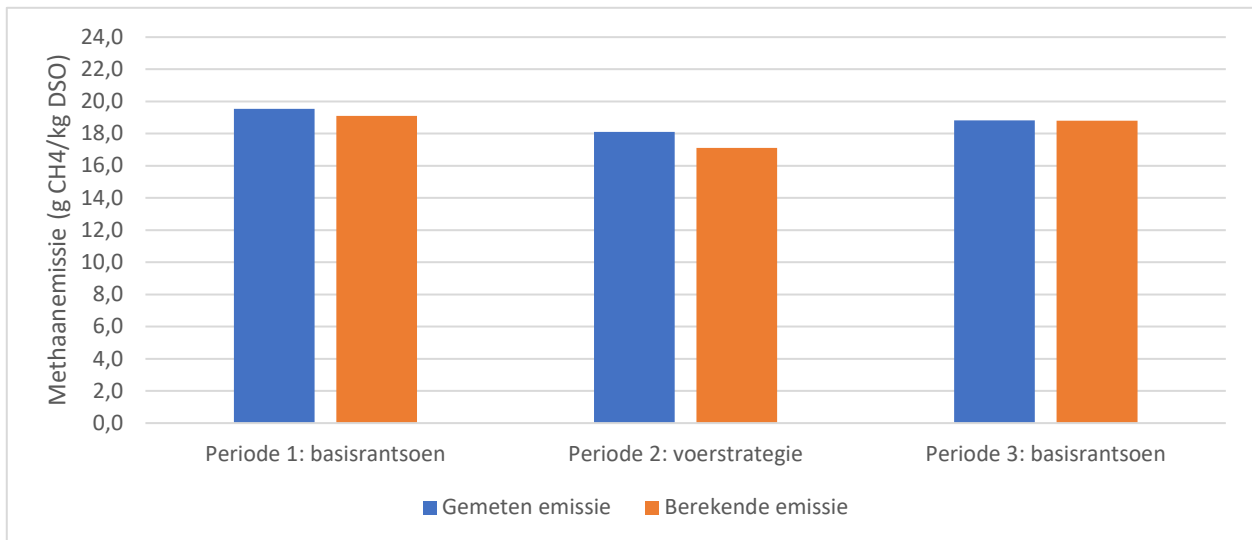
De gemeten en modelmatig berekende EF (per kg DS) bij een voeropname van 21 kg DS per koe per dag voor bedrijf I staat weergegeven in **Figuur 3.9**. Zoals in het vorige hoofdstuk beschreven, is op dit bedrijven verkennend gemeten om te controleren of de rekenregels de CH₄ emissie goed schatten. De modelberekeningen kwamen overeen met de gemeten emissie, waarbij in periode 1 de grootste afwijking van 8% werd gevonden. In de andere twee perioden was de afwijking minder dan 2%. Hoewel het rantsoen dus buiten de conventionele rantsoenen valt, voorspelde het model de CH₄ emissie goed.



Figuur 3.9 Modelmatig berekende en gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per meetperiode op bedrijf I. In blauw de gemeten emissie, in oranje de modelmatig berekende emissie.

3.3.2.5 Bedrijf J

De gemeten en modelmatig berekende EF bij een voeropname van 21 kg DS voor bedrijf J staat weergegeven in **Figuur 3.10**. De berekende EF was respectievelijk 19,1, 17,1 en 18,8 g CH₄/kg DS voor periode 1, 2 en 3. De gemeten EF was 19,5, 18,1 en 18,8 g CH₄/kg DS voor periode 1, 2 en 3. De afwijking was het grootst tijdens de voerstrategie (periode 2) met bijna 6%. In periode 1 was de afwijking slechts 2% en in periode 3 was er geen afwijking.



Figuur 3.10 Modelmatig berekende en gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21 kg DS per meetperiode op bedrijf H. In blauw de gemeten emissie, in oranje de modelmatig berekende emissie.

3.3.3 Overzicht vergelijking modelberekening met gemeten CH₄ emissie

In hoofdstuk 3.3.2 staat een vergelijking beschreven tussen de gemeten CH₄ opbrengst (per kg DS) en de modelmatig berekende CH₄ opbrengst voor de rantsoenen van de vijf bedrijven bemeten in 2021. Ook in de praktijkimplementatie van 2020 is deze vergelijking gemaakt. Hoewel er binnen deze praktijkimplementatie enkel geobserveerd kan worden en mogelijke oorzaken niet wetenschappelijk zijn vast te stellen, worden in dit hoofdstuk toch enkele suggesties gegeven voor mogelijke verklaringen van de gevonden verschillen.

Een van de opvallende bevindingen was een discrepantie tussen de berekende en gemeten EF van vers gras (in dit geval zomerstalvoeding) op bedrijf F. Wanneer voor zomerstalvoeding de KLW rekenregels werden aangehouden (met EF = 23,2 g CH₄/kg DS) was de modelmatig berekende emissie structureel circa 10% hoger dan de gemeten emissie. Eerder beweidingsonderzoek (Klootwijk *et al.*, 2021) impliceert dat de EF voor vers grasproducten beduidend lager ligt dan de waarden die nu in de KLW rekenregels gehanteerd worden. Om inzicht te krijgen in het effect van een lagere EF is de EF van vers gras voor dit bedrijf met zomerstalvoeding verlaagd van 23,2 naar 19,0 g CH₄/kg DS. De verlaging is arbitrair en daarom is gekozen voor de EF van vers gras tijdens beweiding. Doorrekening met een EF van 19 g CH₄/kg DS gaf een afname van de structurele afwijking van 10% naar 2 tot 6%.

In 2021 werd op twee bedrijven extra voedervet toegevoegd als maatregel om de CH₄ emissie te reduceren. In 2020 werd op alle vijf bedrijven extra voedervet toegevoegd als maatregel. Het vetgehalte van het rantsoen was door de maatregel op deze bedrijven boven de 5%. Omdat er bestendig voedervet werd toegevoegd was er geen extra CH₄ reductie van de vettoevoeging te verwachten en dat kwam overeen met de metingen.

Op zeven van de tien bedrijven (vier in 2021 en drie in 2020) was de afwijking tussen de modelmatige berekening en de gemeten CH₄ opbrengst kleiner dan 8%, mits de EF van zomerstalvoeding aangepast werd naar de EF van vers gras tijdens beweiding.

Op de bedrijven B, C en G was de afwijking structureel hoog, de berekende emissie was tussen de 9 en 24% lager dan de gemeten emissie. Een mogelijkheid zou kunnen zijn dat op deze bedrijven de EF van de graskuil (of maiskuil) niet goed geschat wordt doordat de kwaliteit afwijkt van de gemiddelde range. Uiteraard kunnen we met deze praktijktoets enkel suggesties geven, werkelijke oorzaken zullen experimenteel onderzocht moeten worden, voordat daar conclusies over getrokken kunnen worden.

4 Evalueren voerstrategieën

4.1 Visie veehouder en adviseur

Na het toepassen van de voerstrategie, is per bedrijf de voerstrategie intern geëvalueerd met veehouder, (voer)adviseurs en onderzoekers.

Een belangrijke terugkoppeling die gegeven werd waren zorgen over het effect van het voeren van een CH₄ arm rantsoen op de gezondheid van de koeien en de bedrijfseconomische resultaten. De financiële duurzaamheid van het bedrijf en het waarborgen van diergezondheid zijn belangrijke pijlers als het gaat om het samenstellen van het rantsoen. Op meerdere bedrijven bestond het vermoeden dat het rantsoen te weinig structuur bevatte en/of een (te) hoog vetgehalte, waardoor de koeien "sloom" werden en dunne, glanzende mest werd waargenomen. Omdat de voerstrategieën slechts voor enkele weken gevoerd zijn, is het onduidelijk of het langdurig toepassen ongewenste effecten kan hebben op bijvoorbeeld de diergezondheid. Enkele veehouders en voeradviseurs maakten zich evenwel zorgen over dit aspect, bijvoorbeeld omdat ze constateerden dat het aantal bezoeken aan krachtvoerstation en/of automatisch melksysteem afnam. Dit in combinatie met een toename van de voerkosten die niet terugverdiend werden, gaf als resultaat dat de bedrijven op dit moment de voerstrategieën niet op de lange termijn wilden toepassen.

Daarnaast gaven de veehouders aan dat ze de integratie van de CH₄ reductiedoelen met andere doelen een lastige combinatie vinden. De CH₄ reductiemaatregelen sloten niet altijd aan bij andere duurzaamheidsdoelstellingen, zoals eiwit van eigen land of de CO₂ footprint doelen. Er werd op een aantal bedrijven gestuurd op het voeren van meer maiskuil en krachtvoer (en andere producten met een lage EF), en dus minder graskuil met een relatief hoge EF. Veehouders gaven aan dat ze dan onvoldoende eiwit van eigen land realiseerden. Daarnaast werden bijvoorbeeld lokaal gewonnen bijproducten vervangen door vet- of maisproducten die niet afkomstig waren uit Nederland. Dit strookte volgens de veehouders en adviseurs niet met de duurzaamheidsdoelen en verhoogde de CO₂ footprint door toenemend transport. Ze verwachtten dat deze doelen nog lastiger te halen zijn voor bijvoorbeeld biologische boeren of in combinatie met natuurinclusieve landbouw, terwijl daar wel maatschappelijke doelen liggen. De huidige benadering was volgens een aantal veehouders te beperkt, omdat er bijvoorbeeld niet gekeken wordt naar de koolstofvastlegging van de (grasland)bodem of CO₂ emissie van transport van veevoeding.

4.2 Impact

In 2020 en 2021 is gebleken dat voor de betreffende Koeien & Kansen bedrijven de reductiepotentie voor enterisch CH₄ op basis van maatregelen binnen de 'voeraankopen' op het bedrijf maximaal 10% is. In het onderzoek is niet getoetst wat de reductiepotentie van deze maatregelen is wanneer ze jaarrond worden toegepast. Bepaalde maatregelen en het effect daarvan zullen afhankelijk zijn van seizoen, weersomstandigheden en beschikbaarheid. Het voeren van vers gras bijvoorbeeld is niet mogelijk in de wintermaanden, waardoor het effect hiervan jaarrond beperkt kan zijn. Daarnaast kan door brede toepassing van een beperkt aantal bijproducten met een lage EF (b.v. bierbostel of geplette mais) de beschikbaarheid van deze producten (lokaal) afnemen en/of de kosten toenemen. Hogere voerkosten als gevolg van de reductiemaatregelen zullen een negatieve impact hebben op de bedrijfseconomische duurzaamheid van de melkveehouderij.

Het doorvoeren van maatregelen is gebonden aan nutritionele grenzen die bewaakt worden door de voeradviseur. Deze richtlijnen worden aangehouden om diergezondheidsproblemen te voorkomen. Voermaatregelen met een reductiepotentie zijn vaak gericht op een snellere (pens)fermentatie en/of op een verminderde afbraak en fermentatie in de pens, wat een optimale pensgezondheid in de weg kan staan. Zulke maatregelen zoeken de nutritionele grenzen op, wat op sommige bedrijven in deze praktijkimplementatie zichtbaar werd. Deze factoren zullen een effect hebben op de impact van de maatregelen voor de melkveehouderij en de potentiële reductiepotentie die gehaald kan worden. Het kan er bijvoorbeeld toe leiden dat er een transitie gemaakt moet worden naar een ander type koe, management en/of rantsoen, waardoor de reductiepotentie wel optimaal benut kan worden.

Ten slotte kunnen de maatregelen gericht op CH₄ reductie zowel ondersteunend als tegenwerkend zijn voor andere gestelde doelen, zodat de effecten altijd op basis van een maatregelpakket en integraal beoordeeld moeten worden. Integrale beoordeling kan op bedrijfs-, regio of nationaal niveau. Wanneer een pakket reductiemaatregelen voor CH₄ andere bedrijfsdoelen schaadt, bijvoorbeeld ammoniakemissiereductie of 'eiwit van eigen land', kan een hoger beoordelingsniveau wellicht uitkomst bieden. Een visie op regionaal (of nationaal) niveau in plaats van bedrijfsniveau zou een bedrijf de mogelijkheid kunnen bieden om andere doelen dan CH₄ reductie te prioriteren, mits andere bedrijven in dezelfde regio de CH₄ reductie wel prioriteren. Daarbij moet het doel zijn om op regio- of nationaal niveau alle doelen te halen. Het is onbekend wat hiervan de impact zal zijn op de veehouderij en hoe groot de reductiepotentie van bijvoorbeeld CH₄ emissie en TAN excretie op regionaal of nationaal niveau dan is.

5 Scenariostudies

5.1 Algemeen

Voor een aantal bedrijven is een modelmatige verkennende berekening uitgevoerd om te kijken hoe ver de CH₄ emissie op het bedrijf kan worden verminderd (vraag 4 van hoofdstuk 1.3). het betreft verkenningen op bedrijfsniveau en dus ook voermaatregelen op veestapel niveau. De in de vorige hoofdstukken gepresenteerde voerstrategieën hebben betrekking op de melkgevende dieren van de veestapel. Daardoor zijn reductieresultaten van de vorige hoofdstukken niet 1 op 1 vergelijkbaar met de resultaten van de scenariostudies. Voor de melkveehouder zijn de resultaten op bedrijfsniveau relevant voor beoordeling van de integrale impact van maatregelen. De hier beschreven scenariostudie heeft betrekking op 3 van de 5 bedrijven die in de vorige hoofdstukken zijn beschreven. Het betreft bedrijf C uit het eerste projectjaar (2020, Koning *et al.* 2021) en de bedrijven G en H uit het in dit rapport beschreven projectjaar (2021). Voor deze drie bedrijven is met *Dairy Wise* (ook bekend als BBPR, bedrijfsbegrotingsprogramma voor de rundveehouderij; Schils *et al.*, 2007) een maatregelenpakket voor CH₄ reductie doorgerekend op de langere termijn. Daarbij is ook gekeken naar de gevolgen van de CH₄ maatregelen voor de NH₃ emissie op bedrijfsniveau. De basissituatie c.q. het uitgangspunt voor de berekeningen zijn de bedrijfsresultaten volgens de KLV 2020, de gewasopbrengsten uitgezonderd. De gewasopbrengsten zijn ingeschat op basis van een "gemiddeld weerjaar".

Voor drie bedrijven zijn deze scenariostudies uitgevoerd, waarbij de emissiereductie is uitgedrukt als het verschil in emissie van 2020 en 2021. Echter, het voor de melkveehouderij gestelde reductiedoel heeft als referentie het gemiddelde van de KLV 2018. Het doel van 30% reductie voor zowel de enterische CH₄ emissie (emissie uit pens- en darmfermentatie) als voor de ammoniak (NH₃) emissie kan op twee manieren worden vertaald: één nationaal reductiedoel voor alle Nederlandse melkveebedrijven, of een grondsoort-specifiek reductiedoel (**Tabel 5.1**). Met de informatie in deze tabel kunnen de emissies in de scenario's in perspectief geplaatst worden.

Tabel 5.1 Emissies op bedrijfsniveau volgens de KringloopWijzer 2018: Gemiddelde CH₄- en NH₃-emissie en TAN-excretie (alle in kg per ton melk), inclusief het kwantitatieve reductiedoel bij respectievelijk 20% en 30% reductie.

Grondsoort	Emissie KLV 2018 (kg per 1000 kg melk)			Reductiedoel 20% (kg per 1000 kg melk)			Reductiedoel 30% (kg per 1000 kg melk)			
	Emissie	CH ₄	NH ₃	TAN	CH ₄	NH ₃	TAN	CH ₄	NH ₃	TAN
Zand		18,2	3,3	10,0	14,6	2,6	8,0	12,7	2,3	7,0
Klei		20,5	4,3	11,3	16,4	3,5	9,0	14,3	3,0	7,9
Veen		19,7	4,8	12,2	15,8	3,8	9,8	13,8	3,3	8,5
Totaal NL		18,9	3,9	10,8	15,1	3,1	8,6	13,2	2,7	7,6

De uitgevoerde scenariostudies worden in de volgende paragrafen per bedrijf beschreven. De resultaten van de scenariostudies zijn niet direct te vergelijken met de effecten van de voerstrategie zoals beschreven in de vorige hoofdstukken, omdat voor de scenariostudies gebruik gemaakt wordt van jaarrond CH₄ emissie op bedrijfsniveau, dus inclusief droogstand en jongvee. Deze factoren zijn niet meegenomen bij het ontwikkelen van de voerstrategie, omdat die groepen niet doorgemeten konden worden. Het zijn wel belangrijke factoren voor de CH₄ reductie op bedrijfsniveau.

5.2 Bedrijf C

In 2020 zijn net als in 2021 vijf bedrijven intensief begeleid en doorgemeten en voor drie van deze bedrijven waren al scenariostudies uitgevoerd (zie Koning *et al.*, 2021). In de huidige studie is ook voor bedrijf C (op kleigrond) een scenariostudie uitgevoerd om te kijken hoe ver de CH₄ emissie op het bedrijf kan worden verminderd. De veehouder heeft hier vervolgens op gereageerd, hetgeen in hoofdstuk 5.2.3. is samengevat.

Voor bedrijf C waren de resultaten die in 2019 werden gerealiseerd het uitgangspunt. Voor de beschrijving van deze basissituatie werd zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de KLV gegevens van 2019. Echter de gewasopbrengsten zijn ingeschat op basis van een "gemiddeld weerjaar" en zijn in de simulatie met ruim 18 ton DS/ha voor gras en 20 ton DS/ha voor mais iets lager dan in 2019 (maar voor gras wel wat hoger dan in 2020 en voor mais gelijk aan de opbrengst van 2020).

Voor de lange termijn is het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- Minder graskuil voeren en graskuil voeren met lagere EF door lichter te maaien (inschatting is een EF van 18,5 g CH₄/kg DS door lichter te maaien).
- Mais aankopen bij een lagere grasopbrengst door lichter te maaien.
- Meer en andere bijproducten voeren met een lage EF: van 0,27 kg DS veldbonen per melkgevende koe per dag (EF=19 g CH₄/kg DS) naar 2 kg DS maisgluten per koe per dag (EF=15 g CH₄/kg DS).
- Emissiearm krachtvoer voeren met een EF van 15 g CH₄/kg DS.
- 0,5 kg DS per melkgevende koe vet voeren (EF=-11 g CH₄/kg DS) waarbij het totaal aandeel vetten in het rantsoen onder de 6,5% blijft.
- Mais telen en aanvoeren met een lagere EF door meer bestendig zetmeel (dat was gemiddeld EF=19,4 g CH₄/kg DS in 2019, streven naar EF=17 g CH₄/kg DS). De inschatting is dat dit mogelijk is wanneer de mais iets later geoogst kan worden en door mais met een lagere EF aan te kopen.

Het effect van de maatregelen op zowel de CH₄ als NH₃ emissie is doorgerekend, evenals de economische gevolgen. De uitwerking hiervan staat in Bijlage 7.

5.2.1 Effect op CH₄ en NH₃ emissie

Volgens de berekeningen is de CH₄ emissie op dit bedrijf in de basissituatie 19% lager dan het grondsoort-specifieke gemiddelde voor bedrijven op kleigrond in 2018 (en 12% lager ten opzichte van het totaal Nederlands gemiddelde, **Tabel 5.1**). Uit de scenariostudie blijkt dat op lange termijn met het bovengenoemde maatregelenpakket de CH₄ emissie nog eens kan dalen met 14,2% ten opzichte van de basissituatie (**Tabel 5.2**). Op lange termijn wordt de grondsoort-specifieke 30% doelstelling van 14,3 kg CH₄/1000 kg melk gehaald. Ingeschat wordt dat de genomen maatregelen tot een inkomensdaling leiden van ongeveer € 11.700. Hierbij is het uitgangspunt dat vet voor € 590/ton wordt aangekocht en dat krachtvoer met een lage EF € 0,50 per 100 kg duurder is dan krachtvoer in de basissituatie.

Naast het effect op de CH₄ emissie is ook het effect op de NH₃ emissie ingeschat (uit de stal en mestopslag, en bij toediening van mest). De NH₃ emissie op dit bedrijf ligt in de basissituatie 32% lager dan het Nederlands gemiddelde voor bedrijven op kleigrond in 2018 (**Tabel 5.1**). De NH₃ emissie per ha zou door de geschetste voermaatregelen dalen met 11,9% en ten opzichte van het Nederlands gemiddelde 2018 (in kg NH₃ per 1000 kg melk) met bijna 40%. Hierbij daalt de hoeveelheid TAN met bijna 17% en daardoor ook de emissie uit stal en mestopslag. Er blijft wel meer TAN op het bedrijf achter, omdat er minder mestafvoer nodig is bij een lagere excretie. Dit verklaart waarom in de berekening de NH₃ emissie bij uitrijden slechts met 3% daalt (Bijlage 7). Er zijn hierbij geen veranderingen in stalsystemen, mest verdunnen of emissiearm uitrijden meegenomen.

Tabel 5.2 Emissies op bedrijfsniveau (CH_4 en NH_3) van de basissituatie en het maatregelenpakket doorgerekend met Dairy Wise voor bedrijf C.

	Basissituatie	Lange termijn pakket
CH_4 emissie bedrijf (kg CH_4 /jaar)	21034	17993
Geproduceerde melk (x1000 kg)	1267	1267
CH_4 emissie (kg CH_4 /1000 kg melk)	16,6	14,2
CH_4 reductie t.o.v. basissituatie		14,2%
NH_3 emissie (kg NH_3 /ha)	86,3	76,0
NH_3 emissie (kg NH_3 /1000 kg melk)	2,9	2,6
NH_3 reductie t.o.v. basissituatie		11,9%

5.2.2 Aandachtspunten en uitdagingen

In de doorgerekende scenariostudie zijn een aantal aannames gedaan die tot discussie kunnen leiden. Ten eerste wordt het reductiedoel voor CH_4 gehaald door lichter te maaien. Hierdoor zal er wel een snede extra moeten worden gemaaid, wat veel extra loonwerkkosten met zich meebrengt. Deze zijn meegenomen in de berekening voor de economische gevolgen (er is gerekend met vaste bedragen per ha). Het is onzeker of lichter maaien (en dus meer sneden maaien) in de werkelijke situatie ook tot dit niveau van extra kosten leidt. Ten tweede is er uitgegaan van een EF voor mais van 17 g CH_4 /kg DS. Deze EF kan mogelijk nog verder gereduceerd worden, naar 15 g CH_4 /kg DS. Dit is in de afgelopen jaren op dit bedrijf al eens gerealiseerd, maar het is onduidelijk of deze EF ook structureel te realiseren is en welke (extra) kosten dat geeft bij de maisteelt en -oogst. Indien dit wel mogelijk is, zou het doel voor CH_4 reductie mogelijk ook gehaald kunnen worden zonder lichter te maaien. Deze maatregel zou dan goedkoper zijn dan de maatregel van lichtere maaisneden. De beoogde reductie bepaalt of de te nemen maatregelen voldoende effectief zijn en dus ook of het realiseren van snijmaiskuilen met EF van 15 g CH_4 /kg DS genoeg reductie oplevert om het gras niet lichter te hoeven maaien. De door de overheid gevraagde reductie is 30% in 2030.

5.2.3 Reactie veehouder

Minder graskuil voeren en lichter maaien waardoor de opbrengst van het land lager is, sluit niet aan bij de kringlooplandbouw visie van de veehouder. Het doel van kringlooplandbouw is zoveel mogelijk voer van eigen land halen en dat zo goed mogelijk benutten. Door lichter te maaien (helemaal in combinatie met maaskuil aankopen) wordt er juist minder eigen ruwvoer geteeld en riskeert het bedrijf om niet meer zelfvoorzienend te zijn in gras en mais. Ook voor de bijproducten gaat de voorkeur uit naar zoveel mogelijk lokaal gewonnen producten. Vetten (zoals palmolie) worden over het algemeen niet lokaal gewonnen en buitenlandse producten passen niet binnen de kringlooplandbouw. Daarnaast kan het bedrijf niet minder graskuil en meer maaskuil verbouwen, in verband met de derogatievergunning (minimaal 80% van de landbouwgrond moet als grasland gebruikt worden) en het doel van minimaal 65% eiwit van eigen land. De voorgestelde maatregelen stroken dus niet met meerdere andere doelen die het bedrijf hanteert (of probeert te hanteren).

De EF van de gras- en maaskuil verlagen naar respectievelijk 18,5 en 17,0 g CH_4 /kg DS moet voor de melkgevende koeien volgens de veehouder wel haalbaar zijn. Voor graskuil betekent dat streven naar een NDF gehalte van 430. Voor pinken en droge koeien heeft de veehouder echter het liefst een NDF gehalte van 500 g/kg DS. Voor het verlagen van de EF van graskuil kan graslandvernieuwing ook een rol spelen, omdat dat zorgt voor een betere graskwaliteit met over het algemeen een lager NDF gehalte. Hier wordt vanuit de overheid juist niet op gestuurd. Er wordt gestuurd op blijvend grasland om de bodembiodiversiteit te verhogen. Dat zijn opnieuw doelen die niet met elkaar stroken. In 2021 werd er al een maaskuil gevoerd met een EF lager dan 17 g CH_4 /kg DS, die mogelijkheden zijn er dus. In theorie zou zelfs een EF van 15 g CH_4 /kg DS haalbaar moeten zijn wanneer er iets later gezaaid en geoogst kan worden, maar dit is wel weersafhankelijk. Er zou dan mais geteeld kunnen worden met een iets dunnere stengel (laag NDF-gehalte) met een relatief goede kolf (hoog zetmeelgehalte).

Het is voor de veehouder onduidelijk waarom maisgluten een EF heeft van 15 g CH₄/kg, terwijl maismeel een EF heeft van 20 g CH₄/kg en de EF van maiskuil weer afhankelijk is van de kwaliteit. Er wordt momenteel 1,5 kg maismeel gevoerd en de veehouder vraagt zich af waarom dat ongunstig zou zijn voor de CH₄ emissie ten opzichte van het voeren van maisgluten of maiskuil. Zijn verwachting is dat naarmate het zetmeelgehalte van maismeel hoger is, dat de EF (net als bij maiskuil) lager zou moeten zijn. Nadere uitleg over de totstandkoming van de EF van een aantal producten zoals opgenomen in de K LW is gewenst.

Door lichter te maaien wordt verwacht een extra snede te moeten oogsten. De loonwerkkosten (circa drie dagen extra arbeid voor de veehouder dan wel een externe loonwerker) en de toename van de kostprijs van het krachtvoer zorgen voor een inkomensdaling van meer dan €11.000, wat voor de veehouder dus niet aantrekkelijk is.

Kortom zijn er wel een aantal maatregelen die toegepast kunnen worden op het bedrijf, maar niet allemaal. Daarnaast vindt de veehouder het jammer dat de integrale aanpak niet verder reikt dan het bedrijf en dat er niet meer aandacht wordt besteed aan bijvoorbeeld de CO₂ opname van grasland.

5.3 Bedrijf G

Voor bedrijf G (op zandgrond) is een modelmatige verkennende berekening uitgevoerd met als uitgangspunt de K LW gegevens van 2020. Het maatregelenpakket is in samenspraak met de veehouder opgesteld. De gewasopbrengsten zijn ingeschat op basis van een "gemiddeld weerjaar" en zijn in de simulatie met 13,7 ton DS/ha op grasland ongeveer 1 ton DS/ha hoger dan het droge weerjaar 2020. Voor de maisopbrengst is met 16,6 ton DS/ha gerekend.

Voor de lange termijn is het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- Meer weiden. Dit kan gerealiseerd worden door koeien minder krachtvoer bij te voeren, zodat ze 400 kg DS meer vers gras opnemen. Voor de EF van vers gras bij weiden is op basis van Klootwijk e.a. (2021) gekozen voor EF=16,5 g CH₄/kg DS.
- Lichter maaien zodat de EF van het graskuil daalt van 19,4 naar 18,4 g CH₄/kg DS (inschatting).
- Graskuil verkopen (iets meer dan 40 ton DS van de geruilde grond).
- Meer mais voeren bij ruwvoertekort.
- Mais telen en aankopen met een hoger zetmeel gehalte en dus lagere EF (van 17 naar 16 g CH₄/kg DS).
- Sodagrain vervangen door 2 kg DS/koe/dag maisgluten met EF=15 g CH₄/kg DS.
- 0,3 kg DS per melkgevende koe per dag vet voeren (EF=-11 g CH₄/kg DS).
- Emissiearm krachtvoer voeren met een EF van 15 g CH₄/kg DS.

Het effect van de maatregelen op zowel de CH₄ als NH₃ emissie is doorgerekend, evenals de economische gevolgen. De volledige uitwerking hiervan staat in Bijlage 8.

5.3.1 Effect op CH₄ en NH₃ emissie

In de basissituatie volgens de K LW 2020 is de CH₄ emissie uit pensfermentatie op dit bedrijf 16% lager dan het Nederlands gemiddelde op zandgrond in 2018 en bijna 20% lager ten opzichte van het totaal Nederlands gemiddelde. De scenariostudie laat zien dat daar bovenop de CH₄ emissie nog eens kan dalen met 11,5% naar 13,5 kg CH₄/1000 kg melk (**Tabel 5.3**). Hiermee wordt op de lange termijn het doel van 30% reductie (12,7 kg CH₄/1000 kg melk) ten opzichte van het grondsoort-specifieke gemiddelde 2018 niet gehaald en ten opzichte van nationaal niveau (13,2 kg CH₄/1000 kg melk) is de reductie 28,6%. Ingeschat wordt dat op lange termijn de genomen maatregelen tot een daling van het inkomen leiden van bijna € 4800 (Bijlage 8). Hierbij is het uitgangspunt dat vet voor € 590/ton wordt aangekocht en dat CH₄ arm krachtvoer € 0,50 per 100 kg duurder is dan krachtvoer in de basissituatie.

De NH₃ emissie (kg/1000 kg melk) ligt op dit bedrijf in de basissituatie 15,2% lager dan het Nederlands gemiddelde voor bedrijven op zandgrond in 2018. Het maatregelenpakket zorgt op de lange termijn voor een reductie van de NH₃ emissie per ha van 3,2%. Daarmee wordt ten opzichte van het Nederlands gemiddelde van 2018 (kg NH₃ per 1000 kg melk) een reductie bereikt van 30,8%. De hoeveelheid TAN in de mest zal dalen met ongeveer 6% en daardoor ook de emissie uit stal en mestopslag. Van de TAN blijft er echter wel meer op het bedrijf achter (meer ton mest toedienen). Er is minder mestafvoer nodig bij een lagere excretie en het N-gehalte van de mest blijft bijna gelijk bij een lager mestproductievolume. Hierdoor stijgt de ammoniakemissie bij uitrijden wel. Er zijn geen veranderingen in stalsystemen, mest verdunnen of emissiearm uitrijden meegenomen. Ook is er voor de berekeningen van zowel de basissituatie als het maatregelenpakket uitgegaan van mestplaatsing volgens reguliere normen (geen BES) en is geen effect van mest verdunnen ingerekend.

Tabel 5.3 Emissies op bedrijfsniveau (CH₄ en NH₃) van de basissituatie en het maatregelenpakket doorgerekend met Dairy Wise voor bedrijf G.

	Basissituatie	Lange termijn pakket
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	18423	16362
Geproduceerde melk (x1000 kg)	1212	1212
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	15,2	13,5
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		11,5%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	65,7	63,6
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /1000 kg melk)	2,8	2,7
NH ₃ reductie t.o.v. basissituatie		3,2%

5.3.2 Aandachtspunten en uitdagingen

De scenariostudie laat mogelijkheden zien om de CH₄ en NH₃ emissie te reduceren. Afhankelijk van of het grondsoort-specifieke gemiddelde wordt aangehouden (voor bedrijven op zandgrond is de doelstelling dan 12,7 kg CH₄/1000 kg melk) of een uniform Nederlands gemiddelde (nationaal zou de doelstelling dan 13,2 kg CH₄/1000 kg melk zijn), wordt het reductiedoel net niet gehaald. Wellicht is het mogelijk om het zetmeelgehalte van de mais nog verder te verhogen, zodat de EF daalt naar 15 g CH₄/kg DS. In combinatie met meer beweiding, bijvoorbeeld ook het jongvee, zodat er minder graskuil en meer vers gras opgenomen wordt en door graskuilen te oogsten met een lagere EF (lager dan 18,4 g CH₄/kg DS), zou het doel mogelijk gehaald kunnen worden. Vervolgstappen zullen moeten worden genomen om te onderzoeken hoe de kwaliteit van de gras- en maiskuilen zodanig gestuurd kan worden dat dit een gunstig effect heeft op de CH₄ emissie.

Er zijn nog wel een aantal kanttekeningen te plaatsen bij de doorgerekende scenariostudie.

Zo gaat de scenariostudie uit van een toename van het aandeel mais in het rantsoen, waardoor voor het gewenste ruweiwitgehalte van het rantsoen (i.c. 155 g RE kg/DS) extra eiwit vanuit krachtvoer nodig is. Hierdoor kan de doelstelling van (minimaal) 65% eiwit van eigen land niet worden gehaald, tenzij op een lager RE-rantsoen wordt gestuurd.

Daarnaast pakt het maatregelenpakket economisch gezien negatief uit. Hoewel meer weiden leidt tot minder loonwerkkosten op het bedrijf, zorgt lichter maaien juist voor meer loonwerk en minder voer van eigen land. Hierdoor stijgen de loonwerkkosten voor aangekochte mais. Tegelijkertijd is door voeraankoop van hogere kwaliteit fors minder krachtvoer nodig. In de scenariostudie is gerekend met een prijs van circa € 23 per 100 kg krachtvoer voor standaard krachtvoer en € 33 voor zeer eiwitrijk krachtvoer. Bij stijgende krachtvoerprijzen kan de besparing op krachtvoer groter worden en het economisch plaatje van de maatregelen gunstiger worden.

5.4 Bedrijf H

Voor bedrijf H (op kleigrond) is ook een modelmatige verkennende berekening uitgevoerd met als uitgangspunt de resultaten die in 2020 zijn gerealiseerd. Het maatregelenpakket is in samenspraak met de veehouder opgesteld. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de K LW gegevens van 2020. De gewasopbrengsten zijn ingeschat op basis van een "gemiddeld weerjaar" en zijn in de simulatie met 14,7 ton DS/ha op grasland ongeveer 2 ton DS/ha hoger dan het droge weerjaar 2020.

Voor de lange termijn is het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- Lichter maaien zodat de EF van het graskuil daalt van 19,5 naar 18,5 g CH₄/kg DS.
- Meer mais in het rantsoen, dus bij een tekort een groter aandeel mais in plaats van gras aankopen (nog wel wat gras aankopen in verband met de eiwitvoorziening).
- Mais aankopen met een lagere EF (16 in plaats van 17,5 g CH₄/kg DS).
- Meer en andere bijproducten met een lagere EF: Tarwegistconcentraat en witlofpennen (samen 0,9 kg DS/koe/dag) vervangen door 2 kg DS/koe/dag maisgluten (EF=15 g CH₄/kg DS).
- 0,3 kg DS/koe/dag vet voeren met een EF van -11.7 g CH₄/kg DS.
- Emissiearm krachtvoer voeren met een EF van 16 g CH₄/kg DS.
- Meer vers gras opnemen door meer uren per dag de melkgevende koeien te weiden (van beperkt weiden met 11 kg DS bijvoeding naar beperkt weiden met 7,9 kg DS bijvoeding) en ook de kalveren te laten weiden die in de zomer op bedrijf blijven. Al het grasland wordt op deze manier voor weiden benut.
- Meer jongvee uitscharen: 50% van het jongvee dat in 2020 aanwezig was uitscharen in de zomer.

Het effect van de maatregelen op zowel de CH₄ als NH₃ emissie is doorgerekend, evenals de economische gevolgen. De volledige uitwerking hiervan staat in Bijlage 9.

5.4.1 Effect op CH₄ en NH₃ emissie

Op dit bedrijf is de CH₄ emissie uit pensfermentatie met 17,3 kg CH₄/1000 kg melk in de basissituatie bijna 7% lager dan het Nederlands gemiddelde op kleigrond (8% ten opzichte van het totaal Nederlands gemiddelde) volgens de K LW 2018. De scenariostudie laat een mogelijkheid zien voor een reductie van CH₄ van 18,6% ten opzichte van de basissituatie (**Tabel 5.4**). De grondsoort-specifieke doelstelling van 30% reductie wordt met deze 14,1 kg CH₄/1000 kg melk gehaald (voor bedrijven op kleigrond is de 30% reductiedoelstelling 14,3 kg CH₄/1000 kg melk), ten opzichte van het nationale gemiddelde van 13,2 kg CH₄/1000 kg melk wordt circa 25% reductie gerealiseerd. In tegenstelling tot de scenariostudies van de andere twee bedrijven, wordt ingeschat dat op lange termijn de genomen maatregelen tot een stijging van het inkomen leiden van ruim € 15.000. Hierbij is het uitgangspunt dat vet voor € 590/ton wordt aangekocht en dat CH₄ arm krachtvoer € 0,50 per 100 kg duurder is dan krachtvoer in de basissituatie.

De NH₃ emissie (kg/1000 kg melk) ligt op dit bedrijf in de basissituatie 51,2% lager dan het Nederlands gemiddelde voor bedrijven op kleigrond in 2018. De NH₃ emissie per ha stijgt licht met 3,3% door het geschetste maatregelenpakket. De emissie per 1000 kg melk blijft echter gelijk. Hierbij daalt de hoeveelheid TAN wel met bijna 2% en daardoor ook de emissie uit stal en mestopslag. Ook op dit bedrijf blijft er door het maatregelenpakket meer van de TAN achter op het bedrijf (meer ton mest toedienen). Er is minder mestafvoer nodig bij een lagere excretie en het N-gehalte van de mest niet daalt bij een lager mestproductievolume. Hierdoor stijgt de NH₃ emissie bij uitrijden wel. Er zijn in de scenariostudie geen veranderingen in stalsystemen, mest verdunnen of emissiearm uitrijden meegenomen.

Tabel 5.4 Emissies op bedrijfsniveau (CH₄ en NH₃) van de basissituatie en het maatregelenpakket doorgerekend met Dairy Wise voor bedrijf H.

	Basissituatie	Lange termijn pakket
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	30251	24655
Geproduceerde melk (x1000 kg)	1749	1749
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	17,3	14,1
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		18,6%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	90,8	93,8
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /1000 kg melk)	2,1	2,1
NH ₃ reductie t.o.v. basissituatie		-3,3%

5.4.2 Aandachtspunten en uitdagingen

De scenariostudie laat mogelijkheden zien om de CH₄ emissie te reduceren. Het pakket van maatregelen heeft een positieve invloed op het inkomen en CH₄ emissie, terwijl de NH₃ emissie minimaal toeneemt. Wel neemt het aandeel mais in het rantsoen toe, waardoor het waarborgen van de eiwitvoorziening een grotere uitdaging wordt. Vandaar dat er ook aankoop van graskuil is ingerekend en krachtvoer met een hoger ruw eiwit gehalte wordt aangekocht. Dit kan effect hebben op andere doelen van dit bedrijf, zoals het doel om minimaal 65% eiwit van eigen land te halen.

Bij het pakket van maatregelen wordt vanaf 15 mei geweid. De eerste snede wordt volledig gemaaid. Vroeger weiden is een optie en helpt mogelijk om de NH₃ emissie te verlagen. Het gevolg hiervan zou wel een lagere grasopbrengst zijn, waardoor er meer graskuil zal moeten worden aangekocht. Daarnaast wordt er binnen het maatregelenpakket uitgegaan van de mogelijkheid om intensiever te weiden. De praktijk zal moeten uitwijzen of een intensieve beweiding op kleigrond op dit bedrijf mogelijk is, vooral bij vochtige omstandigheden. Wanneer aankoop van mais met een EF van 15 g CH₄/kg DS mogelijk is, kan het doel worden gehaald met iets minder weiden of minder licht maaien.

6 Discussie en conclusies

6.1 Ontwikkelen voerstrategieën

Binnen dit project kregen veehouders en hun adviseurs intensieve begeleiding tijdens het ontwikkelen van voerstrategieën voor de melkgevende dieren met als doel om een reductie van 30% in CH₄ emissie en TAN excretie te realiseren. Die reductie is ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de KringloopWijzer 2018, hetgeen de meest recente informatie was bij aanvang van het onderzoek in 2020. De strategie was gericht op het verminderen van de emissies van de aangekochte voedermiddelen, aanpassing van de onderlinge verhouding tussen de gebruikte (ruw)voeders en het toevoegen van extra vet aan het rantsoen. Deze strategie sluit aan bij wat praktijkbedrijven als eerste zouden doen.

In het project wordt gewerkt volgens het model van *prototyping*. Er wordt over een langere periode (bijvoorbeeld 4 jaar) een ambitieus einddoel geformuleerd waar ieder jaar met een haalbaar geachte extra stap naar toe wordt gewerkt. Om specifieke voerstrategieën te kunnen ontwikkelen, is er voor gekozen om het procentuele reductie einddoel te kwantificeren naar een EF van 15,8 g CH₄/kg DS (of lager) voor melkgevende koeien bij 21 kg DS opname. Voor de TAN excretie was het einddoel 30% lager dan de gemiddelde TAN excretie volgens de KLV 2018 en dat is maximaal 7,6 g/1000 kg melk voor de melkgevende koeien en bij een gelijkblijvende melkproductie. Aangezien de KLV een TAN-gemiddelde op veestapelniveau geeft, moet deze streefwaarde voor de melkgevende dieren lager liggen (naar schatting circa 6,0 g/1000 kg melk). Deze aanscherping is in het hier beschreven onderzoek niet meegenomen, omdat de KLV geen excretiecijfers per diergroep geeft en aanpassing van de streefwaarde per diergroep daarom niet verder gespecificeerd kon worden.

Tijdens het ontwikkelen van de voerstrategieën bleek dat op vier van de vijf bedrijven reductiemogelijkheden waren, maar dat het doel van 15,8 g CH₄/kg DS niet gehaald kon worden met de beschikbare maatregelen in de eerste fase van het *prototypen*. Verdere reductie zal via een andere of aanvullende strategie gerealiseerd moeten worden. Op één bedrijf was niet duidelijk of er reductiemogelijkheden waren, omdat het bedrijf bijproducten/krachtvoeders zelf verbouwt en nauwelijks voeders aankoopt. Van de zelf geteelde bijproducten/krachtvoeders was geen EF beschikbaar en werd de EF ingeschat op basis van *expert judgement*. In plaats van het nastreven van een reductie was op dit bedrijf het doel om te onderzoeken of de inschatting van de EF tot een reële emissie leidde.

Uit de resultaten blijkt dat een voerstrategie gericht op het reduceren van CH₄ niet per sé samen hoeft te gaan met een toename van de TAN excretie. Dat neemt niet weg dat de TAN excretie tussen voerstrategieën variatie vertoonde. Het is daarom aan te bevelen om de TAN excretie te betrekken bij het formuleren van een voerstrategie. Overigens zaten alle vijf bedrijven in de basissituatie reeds fors lager in TAN excretie (per 1000 kg melk) dan het Nederlands gemiddelde volgens de KLV 2018.

Op de vier bedrijven waar maatregelen werden toegepast, werd een combinatie van drie strategieën ingezet: het verlagen van de EF van het krachtvoer (al dan niet door het vetgehalte van het krachtvoer te verhogen), het verhogen van het vetgehalte van het rantsoen en het vervangen van bijproducten met een hoge EF door (bij)producten met een lage EF. Daarnaast werd op sommige bedrijven als vierde strategie ook de verhouding in en/of de selectie van de ruwvoeders aangepast. Zo werd er op een bedrijf een andere graskuil gekozen met een lagere EF en op twee bedrijven werd het aandeel maiskuil in het ruwvoerdeel van het rantsoen verhoogd. De berekeningen lieten zien dat het effect van het verhogen van het vetgehalte van het rantsoen het grootst was wanneer er onbestendige vetten worden gebruikt. Dit komt doordat dan een extra reductie-effect van vet kan worden ingerekend. Deze extra CH₄ reductie van toegevoegd vet was gebaseerd op gepubliceerde literatuur (Arndt *et al.*, 2022; Grainger *et al.*, 2011; Williams *et al.*, 2020) en de kwantificering van het extra effect was gebaseerd op nog niet gepubliceerd WUR onderzoek (persoonlijke mededeling).

Het reductie-effect van vettoevoeging kent verschillende mechanismen, waarbij het vervangen van energie uit fermenteerbare organische stof door energie uit een niet-fermenteerbaar product tot uiting komt in de negatieve EF (circa -11 g CH₄/kg DS) van vet. Daarnaast heeft onbestendig vet invloed op het fermentatieproces in de pens en dat geeft een extra reductie-effect van vettoevoeging. Voor het wel of niet inrekenen van deze effecten moet daarom onderscheid gemaakt worden naar (pens)bestendig vet en overige vetten, omdat bestendig vet er juist op gericht is deze effecten te voorkomen. Het gaat om een lagere voeropname, een lagere NDF verteerbaarheid en het tegengaan (inhibitie) van de methanogenese. Bij correcte toepassing van de maatregel geeft dit een extra CH₄ reductie bij gelijkblijvende productie, wat tot een rantsoenvetgehalte van maximaal 6-8% het geval is. In het hier gerapporteerde onderzoek is het vetgehalte onder de 7% gehouden en werd, conform praktijktoepassing, bestendig vet gebruikt. Er werd dan ook geen negatief effect gemeten op voeropname en melkproductie. Bij gebruik van onbestendig vet is gemodelleerd dat er een extra reductiepotentie is van 5-15% (afhankelijk van de uitgangssituatie en de hoeveelheid toegevoegd vet).

Het onderzoek in de voorliggende rapportage laat zien dat het ontwikkelen van voerstrategieën waarmee 30% reductie van de enterische CH₄ emissie wordt bereikt, een lastige opgave is wanneer er weinig ruimte is voor het aanpassen van de ruwvoer kwaliteit. Het aanpassen van de ruwvoer kwaliteit kost tijd en zal in een vervolgproject onderzocht worden, omdat een integrale aanpak nodig is vanwege extra randvoorwaarden (o.a. wel/niet derogatie, eiwit van eigen land en andere regelgeving).

6.2 Implementeren voerstrategieën

Tijdens het implementeren van de voerstrategie zijn zowel het bedrijfseigen basisrantsoen als het aangepaste rantsoen doorgemeten met de GreenFeed. Daarnaast is de CH₄ emissie en TAN excretie berekend met behulp van de rekenregels van de KLV.

Op alle bedrijven was de TAN excretie op bedrijfsniveau in de uitgangssituatie al lager dan het Nederlands gemiddelde. Op twee bedrijven werd voor de melkgevende dieren het doel van 30% TAN reductie gehaald en op twee bedrijven 20% TAN reductie ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de KLV 2018. Op alle bedrijven konden CH₄ reducerende maatregelen worden toegepast zonder dat dat leidde tot een significante toename van de TAN excretie, zodat er mogelijkheden zijn om de CH₄-emissie en TAN-excretie enigszins onafhankelijk van elkaar te beïnvloeden.

De gemeten CH₄ opbrengst van het basisrantsoen was gemiddeld 19,2 g CH₄/kg DS (op basis van 21 kg DS opname), wat overeen komt met het Nederlands gemiddelde van 2018. Op twee bedrijven (bedrijf F en I) werd geen reductiepotentie voor enterisch CH₄ berekend. Op bedrijf I was de reden dat er geen reductiestrategie is toegepast, omdat het doel was te onderzoeken of de inschatting van de EF van de zelf geteelde krachtvoerders tot een reële emissie leidde. De CH₄ emissie berekend met de ingeschatte EF van de zelf geteelde producten bleek overeen te komen met de gemeten CH₄ emissie. Op bedrijf F werd als voerstrategie graskuil vervangen door vers gras vanuit de gedachte dat vers gras een lagere EF heeft dan graskuil. Echter, de graskuil in het basisrantsoen bleek achteraf reeds een lage EF te hebben. Hierdoor had de maatregel van graskuil uitruilen voor meer vers gras geen meetbare reductiepotentie. Op de andere drie bedrijven werd op basis van de gerealiseerde rantsoenen een CH₄ reductie berekend van bijna 10%, met een gemiddeld berekende EF van 17,2 g CH₄/kg DS op basis van 21 kg DS opname. Op deze bedrijven werd inderdaad een gemiddelde reductie van iets meer dan 9% gemeten, maar variërend van 3-13%. De gemeten CH₄ opbrengst per kg DS op basis van 21 kg DS opname was op deze bedrijven gemiddeld 17,6 g CH₄/kg DS tijdens de voerstrategie. In deze praktijkimplementatie zijn afwijkingen tussen berekende en gemeten CH₄ emissies (g/kg DS) geconstateerd waarvoor geen sluitende verklaring kan worden gegeven. De reden is dat het observationeel onderzoek en daardoor niet geschikt voor het verklaren van afwijkingen tussen de modelberekening en gemeten emissie. Er zijn echter er wel een paar plausible redenen mogelijk. Het niet overeenkomen van meting en berekening kan mogelijk samenhangen met het feit dat de EF van bepaalde voeders niet nauwkeurig wordt geschat. Dat kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer de kwaliteit van voeders afwijkt van de gangbare gemiddeld kwaliteit.

Dit lijkt op het ene bedrijf een groter effect te hebben dan op het andere bedrijf, waardoor het niet bekend is of de reductiepotentie op alle bedrijven even nauwkeurig ingeschat wordt. Op één bedrijf was de afwijking van de modelberekening ten opzichte van de gemeten emissie hoger dan 10% (in één periode zelfs 20%), waarvoor geen sluitende verklaring kon worden gevonden. Ook in 2020 werd op twee bedrijven een modelafwijking gevonden van meer dan 10% (Koning *et al.*, 2021). Op het bedrijf dat zomerstalvoeding toepaste, was de modelberekening enkel nauwkeurig wanneer de EF van het verse gras op stal aangepast werd naar 19,0 g CH₄/kg DS d.w.z. gelijk aan de EF van vers gras bij beweiding en in overeenstemming met de bevindingen van Klootwijk *et al.* (2021). Verder kan het zijn dat de metingen niet nauwkeurig genoeg waren en/of de selectie van de te bemeten koeien niet representatief was voor de hele koppel. Mogelijk spelen zowel een onnauwkeurigheid van de modelberekening als onnauwkeurigheid in de metingen een rol, maar ze kunnen niet afzonderlijk gekwantificeerd worden in deze praktijkimplementatie. De gemeten CH₄ emissie was vaak iets hoger dan de modelberekening en de reductiepotentie iets lager dan verwacht.

De toegepaste voerstrategieën waren gericht op het realiseren van een maximale emissiereductie en zaten op of net over de nutritionele grenzen welke door de betrokken voeradviseurs in de praktijk geadviseerd worden. Toch is een verdere reductie nodig, omdat op geen van de bedrijven de streefwaarde van 15,8 g CH₄/kg DS (of lager) werd gemeten. Deze verdere reductie zal bij voorkeur met een aanvullende strategie gerealiseerd moeten worden, omdat verdere aanscherping van de onderzochte strategieën weinig ondersteuning uit de praktijk dreigt te krijgen. De meeste veehouders en/of voedadviseurs gaven namelijk aan zorgen te hebben bij het langdurig implementeren van de in dit onderzoek voorgestelde voerstrategieën. Deze zorgen liggen vooral op het gebied van (het onbekende effect van de voerstrategieën op) de gezondheid van de dieren, maar ook op de beschikbaarheid van producten en de economische gevolgen ten opzichte van de reductiepotentie die gehaald werd. Dit geeft aan dat er nog kennisvragen zijn met betrekking tot de impact van CH₄ arme voerstrategieën, vooral de mate waarin ze jaarrond toepasbaar zijn en welke reductiepotentie daar dan bij hoort.

6.3 Scenariostudies

Een belangrijk gegeven voor het realiseren van reductie in melkveehouderijpraktijk is de praktische inpasbaarheid van reductiemaatregelen in de context van huidige randvoorwaarden c.q. richtlijnen. Daarbij is de impact op de reductiepotentie en het bedrijfseconomisch presteren essentieel. Om hier inzicht in te krijgen is er een verkennende scenariostudie gedaan voor drie bedrijven die in 2020 of 2021 intensief zijn begeleid bij het ontwikkelen en implementeren van voerstrategieën. Er is met BBPR onderzocht welke CH₄ reductie op de lange termijn mogelijk is met een op het bedrijf toegesneden maatregelenpakket. Daarbij zijn ook de integrale effecten op de NH₃ emissie en de economische resultaten onderzocht. In de meeste gevallen bevatten de scenariostudies de volgende maatregelen: lichter maaien (zodat de EF van het graskuil lager is), meer weiden, meer mais in het rantsoen (met een lagere EF), de EF van het krachtvoer verlagen, bijproducten met een hoge EF vervangen door bijproducten met een lage EF en vet toevoegen aan het rantsoen.

Alle drie de bedrijven hadden volgens de KLV 2020 een 8 tot bijna 20% lagere CH₄ emissie uit pensfermentatie dan het Nederlands gemiddelde. Met de voorgestelde maatregelen, zou de emissie met 10 tot 15% verder kunnen dalen. De CH₄ emissie werd in de scenario's teruggedrongen naar een niveau van 13,5 tot 14,2 g CH₄/1000 kg melk (op bedrijfsniveau, KLV gegevens 2020). Geen van de bedrijven haalde hiermee het reductiedoel van 30% ten opzichte van het Nederlands gemiddelde op basis van de KLV 2018. Dat doel ligt op een maximale CH₄ emissie van 13,2 g CH₄/1000 kg melk. Een reductie van 25% lijkt volgens de scenariostudies wel haalbaar. Het in de scenariostudie geïmplementeerde maatregelenpakket raakt wel aan andere randvoorwaarden van de bedrijven. Zo is de kans groot dat het aandeel eiwit van eigen land lager is dan 65% en zijn de maatregelen niet goed te combineren met de derogatie voorwaarden. Op de meeste bedrijven zal de grasopbrengst van eigen land lager worden, waardoor bedrijven mogelijk minder zelfvoorzienend zijn. Deze gevolgen worden niet door alle bedrijven gewaardeerd. Ten slotte kostte het twee van de drie bedrijven inkomsten (tot € 11.700 per jaar), maar één bedrijf zou winst kunnen maken op basis van de scenariostudie.

6.4 Handelingsperspectief

Deze praktijkimplementatie was gericht op inzicht krijgen in het handelingsperspectief voor de melkveehouderij als het gaat om de gelijktijdige reductie van CH₄- en NH₃-emissie. Het ging in het onderzoek primair om de reductie die op korte termijn (voor 2030) gerealiseerd kon worden via het voerspoor en binnen de kaders van de huidige bedrijfssystemen. Samengevat betreft dat maatregelen die de EF van het pakket aangekochte voedermiddelen verlaagt in combinatie met een ruimere verhouding mais ten opzichte van gras. Die maatregelen zijn toegepast op Koeien & Kansen bedrijven die al een ongeveer 10% lagere CH₄ emissie en een 25-35% lagere NH₃ emissie realiseerden dan gemiddeld in Nederland. Deze lagere emissies worden vooral toegeschreven aan efficiënt voer- en diermanagement, een kenmerk van het project Koeien & Kansen. Binnen die kaders laten de resultaten zien dat via het voerspoor een extra reductie van 5 tot 15% CH₄ haalbaar is in combinatie met een 30% lagere NH₃ emissie (streefreductie). Daarnaast bleek dat verdere reductie via het aanscherpen van de toegepaste strategieën omwille van economische en diergezondheidsredenen voor de praktijk ongewenst is. Dat betekent dat de resterende extra inspanning voor de CH₄ reductie (circa 10 tot 15%) bij voorkeur via aanvullende strategieën moet worden gerealiseerd. Een mogelijkheid daartoe zou sturing op de kwaliteit van de zelf geteelde ruwvoeders kunnen zijn. Daarmee lijkt een additionele reductie van ongeveer 10% mogelijk te zijn. Hoe dit sturen op een lage EF (g CH₄/kg DS) via teelt en winning uitgevoerd moet worden is vooralsnog niet duidelijk, omdat voerkenmerken voor de praktijk onvoldoende bruikbare zijn. Zo is voor grasproducten gebleken dat het nu gebruikte voerkenmerk NDF gehalte een te generiek kenmerk is om de complexiteit van effecten op pensfermentatie weer te geven. Voor snijmais geldt dat ook maar in mindere mate. Invulling van die kennisvragen is nodig om gerichte strategieën voor ruwvoederteelt en ruwvoederwinning te kunnen ontwikkelen. In 2022 is daarom een project opgestart om die kennisleemte te onderzoeken.

Het is de vraag of het voor het gemiddelde Nederlandse melkveebedrijf mogelijk is om met maatregelen in het voerspoor een jaarrond reductie van 30% voor CH₄ te realiseren. Ook als het maatregelenpakket gericht is op zowel het verlagen van de EF van aangekochte voeders als van zelf geteelde voeders. Het gemiddelde Nederlandse melkveerantsoen (WUM gemiddelde over de jaren 2017, 2018 en 2019) had een berekende EF van 19,3 g CH₄/kg DS. Voor dat rantsoen komt 30% reductie overeen met een EF van 13,5 g CH₄/kg DS. Volgens een theoretische benadering ligt voor het gemiddelde rantsoen van de Nederlandse melkgevendende dieren het minimum voor EF tussen de 15,0 en 16,0 g CH₄/kg DS. Dat betekent dat naast gebruik van het voerspoor ook het voer- en diermanagement en het mestmanagement ingezet moet worden om de reductiedoelstelling te realiseren. Wellicht is het nodig om binnen het voerspoor ook CH₄ reducerende additieven in te zetten. Daarvan is wetenschappelijk aangetoond dat ze effectief zijn met een potentiële extra reductie van meer dan de 15-20% die op basis van het hier beschreven onderzoek nodig is. Daarmee is de 30% reductiedoelstelling haalbaar. Of voederadditieven zullen worden ingezet, in welke mate en op welke wijze, is afhankelijk van bedrijfseconomische impact en acceptatie door zowel maatschappij als sector. Ook bij volledige acceptatie en inzet van additieven zal na 2030, met een verwachte verdere aanscherping van de eisen aan verlaging van de CH₄ emissie, het verzilveren van de reductiepotentie in het voer-, dier en mestspoor relevant blijven.

Voor brede toepassing van het geschetste handelingsperspectief is een integrale aanpak essentieel, omdat een maatregel positief voor het ene en tegelijkertijd negatief voor het andere maatschappelijk doel kan werken. Een grote uitdaging is het kunnen maken van een objectieve afweging bij tegenstrijdige effecten op verschillende belangen. Reductieopties om CH₄ te reduceren, zoals minder gras(silage) en meer mais(silage) voeren, minder ruwvoer en meer krachtvoer voeren en het inzetten van vetten zoals palmolie kunnen op enig moment strijdig zijn met doelen als duurzaamheid, kringlooplandbouw en eiwit van eigen land. Daarnaast is de bedrijfseconomische duurzaamheid voor veehouders een belangrijke factor bij het wel of niet implementeren van maatregelen. In de huidige setting zijn de ontwikkelde voerstrategieën ten behoeve van het reduceren van de CH₄ emissie meestal niet aantrekkelijk. Dit kan evenwel snel veranderen, zoals met het recente wegvallen van derogatie of bij een aanpassing van de wijze waarop het opwarmingspotentieel van CH₄ beoordeeld wordt. Ook zullen voor het realiseren van een brede praktijkimplementatie deze kosten ergens gecompenseerd moeten worden, zodat de sector rendabel blijft.

Literatuur

- Arndt, C., Hristov, A. N., Price, W. J., McClelland, S. C., Pelaez, A. M., Cueva, S. F., Oh, J., Dijkstra, J., Bannink, A., Bayat, A. R., Crompton, L. A., Eugène, M. A., Enahoro, D., Kebreab, E., Kreuzer, M., McGee, M., Martin, C., Newbold, C. J., Reynolds, C. K., Schwarm, A., Shingfield, A. K. J., Veneman, J. B., Yáñez-Ruiz, D. R. & Yu, Z. (2022). *Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 °C target by 2030 but not 2050*. PNAS 2022 Vol. 119 No. 20.
- Bannink, A., Spek, W.L., Dijkstra, J. & Šebek, L.B. (2018). *A Tier 3 method for enteric methane in dairy cows applied for fecal N digestibility in the ammonia inventory*. Frontiers in sustainable Food Systems, Volume 2.
- C-lock Inc. (2017). A System to Measure Ruminant Gas Emissions. *Manuscript*. Rapid City, SD.
- CVB. (2016). *Tabellenboek Veevoeding 2016; voedernormen Rundvee, Schapen, Geiten en voederwaarden voedermiddelen voor Herkauwers*. Wageningen, Federatie Nederlandse Diervoederketen.
- Grainger, C., & Beauchemin, K.A. (2011). *Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production?* Animal Feed Science and Technology 166-167.
- Klimaatakkoord. (2019). *Klimaatakkoord*. Den Haag: het kabinet.
- Klootwijk, C.W., Koning, L., Holshof, G., Klop, A., & Zom, R.L.G. (2021). *Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit Jaarrapport 1: 2020*, Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1342
- Koning, L., Evers, A.G., & Šebek, L.B. (2021). *Praktijkimplementatie CH₄ en NH₃ reductie via voerspoor – praktijkrapport 2020; Voerstrategieën om de methaan- en ammoniakemissie te reduceren in de melkveehouderij*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1351.
- RVO. 2019. *Handreiking bedrijfsspecifieke excretie melkvee*. Den Haag, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Schils, R.L.M., De Haan, M.H.A., Hemmer, J.G.A., Van den Pol-van Dasselaar, A., De Boer, J.A., Evers, A.G., Holshof, G., Van Middelkoop, J.C., & Zom, R.L.G. (2007). *DairyWise, a whole-farm dairy model*. Journal of Dairy Science, 90 (11), 5334-5346.
- 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 UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 796.
- 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 UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 976.
- Van Dijk, W., De Boer, J.A., De Haan, M.H.A., Mostert, P., Oenema, J., & Verloop, J. (2020). *Rekenregels van de KringloopWijzer 2020; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2019-versie*. Wageningen Research, Rapport WPR-1023.
- Wemmenhove, H., & Šebek, L.B. (2021). *Praktijkimplementatie voerspoor melkvee: (voer)managementmaatregelen om de methaan- en ammoniakemissie te reduceren; Ervaringen van koeien en kansen bedrijven in 2020 (groep, zonder methaanmetingen in 2020)*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1280.
- Williams, S. R. O., Hannah, M. C., Eckard, R. J., Wales, W. J., & Moate, P. J. (2020). *Supplementing the diet of dairy cows with fat or tannin reduces methane yield, and additively when fed in combination*. Animal, 14 (S3), s464-s472.
- Zom, R. L. G. (2014). *The development of a model for the prediction of feed intake and energy partitioning in dairy cows* (PhD Thesis , Wageningen University).

Bijlage 1 Algemene bedrijfsgegevens

Bedrijfs- letter	Bedrijf	Provincie	Grondsoort	Beweiden ¹	Aantal melkgevende koeien totaal ²	Aantal koeien gevolgd	Melkrobot	Maanden meetperiode
F	Van Erp	Noord- Brabant	Klei	Ja ³	140	30	Nee	Mei t/m aug
G	Houbraken	Noord- Brabant	Zand	Ja	102	38	Ja	Mei t/m aug
H	Dekker	Flevoland	Klei	Nee	168	27	Nee	Sept t/m dec
I	Buijs	Noord- Brabant	Klei	Nee	118	34	Nee	Sept t/m dec
J	Post	Drenthe	Zand	Nee	122	37	Nee	Okt t/m jan

¹ Of de bedrijven weiden op het moment van de meetperiode (ja/nee)

² Aantal melkgevende koeien tijdens de meetperiode (afgerond)

³ Gevolgde / gemeten koeien kregen vers gras op stal

Bijlage 2 Berekende EF rantsoenen bedrijf F

Voedermiddelen	Vetgehalte (g/kg DS)	Periode 1: Basisrantsoen Week 17+18, 2021			Periode 2: Voerstrategie Week 23+24, 2021			Periode 3: Basisrantsoen Week 27+28, 2021		
		Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³
Zomerstalvoeding	40	5.95	19.00	113.05	10.05	19.00	190.95	6.95	19.00	132.05
Graskuil 4 achter 2020	40	4.55	21.45	97.58	0.00	21.49	0.00	0.00	21.44	0.00
Grasbalen snede 1	40	0.00	16.32	0.00	0.00	16.36	0.00	1.95	16.31	31.80
Grasbalen grof	40	0.00	20.52	0.00	0.00	20.56	0.00	1.10	20.51	22.56
Maiskuil silo 2 2020	32	7.95	19.50	154.99	7.95	18.61	147.98	7.50	17.70	132.75
Gerstestro	18	0.25	17.00	4.25	0.70	17.00	11.90	0.80	17.00	13.60
Aardappelpersvezel	0	0.10	24.44	2.44	0.00	24.49	0.00	0.00	24.43	0.00
Cigarant	12	1.00	24.59	24.59	0.00	24.62	0.00	1.40	24.58	34.41
Bierbostel	105	0.00	15.50	0.00	0.85	15.50	13.18	0.90	15.50	13.95
Geplette gerst	21	0.00	18.67	0.00	0.75	18.64	13.98	0.00	18.68	0.00
Optimix 480	33	1.20	19.74	23.68	0.00	19.80	0.00	0.00	19.72	0.00
Optimabrok Top	44	1.75	20.15	35.26	0.00	20.16	0.00	0.00	20.14	0.00
Soja 48 brazil	31	0.00	20.65	0.00	0.00	20.70	0.00	1.10	20.64	22.70
Selectbrok	83	0.00	18.30	0.00	1.55	18.31	28.39	1.30	18.30	23.79
Selectmeel	39	0.00	18.68	0.00	0.90	18.71	16.84	0.00	18.68	0.00
%Snijmais in ruwvoer		43%			44%			43%		
%Vet in rantsoen		3.6%			4.1%			3.9%		
Totaal		22.75	20.04	455.84	22.75	18.60	423.22	23.00	18.59	427.61
Correctie voeropnameniveau			19.14	435.54		17.71	402.92		17.65	405.88
Correctie voor extra vet ⁴			19.11	434.74		17.28	393.23		17.35	398.96
CH ₄ reductiepotentie ⁵						-10%	-10%		0%	1%
FPCM (tankmelk) ⁶		32.1		13.54	31.5		12.48	30.9		12.91

1 DSO = droge stof opname in kg per koe per dag, per voedermiddel.

2 EF = emissiefactor per voedermiddel in g CH₄ per kg DSO, gecorrigeerd voor %mais in het ruwvoer en voor de gras- en maiskuil gecorrigeerd voor kwaliteit (grassilage o.b.v. NDF gehalte, maissilage o.b.v. NDF en zetmeelgehalte).

3 CH₄ productie per voedermiddel in g CH₄ per koe per dag.

4 Per 1% extra **onbestendig** vet boven de 3,5% vet van het totale rantsoen reduceert de enterische CH₄ emissie met 15,5 g CH₄/koe/dag. De eerste waarde is de gecorrigeerde CH₄ emissie in g/kg DS en de tweede waarde in g/koe/dag.

5 Verschil in CH₄ emissie tussen periode 2 t.o.v. periode 1 en tussen periode 3 t.o.v. periode 2.

6 De eerste waarde is de kg FPCM volgens de tankmelkdata, de tweede waarde de bijbehorende CH₄ emissie in g CH₄/kg FPCM.

Bijlage 3 Berekende EF rantsoenen bedrijf G

Voedermiddelen	Vetgehalte (g/kg DS)	Periode 1: Basisrantsoen Week 17+18, 2021			Periode 2: Voerstrategie Week 22+23, 2021			Periode 3: Basisrantsoen Week 26+27, 2021		
		Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³
Vers gras (weiden)	37	5.20	19.20	99.84	4.20	19.20	80.64	1.95	19.20	37.44
Graskuil 8 2020	45	5.40	19.05	102.87	0.00	19.05	0.00	0.00	19.05	0.00
Graskuil 9 2020	43	0.00	20.52	0.00	2.15	20.52	44.12	0.00	20.52	0.00
Graskuil 10 2020	42	0.00	16.14	0.00	2.95	16.14	47.61	0.00	16.14	0.00
Graskuil 2 2021	45	0.00	19.05	0.00	0.00	19.05	0.00	8.15	19.05	155.26
Maiskuil 1 2020	33	6.00	17.75	106.53	5.45	17.74	96.66	5.65	17.76	100.35
Maismeel	37	0.80	19.83	15.87	1.30	19.80	25.74	0.90	19.84	17.86
Sojaschroot (bestendig)	18	0.40	19.36	7.74	0.30	19.34	5.80	0.35	19.37	6.78
Graszaadhooi	11	0.50	17.00	8.50	0.40	17.00	6.80	0.00	17.00	0.00
Luzerne	25	0.25	19.48	4.87	0.40	19.48	7.79	0.00	19.49	0.00
Bierbostel	109	1.00	15.52	15.52	1.10	15.51	17.07	1.30	15.52	20.17
Solide Excellent vlog	46	3.90	20.15	78.60	0.00	20.14	0.00	4.75	20.16	95.74
Solide Excellent maatbrok terlo	82	0.00	16.80	0.00	4.25	16.80	71.40	0.00	16.80	0.00
Balansmeel omega lijnzaad	250	0.00	8.96	0.00	0.45	8.97	4.03	0.00	8.95	0.00
Voedervet	995	0.00	-11.03	0.00	0.49	-11.01	-5.40	0.00	-11.03	0.00
%Snijmais in ruwvoer		36%			37%			36%		
%Vet in rantsoen		3.3%			6.5%			4.1%		
Totaal		23.45	18.78	440.33	23.44	17.16	402.28	23.05	18.81	433.60
Correctie voeropnameniveau			17.74	415.95		16.12	377.96		17.86	411.57
Correctie voor extra vet ⁴			17.74	415.95		14.12	330.99		17.44	401.99
CH ₄ reductiepotentie ⁵						-20%	-20%		24%	21%
FPCM (tankmelk) ⁶		33.00		12.60	34.45		9.61	34.5		11.65

1 DSO = droge stof opname in kg per koe per dag, per voedermiddel.

2 EF = emissiefactor per voedermiddel in g CH₄ per kg DSO, gecorrigeerd voor %mais in het ruwvoer en voor de gras- en maiskuil gecorrigeerd voor kwaliteit (grassilage o.b.v. NDF gehalte, maissilage o.b.v. NDF en zetmeelgehalte).

3 CH₄ productie per voedermiddel in g CH₄ per koe per dag.

4 Per 1% extra **onbestendig** vet boven de 3,5% vet van het totale rantsoen reduceert de enterische CH₄ emissie met 15,5 g CH₄/koe/dag. De eerste waarde is de gecorrigeerde CH₄ emissie in g/kg DS en de tweede waarde in g/koe/dag.

5 Verschil in CH₄ emissie tussen periode 2 t.o.v. periode 1 en tussen periode 3 t.o.v. periode 2.

6 De eerste waarde is de kg FPCM volgens de tankmelkdata, de tweede waarde de bijbehorende CH₄ emissie in g CH₄/kg FPCM.

Bijlage 4 Berekende EF rantsoenen bedrijf H

Voedermiddelen	Vetgehalte (g/kg DS)	Periode 1: Basisrantsoen Week 40+41, oktober 2021			Periode 2: Voerstrategie Week 44+45, november 2021			Periode 3: Basisrantsoen Week 48+49, december 2021		
		Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³
Graskuil sleuf 1	39	8.90	21.48	191.17	7.85	22.01	172.75	0.00	21.68	0.00
Graskuil sleuf 2	44	0.00	19.71	0.00	0.00	19.94	0.00	6.85	19.91	136.41
Maiskuil grote silo	30	5.30	20.34	107.78	0.00	20.08	0.00	2.70	21.20	57.24
Maiskuil kleine silo	34	0.00	16.60	0.00	6.70	16.34	109.47	3.00	16.36	49.08
Graszaadhooi	17	0.00	17.00	0.00	0.00	17.00	0.00	0.40	17.00	6.80
Amygold	44	1.40	20.21	28.30	0.00	20.00	0.00	0.00	20.02	0.00
Tarwegistconcentraat	59	0.80	20.38	16.30	0.45	20.27	9.12	0.50	20.28	10.14
Witlofwortelen	7	0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.90	20.00	18.00
Geplette gerst	32	1.15	18.80	21.62	0.00	18.59	0.00	0.10	18.61	1.86
Sojaschroot	21	0.00	20.54	0.00	0.65	20.78	13.51	0.65	20.75	13.49
Blendix (maatwerkmeel)	97	3.10	15.62	48.42	3.90	15.68	61.13	3.05	15.67	47.79
Powerbrok kadans	46	2.45	20.62	50.52	2.50	20.74	51.84	2.10	20.72	43.52
Milkpower ff 160	1000	0.00	-11.00	0.00	0.30	-10.99	-3.30	0.00	-10.99	0.00
Milkpower fat cs181	876	0.00	-11.00	0.00	0.20	-10.99	-2.20	0.10	-10.99	-1.10
%Snijmais in ruwvoer		37%			46%			45%		
%Vet in rantsoen		4.6%			6.8%			5.0%		
Totaal		23.10	20.09	464.12	22.55	18.29	412.34	20.35	18.83	383.22
Correctie voeropnameniveau			19.13	441.80		17.43	393.16		18.44	375.31
Correctie voor extra vet ⁴			18.38	424.58		15.14	341.37		17.28	351.57
CH ₄ reductiepotentie ⁵						-18%	-20%		14%	3%
FPCM (tankmelk) ⁶		28.75		14.77	26.35		12.96	24.9		14.12

¹ DSO = droge stof opname in kg per koe per dag, per voedermiddel.

² EF = emissiefactor per voedermiddel in g CH₄ per kg DSO, gecorrigeerd voor %mais in het ruwvoer en voor de gras- en maiskuil gecorrigeerd voor kwaliteit (grassilage o.b.v. NDF gehalte, maissilage o.b.v. NDF en zetmeelgehalte).

³ CH₄ productie per voedermiddel in g CH₄ per koe per dag.

⁴ Per 1% extra **onbestendig** vet boven de 3,5% vet van het totale rantsoen reduceert de enterische CH₄ emissie met 15,5 g CH₄/koe/dag. De eerste waarde is de gecorrigeerde CH₄ emissie in g/kg DS en de tweede waarde in g/koe/dag. Echter wordt deze reductie enkel gehaald wanneer er onbestendig vet wordt toegevoegd.

⁵ Verschil in CH₄ emissie tussen periode 2 t.o.v. periode 1 en tussen periode 3 t.o.v. periode 2.

⁶ De eerste waarde is de kg FPCM volgens de tankmelkdata, de tweede waarde de bijbehorende CH₄ emissie in g CH₄/kg FPCM.

Bijlage 5 Berekende EF rantsoenen bedrijf I

Voedermiddelen	Vetgehalte (g/kg DS)	Periode 1: Basisrantsoen Week 39, oktober 2021			Periode 2: Voerstrategie Week 43+44, november 2021			Periode 3: Basisrantsoen Week 48+49, december 2021		
		Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³
Weidegras (najaar)	33	0.50	19.20	9.60	0.20	19.20	3.84	0.00	19.20	0.00
Graskuil silo 1	33	8.10	21.66	175.45	6.65	21.66	144.04	8.15	21.66	176.53
Graskuil silo 10	42	0.00	20.82	0.00	2.60	20.82	54.13	0.60	20.82	12.49
Maiskuil silo 5	32	5.10	17.61	89.79	1.35	17.79	24.01	0.00	17.58	0.00
Maiskuil silo 4	31	0.00	16.26	0.00	1.95	16.44	32.05	4.60	16.84	77.45
Maiskuil silo 10	31	0.00	17.80	0.00	0.60	17.98	10.79	0.85	17.54	14.91
Bierbostel	40	1.00	15.51	15.51	0.95	15.55	14.77	1.00	15.51	15.51
Veldbonen/tarwe	15	1.80	21.40	38.52	1.70	21.40	36.38	1.70	21.40	36.38
Voederbieten	40	1.60	25.00	40.00	1.45	25.00	36.25	1.40	25.00	35.00
Protiwanze (tarwegistconcentraat)	64	1.00	20.38	20.38	0.95	20.47	19.45	0.95	20.37	19.35
Maiskolvensilage (MKS)	40	3.20	20.51	65.63	3.05	20.51	62.56	3.20	20.51	65.63
Veldbonenstro	15	0.30	17.00	5.10	0.30	17.00	5.10	0.10	17.00	1.70
Sojaschroot	14	0.00	20.54	0.00	1.20	20.66	24.80	1.30	20.52	26.68
Raapzaadschroot	40	0.30	17.87	5.36	0.00	17.88	0.00	0.00	17.86	0.00
Productiebrok robot	36	0.20	19.93	3.99	0.30	20.04	6.01	0.35	19.91	6.97
%Snijmais in ruwvoer		37%			29%			38%		
%Vet in rantsoen		3.4%			3.4%			3.3%		
Totaal		23.10	20.32	469.32	23.25	20.39	474.17	24.20	20.19	488.59
Correctie voeropnameniveau			19.35	447.01		19.40	450.98		18.99	459.63
Correctie voor extra vet ⁴			19.35	447.01		19.40	450.98		18.99	459.63
CH ₄ reductiepotentie ⁵						0%	1%		-2%	2%
FPCM (tankmelk) ⁶		30.1		14.85	29.15		15.47	31.55		14.57

¹ DSO = droge stof opname in kg per koe per dag, per voedermiddel.

² EF = emissiefactor per voedermiddel in g CH₄ per kg DSO, gecorrigeerd voor %mais in het ruwvoer en voor de gras- en maiskuil gecorrigeerd voor kwaliteit (grassilage o.b.v. NDF gehalte, maissilage o.b.v. NDF en zetmeelgehalte).

³ CH₄ productie per voedermiddel in g CH₄ per koe per dag.

⁴ Per 1% extra **onbestendig** vet boven de 3,5% vet van het totale rantsoen reduceert de enterische CH₄ emissie met 15,5 g CH₄/koe/dag. De eerste waarde is de gecorrigeerde CH₄ emissie in g/kg DS en de tweede waarde in g/koe/dag.

⁵ Verschil in CH₄ emissie tussen periode 2 t.o.v. periode 1 en tussen periode 3 t.o.v. periode 2.

⁶ De eerste waarde is de kg FPCM volgens de tankmelkdata, de tweede waarde de bijbehorende CH₄ emissie in g CH₄/kg FPCM.

Bijlage 6 Berekende EF rantsoenen bedrijf J

Voedermiddelen	Vetgehalte (g/kg DS)	Periode 1: Basisrantsoen Week 44+45, november 2021			Periode 2: Voerstrategie Week 49+50, december 2021			Periode 3: Basisrantsoen Week 52+1, januari 2021		
		Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³	Kg DSO ¹	EF ²	CH ₄ productie ³
Graskuil plaat 5	44	6.45	18.48	119.22	6.75	17.92	120.94	8.10	18.57	150.42
Grasbalen fijn	40	0.00	24.36	0.00	0.65	24.49	15.92	0.00	24.36	0.00
Grasbalen grof	21	0.00	22.80	0.00	0.50	22.93	11.46	0.00	22.80	0.00
(Gras)hooi snede 3	17	0.95	19.48	18.51	0.00	19.61	0.00	0.00	19.48	0.00
Maiskuil silo 1	31	4.95	18.93	93.72	0.00	18.83	0.00	0.00	18.98	0.00
Maiskuil plaat 4	32	0.00	17.26	0.00	6.05	17.15	103.75	4.95	17.44	86.31
Graszaadhooi	17	0.00	17.00	0.00	0.50	17.00	8.50	1.00	17.00	17.00
Voederbieten	5	1.55	25.00	38.75	0.00	25.00	0.00	1.80	25.00	45.00
Simulant eiwitmix	50	1.20	18.40	22.09	0.00	18.60	0.00	0.00	18.38	0.00
Topbrok ideaal	47	3.55	20.80	73.85	0.00	20.87	0.00	3.35	20.81	69.71
Energiebrok impact	37	1.65	19.70	32.50	0.00	19.62	0.00	0.00	19.75	0.00
Blendix (maatwerkmeel EF)	93	0.00	16.70	0.00	1.75	16.70	29.23	0.00	16.70	0.00
Selectbrok (lage EF)	69	0.00	15.30	0.00	3.65	15.32	55.91	0.00	15.29	0.00
Energiebrok dynamiek	40	0.00	21.14	0.00	1.35	21.17	28.57	1.30	21.17	27.52
Unimix 370 ngmo	35	0.00	19.94	0.00	0.00	20.15	0.00	1.45	19.93	28.90
Propy vital	0	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
%Snijmais in ruwvoer		40%			43%			38%		
%Vet in rantsoen		3.7%			4.7%			3.6%		
Totaal		20.32	19.62	398.63	21.22	17.64	374.27	21.97	19.34	424.86
Correctie voeropnameniveau			19.24	390.89		17.07	362.15		18.62	408.88
Correctie voor extra vet ⁴			19.10	387.99		16.17	343.14		18.54	407.29
CH ₄ reductiepotentie ⁵						-15%	-12%		15%	19%
FPCM (tankmelk) ⁶		30.95		12.54	31.65		10.84	31.55		12.91

1 DSO = droge stof opname in kg per koe per dag, per voedermiddel.

2 EF = emissiefactor per voedermiddel in g CH₄ per kg DSO, gecorrigeerd voor %mais in het ruwvoer en voor de gras- en maiskuil gecorrigeerd voor kwaliteit (grassilage o.b.v. NDF gehalte, maissilage o.b.v. NDF en zetmeelgehalte).

3 CH₄ productie per voedermiddel in g CH₄ per koe per dag.

4 Per 1% extra **onbestendig** vet boven de 3,5% vet van het totale rantsoen reduceert de enterische CH₄ emissie met 15,5 g CH₄/koe/dag. De eerste waarde is de gecorrigeerde CH₄ emissie in g/kg DS en de tweede waarde in g/koe/dag.

5 Verschil in CH₄ emissie tussen periode 2 t.o.v. periode 1 en tussen periode 3 t.o.v. periode 2.

6 De eerste waarde is de kg FPCM volgens de tankmelkdata, de tweede waarde de bijbehorende CH₄ emissie in g CH₄/kg FPCM.

Bijlage 7 Resultaten scenariostudie bedrijf C

Bijlage 7.1 Resultaten van de scenariostudie ten opzichte van de basissituatie m.b.v. Dairy Wise voor bedrijf C (op kleigrond).

	Basissituatie	Lange termijn maatregelen
Algemeen		
Aantal koeien (stuks)	120.4	+0.0
Melk per koe (kg)	10524	+0
Geproduceerde melk (kg)	1267089	+0
Intensiteit (kg melk per ha)	29557	+0
% melkvet	4.40	+0.00
% melkeiwit	3.5	+0.00
Melkureum-gehalte (mg/100 g)	26	-6
Ha gras	34.9	+0.0
Aandeel natuurgrasland van ha gras (%)	0%	+0%
Bruto DS opbrengst grasland (ton DS/ha)	18.3	-2.7
Ha mais	7.98	+0.00
Netto DS opbrengst maisland (ton DS/ha)	20.0	+0.0
Ha overig bouwland	0	+0
Netto DS opbrengst bouwland (ton DS/ha)	0	+0
Aandeel bouwland in bouwplan (%)	19%	+0%
Beweidingsstelsel koeien ¹	S	S
% mais in bijvoeding zomer	0%	+0%
Begin weiden koeien	niet	niet
Dagen weiden koeien	0	+0
Dagen weiden pinken	0	+0
Dagen weiden kalveren	0	+0
Snedezwaarte graskuil (kg DS/ha netto in kuil)	2961	-785
VEM-gewonnen graskuil	897	+15
RE gewonnen graskuil	162	+13
Stikstofjaargift per ha grasland (kg werkzame N)	323	-30
Kunstmest N-gift grasland (kg N/ha)	201	-40
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer (%)	91	-15
Aandeel eigen teelt t.o.v. voerverbruik van eiwit (%)	60	+0
Jongvee per 10 melkkoeien (stuks)	5.2	+0.0
Mestafvoer (ton)	1518	-518
Aankoop graskuil (ton DS)	13	-13
Aankoop maiskuil (ton DS)	65	+156
Verkoop graskuil (ton DS)	0	+0
Verkoop maiskuil (ton DS)	0	+0
Rantsoen		
Krachtvoer per koe incl. jongvee (kg)	2794	-1417
VEM Krachtvoer (VEM/kg)	1012	+0

RE Krachtvoer (g RE/kg)	181	+1
Bijproducten per koe incl. jongvee (kg DS)	86	+694
Soort bijproduct 1	100% bonen	80% maisgluten
Soort bijproduct 2		20% vet
RE-gehalte rantsoen veestapel (g RE/kg DS)	158	-9
% mais in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	20%	+15%
% vers gras in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	0%	+0%
% graskuil in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	49%	-9%
% krachtvoer in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	29%	-15%
% bijproducten in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	1%	+9%
Emissies		
Totale CH ₄ emissie (g CH ₄ /1000 kg melk)	16.6	-2.4
Vershil CH ₄ t.o.v. basis (%)		-14.2%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	86.3	-10.3
Vershil NH ₃ t.o.v. basis (%)		-11.9%

¹ B = beperkt weiden (+ aantal kg bijvoeding (ruwvoer) in de stal), O = onbeperkt weiden, S = niet weiden, 100% in stal

Bijlage 7.2 *Inschatting van de economische gevolgen (in euro's) van het maatregelenpakket voor bedrijf C berekend met Dairy Wise ten opzichte van de basissituatie.*

Economie	lange termijn
OPBRENGSTEN (A)	+0
Waarvan melk	+0
Waarvan omzet en aanwas	+0
Waarvan overig (o.a. bedrijfspremie, verkoop voer)	+0
TOEGEREKENDE KOSTEN (B)	+3458
Waarvan krachtvoer	-40672
Waarvan ruwvoer, melkpoeder en overig voer	+43469
Waarvan veekosten	+0
Waarvan gewaskosten (o.a. kunstmest, zaaizaad)	+661
NIET TOEGEREKENDE KOSTEN (C)	+8235
Waarvan loonwerk	+7879
Waarvan werktuigen, installaties, brandstof	+3098
Waarvan grond en gebouwen (ook voeropslag)	+3089
Waarvan water en energie	-135
Waarvan mestafvoer	-5696
Waarvan algemeen	+0
ARBEIDSOPBRENGST (A - B - C)	€ -11693

Bijlage 8 Resultaten scenariostudie bedrijf G

Bijlage 8.1 Resultaten van de scenariostudie ten opzichte van de basissituatie m.b.v. Dairy Wise voor bedrijf G (op zandgrond).

	Basissituatie	Lange termijn maatregelen
Algemeen		
Aantal koeien (stuks)	114.3	+0.0
Melk per koe (kg)	10604	+0
Geproduceerde melk (kg)	1212037	+0
Intensiteit (kg melk per ha)	23719	+0
% melkvet	4.24	+0.00
% melkeiwit	3.4	+0.00
Melkureum-gehalte (mg/100 g)	25	-3
Ha gras	42.0	+0.0
Aandeel natuurgrasland van ha gras (%)	0%	+0%
Bruto DS opbrengst grasland (ton DS/ha)	13.7	-0.6
Ha mais	9.06	+0.00
Netto DS opbrengst maisland (ton DS/ha)	16.6	+0.0
Ha overig bouwland	0	+0
Netto DS opbrengst bouwland (ton DS/ha)	0	+0
Aandeel bouwland in bouwplan (%)	18%	+0%
Beweidingsstelsel koeien	B+10.0	B+7.5
% mais in bijvoeding zomer	50%	+10%
Begin weiden koeien	20-apr	21-apr
Dagen weiden koeien	161	-17
Dagen weiden pinken	77	-1
Dagen weiden kalveren	0	+0
Snedezwaarte graskuil (kg DS/ha netto in kuil)	2710	-422
VEM-gewonnen graskuil	920	+10
RE gewonnen graskuil	185	+11
Stikstofjaargift per ha grasland (kg werkzame N)	238	-1
Kunstmest N-gift grasland (kg N/ha)	138	-5
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer (%)	80	-13
Aandeel eigen teelt t.o.v. voerverbruik van eiwit (%)	56	-2
Jongvee per 10 melkkoeien (stuks)	5.1	+0.0
Mestafvoer (ton)	1105	-224
Aankoop graskuil (ton DS)	0	+0
Aankoop maiskuil (ton DS)	130	+85
Verkoop graskuil (ton DS)	40	+3
Verkoop maiskuil (ton DS)	0	-0
Rantsoen		
Krachtvoer per koe incl. jongvee (kg)	2603	-1160
VEM Krachtvoer (VEM/kg)	1011	+0

RE Krachtvoer (g RE/kg)	183	+59
Bijproducten per koe incl. jongvee (kg DS)	212	+504
Soort bijproduct 1	51% bierbostel	87% maisgluten
Soort bijproduct 2	49% sodagrain	13% vetten
RE-gehalte rantsoen veestapel (g RE/kg DS)	159	-4
% mais in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	26%	+8%
% vers gras in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	11%	+6%
% graskuil in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	28%	-8%
% krachtvoer in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	28%	-12%
% bijproducten in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	3%	+6%
Emissies		
Totale CH ₄ emissie (g CH ₄ /1000 kg melk)	15.2	-1.7
Vershil CH ₄ t.o.v. basis (%)		-11.5%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	65.7	-2.1
Vershil NH ₃ t.o.v. basis (%)		-3.2%

¹ B = beperkt weiden (+ aantal kg bijvoeding (ruwvoer) in de stal), O = onbeperkt weiden, S = niet weiden, 100% in stal

Bijlage 8.2 *Inschatting van de economische gevolgen (in euro's) van het maatregelenpakket voor bedrijf G berekend met Dairy Wise ten opzichte van de basissituatie.*

Economie	lange termijn
OPBRENGSTEN (A)	+371
Waarvan melk	+0
Waarvan omzet en aanwas	+0
Waarvan overig (o.a. bedrijfspremie, verkoop voer)	+371
TOEGEREKENDE KOSTEN (B)	+3633
Waarvan krachtvoer	-27522
Waarvan ruwvoer, melkpoeder en overig voer	+30614
Waarvan veekosten	+0
Waarvan gewaskosten (o.a. kunstmest, zaaizaad)	+541
NIET TOEGEREKENDE KOSTEN (C)	+1506
Waarvan loonwerk (ook loonwerk aangekocht ruwvoer)	+1267
Waarvan werktuigen, installaties, brandstof	+1568
Waarvan grond en gebouwen (ook voeropslag)	+1368
Waarvan water en energie	-227
Waarvan mestafvoer	-2470
Waarvan algemeen (incl. uitscharen jongvee)	+0
ARBEIDSOPBRENGST (A - B - C)	€ -4768

Bijlage 9 Resultaten scenariostudie bedrijf H

Bijlage 9.1 Resultaten van de scenariostudie ten opzichte van de basissituatie m.b.v. Dairy Wise voor bedrijf H (op kleigrond).

	Basissituatie	Lange termijn maatregelen
Algemeen		
Aantal koeien (stuks)	192.3	+0.0
Melk per koe (kg)	9093	+0
Geproduceerde melk (kg)	1748584	+0
Intensiteit (kg melk per ha)	43769	+0
% melkvet	4.61	+0.00
% melkeiwit	3.49	+0.00
Melkureum-gehalte (mg/100 g)	17	-1
Ha gras	40.0	+0.0
Aandeel natuurgrasland van ha gras (%)	0%	+0%
Bruto DS opbrengst grasland (ton DS/ha)	14.7	-1.8
Ha mais	0	+0.00
Netto DS opbrengst maisland (ton DS/ha)	0.0	+0.0
Ha overig bouwland	0	+0
Netto DS opbrengst bouwland (ton DS/ha)	0	+0
Aandeel bouwland in bouwplan (%)	0%	+0%
Beweidingsstelsel koeien ¹	B+11.0	B+7.9
% mais in bijvoeding zomer	45%	+65%
Begin weiden koeien	23-mei	15-mei
Dagen weiden koeien	124	-5
Dagen weiden pinken	188	-39
Dagen weiden kalveren	0	+123
Snedezwaarte graskuil (kg DS/ha netto in kuil)	2751	-518
VEM-gewonnen graskuil	937	+21
RE gewonnen graskuil	193	+1
Stikstofjaargift per ha grasland (kg werkzame N)	324	-6
Kunstmest N-gift grasland (kg N/ha)	229	-17
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer (%)	44	-23
Aandeel eigen teelt t.o.v. voerverbruik van eiwit (%)	43	-11
Jongvee per 10 melkkoeien (stuks)	4.0	+0.0
Mestafvoer (ton)	3430	-609
Aankoop graskuil (ton DS)	20	+80
Aankoop maiskuil (ton DS)	572	+153
Verkoop graskuil (ton DS)	1	-1
Verkoop maiskuil (ton DS)	0	+0
Rantsoen		
Krachtvoer per koe incl. jongvee (kg)	2483	-1526
VEM Krachtvoer (VEM/kg)	956	+0
RE Krachtvoer (g RE/kg)	159	+107

Bijproducten per koe incl. jongvee (kg DS)	481	+376
Soort bijproduct 1	45% witlofpen	72% maïsgluten
Soort bijproduct 2	30% aardappel	17% aardappel
Soort bijproduct 3	25% tarwegist	11% vetten
RE-gehalte rantsoen veestapel (g RE/kg DS)	147	-5
% mais in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	33%	+11%
% vers gras in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	2%	+12%
% graskuil in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	28%	-11%
% krachtvoer in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	28%	-17%
% bijproducten in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	6%	+5%
Emissies		
Totale CH ₄ emissie (g CH ₄ /1000 kg melk)	17.3	-3.2
Verskil CH ₄ t.o.v. basis (%)		-18.6%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	90.8	+3.0
Verskil NH ₃ t.o.v. basis (%)		+3.3%

¹ B = beperkt weiden (+ aantal kg bijvoeding (ruwvoer) in de stal), O = onbeperkt weiden, S = niet weiden, 100% in stal

Bijlage 9.2 *Inschatting van de economische gevolgen (in euro's) van het maatregelenpakket voor bedrijf H berekend met Dairy Wise ten opzichte van de basissituatie.*

Economie	lange termijn
OPBRENGSTEN (A)	+0
Waarvan melk	+0
Waarvan omzet en aanwas	+0
Waarvan overig (o.a. bedrijfspremie, verkoop voer)	+0
TOEGEREKENDE KOSTEN (B)	-15533
Waarvan krachtvoer	-65659
Waarvan ruwvoer, melkpoeder en overig voer	+52037
Waarvan veekosten	+0
Waarvan gewaskosten (o.a. kunstmest, zaaizaad)	-1911
NIET TOEGEREKENDE KOSTEN (C)	+344
Waarvan loonwerk	-2102
Waarvan werktuigen, installaties, brandstof	+2002
Waarvan grond en gebouwen (ook voeropslag)	+1853
Waarvan water en energie	-459
Waarvan mestafvoer	-6701
Waarvan algemeen (incl. uitscharen jongvee)	+5751
ARBEIDSOPBRENGST (A - B - C)	€ +15189

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

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.

