



Praktijkimplementatie CH₄ en NH₃ reductie via voerspoor – praktijkrapport 2020

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

L. Koning, A.G. Evers, L.B. Šebek

Openbaar
Rapport 1351



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Praktijkimplementatie CH₄ en NH₃ reductie via voerspoor – praktijkrapport 2020

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

L. Koning, A.G. Evers, 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 'Integraal Aanpakken' (projectnummer BO-53-003-035).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, december 2021

Openbaar

Rapport 1351
K&K-nr 90

Koning, L., Evers, A.G., en 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, K&K-nr 90.

Abstract – NL

Deze praktijkrapportage beschrijft een eerste prototyping ronde van het implementeren van voerstrategieën op vijf melkveebedrijven. De implementatie heeft als doel om uiteindelijk een reductie van 30% van zowel methaan als ammoniak te realiseren ten opzichte van het referentiejaar. Voerstrategieën zijn ontwikkeld, geïmplementeerd en onderzocht op effectiviteit en werkbaarheid op vijf melkveebedrijven. Volgens modelberekeningen werd er 5 tot 15% reductie gerealiseerd, op twee bedrijven werd deze reductie ook terug gemeten. Voor het realiseren van meer reductie zal het sturen van de ruwvoer kwaliteit naar een lagere emissiefactor vermoedelijk de grootste effecten gaan opleveren. Belangrijk hierin is de integrale aanpak en de grootste uitdaging is het kunnen maken van een objectieve afweging bij tegenstrijdige effecten op verschillende belangen. Deze eerste prototyping ronde liet zien dat tot 20% methaanreductie gedurende een korte periode werd gerealiseerd. Opschalen naar een jaarrond emissiereductie zal verdere ontwikkeling van de bedrijfsvoering vragen, wat in kaart wordt gebracht via het prototyping model.

Abstract – UK

This report describes the first prototyping round of the implementation of feeding strategies to reduce methane emissions on five dairy farms. The project goal is to reduce both methane and ammonia emission with 30% compared to the reference year. Feeding strategies were developed, implemented and tested on efficiency on five commercial dairy farms. According to model calculations, 5-15% reduction was realized on all farms. On two farms this reduction was measured as well. To achieve a higher reduction potential changes in roughage quality are probably necessary. An integrated approach is essential to accomplish the project goals. One of the challenges is to make objective decisions when strategies are conflicting with other goals. The first prototyping round showed that it is possible to reduce methane emission up to 20% short-term. This study will continue to search for feeding strategies with long-term, annual reduction potentials of both methane and ammonia.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/560334> 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, 2021

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 gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
2	Prototyping	13
3	Doelen	14
	3.1 Reductiedoelen 2030	14
	3.2 Referentiewaarden voor de emissie	14
	3.3 Projectdoelen	15
4	Ontwikkelen en verfijnen voerstrategieën	16
	4.1 Werkwijze	16
	4.1.1 Reductieopties	16
	4.1.2 Berekening CH4 emissie	16
	4.1.3 Berekening TAN excretie	17
	4.2 Voyerstrategieën	18
	4.2.1 Bedrijf A (zandgrond)	18
	4.2.2 Bedrijf B (kleigrond)	18
	4.2.3 Bedrijf C (kleigrond)	19
	4.2.4 Bedrijf D (zandgrond)	19
	4.2.5 Bedrijf E (veengrond)	20
5	Demonstreren voerstrategieën	21
	5.1 Algemeen	21
	5.2 Werkwijze	21
	5.2.1 Planning meetperiode	21
	5.2.2 CH4 metingen	22
	5.2.3 Melkcontrole	22
	5.2.4 Geschatte voeropname	22
	5.2.5 Berekende CH4 emissie en TAN excretie	23
	5.3 Resultaten	23
	5.3.1 Bedrijf A (zandgrond)	23
	5.3.2 Bedrijf B (kleigrond)	26
	5.3.3 Bedrijf C (kleigrond)	28
	5.3.4 Bedrijf D (zandgrond)	30
	5.3.5 Bedrijf E (veengrond)	32
6	Evalueren voerstrategieën	35
	6.1 Algemeen	35
	6.2 Bedrijf A	35
	6.3 Bedrijf B	36
	6.4 Bedrijf C	36
	6.5 Bedrijf D	37
	6.6 Bedrijf E	38
7	Vervolg: scenariostudies	39
	7.1 Algemeen	39
	7.2 Bedrijf B (kleigrond)	39

7.3	Bedrijf D (zandgrond)	41
7.4	Bedrijf E (veengrond)	43
8	Discussie en conclusies	45
8.1	Ervaringen ontwikkelen voerstrategieën	45
8.2	Implementeren voerstrategieën	45
8.3	Scenariostudies	46
8.4	Handelingsperspectief	47
	Literatuur	49
Bijlage 1	Algemene bedrijfsgegevens	50
Bijlage 2	Berekende EF rantsoenen bedrijf A	51
Bijlage 3	Berekende EF rantsoenen bedrijf B	52
Bijlage 4	Berekende EF rantsoenen bedrijf C	53
Bijlage 5	Berekende EF rantsoenen bedrijf D	54
Bijlage 6	Berekende EF rantsoenen bedrijf E	55
Bijlage 7	Extra resultaten demonstratie: CH₄ emissie/koe/dag per bedrijf	56
Bijlage 8	Resultaten scenariostudie bedrijf B	58
Bijlage 9	Resultaten scenariostudie bedrijf D	60
Bijlage 10	Resultaten scenariostudie bedrijf E	62

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 Klimaat Envelop.

In het klimaatakkoord staan ambitieuze klimaatdoelen benoemd voor 2030 en 2050. De veehouderij staat voor de opgave om de emissies van methaan en ammoniak in Nederland te verlagen. Een uitdaging die hand in hand moet gaan met werkbare maatregelen in de praktijk. De veehouderij heeft in de afgelopen jaren al flinke stappen gezet om de emissies van broeikasgassen en ammoniak te verminderen en de veehouderij integraal te verduurzamen. Ze zijn er echter nog niet, maar er zijn ook nog meer kansen. Zeker als er voldoende praktijkrijpe maatregelen zijn die concreet aansluiten op de bedrijfsvoering en geen negatief effect hebben op de integrale duurzaamheid, waaronder dierenwelzijn, diergezondheid, weidegang of biodiversiteit. Het programma Integraal Aanpakken is in 2020 gestart om deze kansen te identificeren. 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 noodzakelijke en maatschappelijke opgaven en doelen worden gehaald. De aanpak is erop gericht om veehouderbedrijven in Nederland op elke grondsoort, keuzes te kunnen bieden uit passende maatregelen. Maatregelen die ook de bedrijfsresultaten verbeteren. Meer informatie over het programma kan gevonden worden op de website: <https://www.integraalaanpakken.nl/nl/integraalaanpakken.htm>.

Deze praktijkrapportage is de eerste in een reeks waarin onderzocht wordt of en zo ja, hoe de melkveehouderij de reductiedoelen voor 2030 kunnen halen. Het projectdoel voor 2030 is een reductie van 30% van zowel de methaan- en ammoniakemissie te behalen 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 zestien 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. Dit wordt vervolgens intensief gemonitord en op basis van resultaten continu bijgesteld. Dit proces levert bovenal kennis op voor gebruik in de brede praktijk.

Drs. R.M.A. (Roselinde) Goselink

Afdelingshoofd Diervoeding
Wageningen Livestock Research, Wageningen.

Samenvatting

De melkveehouderij is een belangrijke sector in Nederland voor voedselproductie, de economie en als beheerder van de groene ruimte, maar levert ook een bijdrage aan de emissies van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) in Nederland. In de afgelopen jaren is via onderzoek duidelijk geworden dat er mogelijkheden zijn om de emissies uit de melkveehouderij te verminderen met behoud van het productievolume. Daarvoor is een integrale aanpak nodig met onder andere een gelijktijdige reductie van CH₄ en NH₃ via het voerspoor. Om te onderzoeken of en hoe de emissiereductie via het voerspoor in de praktijk inpasbaar is in de bedrijfsvoering, is vanuit de Klimaat Envelop een project gestart in samenwerking met het project Koeien & Kansen. Het projectdoel voor 2030 is een reductie van 30% van zowel de CH₄ als NH₃ emissie te behalen ten opzichte van het Nederlandse gemiddelde, volgens de KringloopWijzer (KLW) 2018, uitgesplitst naar de grondsoorten zand, klei en veen. Omdat er in 2020 nog geen aanpassingen gedaan konden worden in de eigen (ruw)voerteelt, was het doel voor dit projectjaar een reductie van 20% te realiseren ten opzichte van de KLW gemiddelden in 2018. Dit gaat om absolute reductie; wanneer de emissie is uitgedrukt per kg melk (zoals in de KLW vaak het geval is), is de voorwaarde daarom een gelijkblijvende melkproductie.

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

In deze rapportage staan twee aspecten beschreven van de technische implementatie van de voermaatregelen:

1. Het ontwikkelen en demonstreren van concrete voerstrategieën met 20% (en uiteindelijk 30%) CH₄ en NH₃ reductie voor representatieve praktijkbedrijven uit verschillende regio's (met verschillende grondsoorten). Deze strategieën zijn geïmplementeerd in het bedrijfsmanagement en het effect van die implementatie op de emissies en het implementatieproces zijn gemonitord met behulp van de Greenfeed. Tot slot werden de resultaten op praktische uitvoerbaarheid en emissiereductie geëvalueerd om de strategieën te optimaliseren.
2. De kennis die is opgedaan omzetten in handelingsperspectief voor de gemiddelde (voer)adviseur in de melkveehouderij. Op deze manier ontvangt de (voer)adviseur 'gereedschap' om zelfstandig met de melkveehouder een passende voerstrategie voor het bedrijf op te stellen, daarvan het effect te monitoren, te beoordelen en op basis daarvan weer verder te optimaliseren.

Voor dit project is gebruik gemaakt van prototyping. Bij prototyping wordt de volledige weg van ontwikkeling bestudeerd en worden bedrijfsonderdelen inclusief interacties in samenhang bekeken. Binnen prototyping is vergelijken tussen systemen niet mogelijk, omdat slechts één voerstrategie per bedrijf wordt geïmplementeerd die vervolgens verder ontwikkelt op basis van ervaringen. Voor het ontwikkelen van elke voerstrategie zijn verschillende keuzes gemaakt afhankelijk van het bedrijf en de mogelijkheden. Hierdoor kunnen resultaten niet statistisch worden getoetst. Wel biedt prototyping de mogelijkheid om theoretische modellen te toetsen in de praktijk. Met behulp van bestaande modellen zijn berekeningen gemaakt voor bedrijfsspecifieke situaties met betrekking tot de CH₄ emissie en Totaal Ammoniakaal N (TAN) excretie (als maat voor de NH₃ emissie) op basis van het gevoerde rantsoen. Met deze berekeningen zijn voerstrategieën ontwikkeld die in theorie voldeden aan de gestelde eisen. Deze voerstrategieën zijn geïmplementeerd op vijf melkveebedrijven en onderzocht op effectiviteit en werkbaarheid. De CH₄ emissie van individuele koeien is gemeten met de Greenfeed voor, tijdens en na de voerstrategie en vergeleken met de modelberekeningen. Van hieruit kunnen de voerstrategieën verder doorontwikkeld worden. De resultaten van de metingen zijn steeds vergeleken met de resultaten van de berekeningen, om zo oorspronkelijke aannames en rekenregels te verbeteren.

De reductieopties die (bedrijfsafhankelijk) voorgesteld en geïmplementeerd zijn, waren:

- Bijproducten met een hoge emissiefactor vervangen door bijproducten met een lage emissiefactor.
- De emissiefactor van het krachtvoer verlagen, door andere grondstoffen te gebruiken en/of het vetgehalte te verhogen.
- Het toevoegen van (pensbestendig) vet aan het rantsoen.
- Minder ruwvoer in het rantsoen (dus meer krachtvoer voeren).
- Minder grassilage in het ruwvoer (dus meer maissilage).

De vijf bedrijven hadden volgens de KWL 2018 gemiddeld al een 6 tot 23% lagere CH₄ emissie (per kg melk) ten opzichte van het Nederlands gemiddelde op die grondsoort, en een 4 tot meer dan 35% lagere TAN excretie (per kg melk). Op vier van de vijf bedrijven was het vervolgens mogelijk om nog eens 7-15% reductie te realiseren voor CH₄ op basis van de modelberekeningen. Zij haalden hierdoor volgens de berekeningen ten opzichte van het Nederlands gemiddelde (per kg melk) 20% reductie of meer. Tegelijkertijd werd de TAN excretie niet of nauwelijks beïnvloed. Voor twee bedrijven daalde de TAN excretie zelfs met 7-13%. Vier bedrijven haalden hiermee de reductiedoelen voor de NH₃ emissie. De grootste CH₄ reductie werd gehaald door het toevoegen van extra vet aan het rantsoen (van circa 3,5% naar 5,5% op basis van het droge stof gehalte van het rantsoen). Op het bedrijf waar de meeste reductie werd gehaald, werd maissilage met een lage emissiefactor gevoerd. Op het vijfde bedrijf was het toevoegen van puur vet aan het rantsoen geen optie, omdat dit niet aansloot bij de visie van deze melkveehouder. Vet afkomstig van palmolie voldeed volgens de melkveehouder niet aan de duurzame veehouderij en kringlooplandbouw visie van het bedrijf. Hierdoor werd op dit bedrijf een lagere reductie (minder dan 5%) gehaald dan mogelijk. Ondanks dat realiseerde het bedrijf een 20% lagere CH₄ productie en een 30% Lagere TAN excretie per kg melk ten opzichte van het Nederlands gemiddelde. Het sturen van de ruwvoer kwaliteit naar een lagere emissiefactor zal vermoedelijk de grootste effecten gaan opleveren, maar zal ook de grootste inspanning vragen. Deze eerste prototyping ronde liet zien dat het bereiken van 20% CH₄ reductie gedurende een korte periode werd gerealiseerd. Opschalen naar een jaarrond emissiereductie zal verdere ontwikkeling van de bedrijfsvoering vragen, wat in kaart wordt gebracht via het prototyping model.

Op twee bedrijven konden geen conclusies worden getrokken uit de bevindingen. De metingen vonden plaats tijdens een hittegolf, waardoor de voeropname en melkgiften niet stabiel waren. Op twee bedrijven werd een CH₄ reductie van 9-12% gemeten. Dit kwam overeen met (of was iets lager dan) de modelmatig geschatte reductie. Op het bedrijf waar geen vet toegevoegd werd, werd geen effect van de voerstrategie gemeten, maar het beoogde effect van de voerstrategie was ook kleiner dan de meetfout van de Greenfeed. Opvallend was dat de modelmatig berekende CH₄ emissie (per kg DS opname) op drie van de vijf bedrijven circa 10-20% lager was dan de gemeten emissie. Het model heeft de emissiefactor van de rantsoenen in deze gevallen mogelijk niet goed geschat. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of er rantsoeneigenschappen zijn die hier verantwoordelijk voor zijn.

Naast het ontwikkelen en implementeren van de voerstrategieën, is in 2020 een verkennende scenariostudie gedaan voor drie van de vijf bedrijven (één op zand, één op klei en één op veen). Gekeken is welke CH₄ reductie op korte termijn en welke op lange termijn mogelijk is. Uit de studie blijkt dat op korte termijn ongeveer 10% extra CH₄ reductie mogelijk is ten opzichte van het bedrijfsresultaat van 2019 door voermaatregelen. Wanneer op langere termijn teelmaatregelen zouden leiden tot fors lagere emissiefactoren van gras- en maissilage, lijkt meer dan 20% reductie mogelijk op de drie bedrijven. Voor sommige bedrijven zullen deze maatregelen echter negatieve economische gevolgen hebben.

De belangrijkste bevindingen van het eerste jaar van deze praktijkimplementatie zijn:

- Zonder het toevoegen van extra vet aan het rantsoen is de reductiepotentie een stuk lager, hoewel het effect van vet mogelijk minder groot is dan in eerste instantie gedacht werd.
- Het toevoegen van palmolie, het meest gebruikte product voor pensbestendig vet, strookt volgens verschillende veehouders niet met hun visie over duurzame veehouderij en kringlooplandbouw, waarbij de focus ligt op lokale producten die geen negatief effect hebben op het milieu (e.g. geen ontbossing, hoge CO₂ footprint).

-
- Het in de praktijk voeren van laag emissie rantsoenen en het meten van het reductie effect levert naast kennis en inzicht ook vragen op waar rekening mee gehouden moet worden voordat de voerstrategieën in de brede praktijk geïmplementeerd kunnen worden:
 - o De ervaringen van het voeren van extra vet lopen uiteen: In de zomer werd het voeren van extra vet als positief ervaren door het mogelijk voorkomen van gevolgen van hittestress. Voor andere bedrijven werd het als negatief ervaren door het verhogen van de C16:0 vetzuren in de melk (niet gewenst door melkafnemer) of doordat het niet past binnen de kringlooplandbouw visie van het bedrijf.
 - o Het voeren van een brok met een hoger vetgehalte leidt tot een zachtere brok die sneller uit elkaar valt, wat kan leiden tot meer verspilling en kans op brugvorming in de silo. De hoeveelheid vet die toegevoegd kan worden aan een brok is hierdoor beperkt.
 - o Krachtvoer met een lage emissiefactor kan relatief eenvoudig geproduceerd worden. Echter, de kosten van de brok kunnen daardoor oplopen (binnen deze implementatie tussen de 3 en 7 euro per 100 kg krachtvoer), wat bedrijfseconomisch ongunstig is.
 - o Naast hogere mengvoerkosten kan het aanpassen van de voerstrategie ook leiden tot het gebruik van andere, duurdere voedermiddelen. Voor brede praktijkimplementatie is bedrijfseconomische duurzaamheid essentieel, zodat een ander verdienmodel (of subsidies) gewenst lijkt.
 - o Bijproducten met een lage emissiefactor zoals rapzaadschroot en bierbostel zijn in beperkte hoeveelheden beschikbaar. Wanneer veel melkveebedrijven deze bijproducten willen voeren, zal er een tekort van deze producten ontstaan.

Deze rapportage beschrijft één prototyping ronde. Voyerstrategieën zijn ontwikkeld, toegepast en geëvalueerd. Op basis daarvan zijn scenariostudies uitgevoerd om te kijken wat nog meer mogelijk is op het bedrijf. De belangrijkste conclusie is dat er binnen de veehouderij een reductiepotentie is, maar dat niet alle maatregelen toepasbaar zijn op elk bedrijf. Het *one size fits all* principe is niet toepasbaar, omdat er veel variatie tussen bedrijven bestaat. Veehouders willen op hun eigen manier en binnen bepaalde persoonlijke kaders aan de verschillende maatschappelijke doelen voldoen. Daarbij is de integrale aanpak essentieel, omdat een maatregel positief voor het ene en tegelijkertijd negatief voor een ander maatschappelijk doel kan werken. De grootste uitdaging is dan ook 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, eiwit van eigen land en de derogatie voorwaarden. 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. Ergens zullen deze kosten gecompenseerd moeten worden, zodat de sector rendabel blijft.

De volgende prototyping ronde in dit project zal zich richten op welke stappen er nu op deze bedrijven genomen kunnen worden om via de voerstrategie tot een jaarrond lagere CH₄ en NH₃ emissie te komen. Wellicht kunnen er aanpassingen gedaan worden aan de ruwvoerteelt waarvan in de komende jaren het effect gemeten kan worden. Hiervoor is de in de Klimaat Envelop georganiseerde samenwerking tussen praktijk en onderzoek nodig, omdat het momenteel nog onduidelijk is welke aanpassingen aan het (ruw)voer gedaan moeten worden om de emissiefactoren gunstig te beïnvloeden. De focus zal daarbij liggen op het integraal aanpakken van de reductie op het melkveebedrijf en op het verbeteren van de modellen die de CH₄ emissie op het bedrijf schatten.

1 Inleiding

De melkveehouderij is een belangrijke sector in Nederland met circa 16.000 bedrijven en veel indirecte werkgelegenheid bij dienstverleners en in de toeleverende en verwerkende industrie. Daarnaast heeft de sector, vanwege de grondpositie, een belangrijke rol als beheerder van de groene ruimte. Het is daarom belangrijk het productievolume van de melkveehouderij te behouden. Echter, de melkveehouderij levert ook een belangrijke bijdrage aan de emissies van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) in Nederland. De totale CH₄ emissie in Nederland is 17,3 Megaton (MT) koolstofdioxide equivalenten (CO₂-eq.). Hiervan is 12,1 MT CO₂-eq. afkomstig uit de agrarische sector en daarvan is weer 7,4 MT CO₂-eq. afkomstig van enterische CH₄ emissie (CH₄ afkomstig uit de spijsvertering) van melkkoeien (Ruysenaars *et al.*, 2020). Van de totale NH₃ emissie in Nederland is het overgrote deel (circa 90%) afkomstig uit de agrarische sector. De voorlopige schatting van de NH₃ emissie in 2018 is volgens de College Deskundigen Meststoffenwet (CDM) 113,4 kiloton NH₃ uit de agrarische sector, waarvan circa de helft is toe te schrijven aan de melkveehouderij. In de afgelopen jaren is via onderzoek duidelijk geworden dat er mogelijkheden zijn om de emissies uit de melkveehouderij te verminderen met behoud van het productievolume (Šebek *et al.*, 2014).

De CH₄ emissie is gekoppeld aan de koolstofkringloop en de NH₃ emissie aan de stikstofkringloop. Dat maakt een gelijktijdige reductie van beide complex. Een geïntegreerde aanpak van zowel dier-specifieke karakteristieken als rantsoensamenstelling en -kwaliteit moet leiden tot een reductie van beide zonder negatieve afwentelingen op andere maatschappelijke doelen. De bestaande kaders en doelen op het gebied van onder andere milieu, koeien in de wei, biodiversiteit, dierenwelzijn en diergezondheid, zijn daarom randvoorwaarden.

De integrale aanpak van CH₄ en NH₃ levert handelingsperspectief voor de reductie van beide aan melkveehouders. Om te onderzoeken of en hoe de emissiereductie via het voerspoor in de praktijk inpasbaar is in de bedrijfsvoering, is vanuit de Klimaat Envelop een project gestart in samenwerking met het project Koeien & Kansen. Het projectdoel voor 2030 is een reductie van 30% van zowel de CH₄ als NH₃ emissie te behalen ten opzichte van het Nederlandse gemiddelde (volgens de KringloopWijzer (KLW) 2018) uitgesplitst naar de grondsoorten zand, klei en veen. Omdat er in 2020 nog geen aanpassingen gedaan konden worden in de eigen (ruw)voerteelt, was het doel voor dit projectjaar een reductie van 20% te realiseren ten opzichte van de KLW gemiddelden in 2018 (de absolute emissie in 2018 is ongeveer gelijk aan die van 1990). Deze reductie is gebaseerd op de theoretische reductiepotentie die in de praktijk gehaald zou moeten kunnen worden, zoals beschreven in Šebek *et al.* (2014). Hierin staat dat via het voerspoor een theoretische reductie is berekend van maximaal 37% via rantsoensamenstelling en voeropnameniveau, en dat de helft van deze theoretische potentie (≈ 20%) in de praktijk haalbaar is.

Het project richt zich primair op de technische aspecten van het implementeren van reductiemaatregelen in het bedrijfsmanagement. Secundair worden de integrale effecten van aanpassing in het bedrijfsmanagement gemonitord en geëvalueerd. In deze rapportage staan twee aspecten beschreven van de technische implementatie van de voermaatregelen:

1. Het ontwikkelen en demonstreren van concrete voerstrategieën met 20% CH₄ en NH₃ reductie voor representatieve praktijkbedrijven uit verschillende regio's (met verschillende grondsoorten).
2. De kennis die wordt opgedaan in het vorige doel omzetten in handelingsperspectief voor de gemiddelde (voer)adviseur in de melkveehouderij. Op deze manier ontvangt de (voer)adviseur 'gereedschap' om zelfstandig met de melkveehouder een passende voerstrategie voor het bedrijf op te stellen, daarvan het effect te monitoren, te beoordelen en op basis daarvan weer verder te optimaliseren.

De onderzoeksmethode die in dit project gebruikt is heet prototyping. Bij prototyping wordt de volledige weg van ontwikkeling bestudeerd en worden bedrijfsonderdelen inclusief interacties in samenhang bekeken. Zoals beschreven in het proefschrift van Aarts (2000), wordt op deze manier theoretische kennis omgezet naar praktijktoetsing, om te voorkomen dat er in de theorie te lang tijd wordt besteed aan elementen die in de praktijk minder belangrijk blijken of *vice versa*.

Met behulp van bestaande modellen zijn berekeningen gemaakt voor bedrijfsspecifieke situaties met betrekking tot de CH₄ emissie en Totaal Ammoniakaal N (TAN) excretie (als maat voor de NH₃ emissie) op basis van het gevoerde rantsoen. Met deze berekeningen zijn voerstrategieën ontwikkeld die in theorie voldeden aan de gestelde eisen. Deze voerstrategieën zijn vervolgens geïmplementeerd op vijf melkveebedrijven en onderzocht op effectiviteit en werkbaarheid. Van hieruit kunnen de voerstrategieën dan verder doorontwikkeld worden. De CH₄ emissie is hiervoor gemeten met de Greenfeed zowel voor, tijdens als na de implementatie van de voerstrategie. Op deze manier kon de CH₄ emissie tijdens de voerstrategie vergeleken worden met de basissituatie van dat bedrijf op dat moment. De resultaten van de metingen zijn steeds vergeleken met de resultaten van de berekeningen, om zo oorspronkelijke aannames en rekenregels te verbeteren.

Binnen prototyping is vergelijken tussen systemen niet mogelijk, omdat slechts één voerstrategie per bedrijf wordt geïmplementeerd (per keer) dat zich bovendien verder ontwikkelt op basis van ervaringen. Voor het ontwikkelen van elke voerstrategie zijn verschillende keuzes gemaakt afhankelijk van het bedrijf en de mogelijkheden. Hierdoor kunnen resultaten niet statistisch worden getoetst. Desalniettemin kan eerder experimenteel onderzoek gebruikt worden om de resultaten te verklaren en kunnen resultaten ook weer leiden tot nieuw experimenteel onderzoek.

In hoofdstuk 2 wordt prototyping nader beschreven, met de stappen die genomen worden: doel, ontwikkeling, implementatie, evaluatie. De hoofdstukken 3, 4, 5 en 6 beschrijven vervolgens deze stappen. Hoofdstuk 7 beschrijft de start van een nieuwe prototyping ronde: het doorontwikkelen van de voerstrategie in de vorm van scenariostudies. Ten slotte volgt de discussie. Deze praktijkrapportage maakt deel uit van een rapportagereeks, waarvan dit de eerste is. In deze reeks zullen verschillende prototyping rondes worden gerapporteerd om te laten zien of en hoe de reductiedoelen gehaald kunnen worden.

2 Prototyping

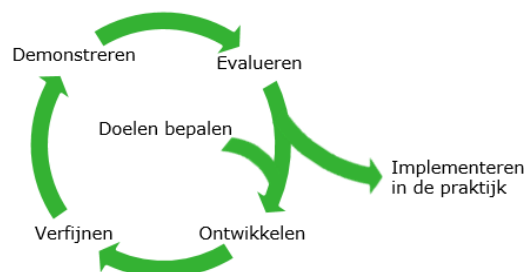
Prototyping is een procedure waarbij een product of proces, in dit geval een voerstrategie, in een vroeg stadium van de ontwikkelingsfase wordt getest in de praktijk (Aarts, 2000). Op deze manier kan het product een proces van ontwikkelen, verbeteren en uitproberen doormaken alvorens deze grootschalig in de praktijk toegepast wordt (figuur 2.1). Dit proces begint met het bepalen van het doel van de voerstrategieën (hoofdstuk 3), om vervolgens deze voerstrategieën te ontwikkelen en verfijnen (hoofdstuk 4), deze te testen/demonstreren op een bedrijf (hoofdstuk 5), om naar aanleiding daarvan de voerstrategie te evalueren (hoofdstuk 6) en door te ontwikkelen (hoofdstuk 7). In theorie zal een voerstrategie net zolang deze spiraal volgen totdat deze voldoet aan de gestelde doelen, waarna hij grootschalig geïmplementeerd kan worden in de praktijk.

Belangrijke aspecten komen zo snel aan het licht, zodat hierop gereageerd kan worden met een verbeterd eindresultaat tot gevolg. Twee belangrijke aspecten van de voerstrategie die op deze manier getest kunnen worden, zijn 1) het effect van de voerstrategie op de CH₄ en NH₃ reductie in de praktijk en 2) de werkbaarheid van de voerstrategie voor veehouders en adviseurs.

Het effect van verschillende voedermiddelen op de CH₄ emissie en TAN excretie is veelvuldig onderzocht in experimenteel onderzoek. Op basis van experimenteel onderzoek zijn modellen ontwikkeld die gebruikt worden voor de nationale berekeningen van de emissie in de praktijk. Deze berekeningen zijn aangepast voor gebruik op bedrijfsniveau en opgenomen in de KLW. De berekeningen voor de TAN excretie zijn beschreven door Van Dijk *et al.* (2019) en RVO (2019) en specifiekere rekenregels voor de enterische CH₄ emissie door Šebek *et al.* (2016). Deze berekeningen zijn gebruikt voor het ontwikkelen van voerstrategieën gericht op het verlagen van de emissie. Bedrijven kunnen echter enorm van elkaar verschillen op het gebied van locatie, grondsoort, management, productie, rantsoen, ruwvoer kwaliteit etc. Deze variatie is niet in experimenteel onderzoek aanwezig, maar wel in de praktijk en kan invloed hebben op het effect van een voerstrategie. Een praktijktoets is daarom van belang, om vast te stellen of het beoogde effect van de voerstrategie volgens de berekeningen gehaald wordt in de praktijk.

In experimenteel onderzoek wordt niet altijd rekening gehouden met de werkbaarheid in de praktijk, terwijl dat voor de eindgebruikers wel van belang is. Aspecten die hier een belangrijke rol spelen zijn onder andere de beschikbaarheid, prijs, duurzaamheid, structuur en voederwaarde van grondstoffen en/of het totale rantsoen. Dit zijn aspecten die aan bod zullen komen tijdens de evaluatie na implementatie van de voerstrategie.

Deze rapportage bevat één prototyping ronde, komende jaren worden de voerstrategieën verder ontwikkeld, verfijnd en gedemonstreerd (en gerapporteerd) tot het doel bereikt is en de kennis/voerstrategieën geïmplementeerd kunnen worden in de praktijk.



Figuur 2.1 Schematische weergave van het prototyping proces. Het proces begint met het bepalen van het doel van het product, in dit geval een voerstrategie. 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 praktijk.

3 Doelen

3.1 Reductiedoelen 2030

In het klimaatakkoord dat Nederland in 2015 tekende staan doelen beschreven voor de reductie van broeikasgassen om de opwarming van de aarde tegen te gaan. Volgens internationale afspraken heeft de Nederlandse overheid de opdracht om de nationale broeikasgasuitstoot met 49% te verlagen in 2030 ten opzichte van het referentiejaar 1990. Om dit te bereiken zijn er voor verschillende sectoren specifieke doelen gesteld. Dit zijn doelen voor extra reductie op de reductie die al geacht gehaald te worden door het huidige klimaatbeleid. Voor de melkveehouderij is er voor CH₄ een reductieopgave geformuleerd van 0,8 MT CO₂-equivalenten ten opzichte van 2017.

Naast afspraken over de broeikasgasemissies zijn er ook internationale afspraken gemaakt over de emissie en depositie van stikstof (N) ter bescherming van de natuur, biodiversiteit en gezondheid. Dat is gereguleerd via Europese richtlijnen, die in de Nederlandse wet- en regelgeving zijn geïmplementeerd. In mei 2019 heeft de Raad van State geoordeeld dat het Nederlandse beleid onvoldoende borgt dat voor de Natura 2000-gebieden aan de EU richtlijnen wordt voldaan. Zolang dit voortduurt, zijn de mogelijkheden voor het vergunnen van activiteiten waarbij stikstof wordt uitgestoten sterk beperkt.

De NH₃ emissies uit de landbouw zijn van grote betekenis voor de depositie op de Natura 2000-gebieden en de Langetermijnverkenning stikstofproblematiek (Paul, 2021) laat zien dat een aanzienlijke verdere reductie van de landbouwemissie noodzakelijk is om aan de vereisten van de EU-richtlijnen voor zorgvuldig natuurbeheer te kunnen blijven voldoen. Daarom zijn pakketten samengesteld voor de landbouwsector die resulteren in een NH₃ emissiereductie van 30, 50 en 70% in 2030 ten opzichte van 1990. Vooralnog wordt gestuurd op 30% reductie, omdat een reductie van 50% (of meer) alleen realiseerbaar is in een combinatie van technische maatregelen en een dalend volume van de veestapel, in het bijzonder van het melkvee.

Er wordt vanuit de Klimaat Envelop dan ook gestuurd op een geïntegreerde aanpak van CH₄ en NH₃ via het voer- en dierspoor. Deze reductiedoelen moeten uiteindelijk gehaald worden. Dit project tracht hier een bijdrage aan te leveren.

3.2 Referentiewaarden voor de emissie

Voor het project zijn de 2030 doelen uitgedrukt als een procentuele reductie van 30% voor zowel CH₄ als TAN, waarbij als referentiewaarde het Nederlands gemiddelde (volgens de KLV 2018) voor de grondsoorten klei, zand en veen is genomen. De referentiewaarde minus 30% geeft absolute waarden (in kg per bedrijf) voor de emissies die in 2030 gerealiseerd moeten worden. Deze emissiewaarden hebben betrekking op de emissie van de gehele veestapel, dus inclusief droge koeien en bijbehorend jongvee. Voor de herkenbaarheid en 'maatgevoel' bij melkveehouders en periferie zijn de absolute emissie uitgedrukt als emissie per 1000 kg melk (tabel 3.1), onder uitdrukkelijke vermelding dat de getallen per 1000 kg melk alleen van toepassing zijn bij een gelijkblijvende melkproductie. Het onderscheid in grondsoorten is gemaakt, omdat emissieniveau en reductiepotenties hier afhankelijk van kunnen zijn.

Tabel 3.1 Gemiddelde CH₄ en TAN excretie in Nederland per grondsoort volgens de KLW van 2018 en reductiedoelen voor 2030. Dit zijn jaarrond gemiddelden voor de gehele veestapel, inclusief droogstand en jongvee.

Grondsoort	CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	20% reductie	30% reductie	TAN excretie (kg TAN/1000 kg melk)	20% reductie	30% reductie
Zand	18,2	14,6	12,7	9,5	7,6	6,7
Klei	20,5	16,4	14,3	10,8	8,6	7,5
Veen	19,7	15,8	13,8	11,6	9,3	8,1
Totaal NL	18,9	15,1	13,2	10,3	8,2	7,2

3.3 Projectdoelen

De voor het project opgestelde reductiedoelen laten zien waar we momenteel staan en waar we uiteindelijk naartoe moeten. Deze doelen kunnen niet in één jaar gehaald worden. Het zal een stapsgewijze aanpak vragen om (onder andere) managementsystemen en voedermiddelen te onderzoeken die het gewenste resultaat tot gevolg hebben. Bovendien kost implementatie in de praktijk tijd. Binnen dit meerjarenproject zullen tussentijds rapportages worden opgeleverd die de tussenstand weergeven. Deze rapportage is de eerste van de reeks. Zoals beschreven wordt in hoofdstuk 4.1, was het dit jaar nog niet mogelijk om de kwaliteit van de ruwvoerders aan te passen. Een CH₄ reductie van 20% zonder de TAN excretie (negatief) te beïnvloeden werd daarom als geslaagd beschouwd. Deze reductie is gebaseerd op de theoretische reductiepotentie die in de praktijk gehaald zou moeten kunnen worden, zoals beschreven in Šebek *et al.* (2014). Hierin staat dat via het voerspoor een theoretische reductie is berekend van maximaal 37% via rantsoensamenstelling en voeropnameniveau, en dat de helft van deze theoretische potentie (\approx 20%) in de praktijk haalbaar is.

Het volgende hoofdstuk beschrijft de ontwikkelde voerstrategieën die volgens modelberekeningen voldeden aan de projectdoelen. Deze strategieën zijn geïmplementeerd in het bedrijfsmanagement en het effect op de emissie is gemonitord. Tot slot zijn de resultaten op praktische uitvoerbaarheid en emissiereductie geëvalueerd om de strategieën te optimaliseren. Een tweede belangrijke doel was de kennis die is opgedaan omzetten in handelingsperspectief voor de gemiddelde (voer)adviseur in de melkveehouderij. Met deze kennis zou een (voer)adviseur zelfstandig met de melkveehouder een passende voerstrategie voor het bedrijf moeten kunnen implementeren.

4 Ontwikkelen en verfijnen voerstrategieën

4.1 Werkwijze

4.1.1 Reductieopties

Vanuit een bestaande voerstrategie kunnen een aantal stappen genomen worden om de enterische CH₄ emissie te verminderen. De volgorde van de stappen is in principe willekeurig, maar de weergegeven volgorde wordt door veel veehouders en bedrijfsadviseurs als logisch ervaren.

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.
6. De kwaliteit van de ruwvoeders aanpassen.

Het aanpassen van de kwaliteit van de (zelf geteelde) ruwvoeders (stap 6) vraagt aanpassingen in de (ruw)voerteelt en dat kost tijd. Daarom was het binnen dit deelproject nog niet mogelijk om aanpassingen door te voeren in de eigen teelt. Wanneer dit jaar iets gewijzigd wordt in de ruwvoerteelt, is dat op zijn vroegst volgend jaar pas zichtbaar/meetbaar. De focus van het ontwikkelen van de voerstrategie lag daarom met name op het aanpassen van de bijproducten en mengvoedersamenstelling (stap 1 t/m 5).

Per bedrijf (zie bijlage 1 voor de algemene bedrijfsgegevens) is per onderdeel gekeken of het reductiedoel behaald werd zonder in te leveren op de nutritionele waarde van het rantsoen. In principe werd gestreefd naar een maximale reductie, met als streefwaarde het projectdoel van 30% emissiereductie ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de KLV 2018. Echter, omdat in deze eerste prototyping ronde nog geen aanpassingen zijn gedaan in de kwaliteit van de ruwvoeders, werd een reductie van 20% (maximale theoretische reductie in de praktijk op basis van Šebek *et al.* (2014)) als geslaagd beschouwd. Dit projectdoel vertaalt zich voor het ontwikkelen van voerstrategieën naar een EF in g CH₄/kg DS. Om dit te kwantificeren, is er gekozen om te streven naar een EF van 15,8 g CH₄/kg DS bij 21 kg DS opname.

4.1.2 Berekening CH₄ emissie

Om het theoretische effect van elke aanpassing te controleren, 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 algemene EF-lijsten.
2. Correctie van het aandeel snijmaissilage in het rantsoen.
3. Correctie van 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 is bepaald en geleverd door de mengvoerfabrikant.
6. Correctie voor het vetpercentage van het totale rantsoen¹.

Op basis van de EF per voedermiddel kan er op bedrijfsniveau een gewogen gemiddelde berekend worden voor de CH₄ emissie per kg DS van dat rantsoen. Zowel de EF van het basisrantsoen als het ontwikkelde rantsoen is berekend. Op basis van de bedrijfsspecifieke K LW 2019 ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de K LW 2018 (van de grondsoort waar dat bedrijf ook op staat), is bepaald wat de bedrijfsspecifieke reductie was. De reductiepotentie van het ontwikkelde rantsoen is vervolgens bepaald ten opzichte van het basisrantsoen dat vier weken ervoor is gevoerd. Er werden net zoveel aanpassingen gedaan tot het reductiedoel behaald werd, tenzij er geen opties meer over waren. Aanpassingen aan het rantsoen werden continu gecontroleerd door de voeradviseur, om te waarborgen dat het ontwikkelde rantsoen voldeed aan de nutritionele eisen voor melkgevende koeien.

4.1.3 Berekening TAN excretie

De TAN excretie 'onder de staart' bestaat uit de uitgescheiden N via urine.

$$TAN = N_{urine}$$

De N-urine wordt berekend als het verschil tussen de verteerde en door de darm opgenomen N en de in lichaamsweefsel plus melk vastgelegde N.

$$N_{urine} = N_{verteerd\ en\ opgenomen} - N_{vastlegging\ lichaamsweefsel\ en\ melk}$$

De verteerde N wordt berekend met behulp van de N-verteerbaarheid (verteerbaarheid ruw eiwit) door de hoeveelheid opgenomen N via voer te vermenigvuldigen met de verteringscoëfficiënt van het ruw eiwit (VC-RE). De VC-RE van het rantsoen wordt berekend als het gewogen gemiddelde van de VC-RE van de afzonderlijke voercomponenten. De VC-RE van de verstrekte voedermiddelen is een gemiddelde uit de voedertabellen van het Centraal Veevoeder Bureau (CVB, 2016).

$$N_{urine} = (N_{voer} * VC_{RE}) - N_{vastlegging\ lichaamsweefsel\ en\ melk}$$

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 wordt berekend door de melkproductie (kg) te vermenigvuldigen met het N-gehalte van de melk (g/kg).

Bovenstaande stappen geven samen de volgende rekenregel:

$$TAN = N_{urine} = N_{verteerd\ en\ opgenomen} - N_{vastlegging\ lichaamsweefsel\ en\ melk} = (N_{voer} * VC_{RE}) - N_{vastlegging}$$

Waarbij:

TAN = Totaal Ammoniakale 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 (lichaamsweefsel) en in melk

VC-RE = de verteringscoëfficiënt van ruw eiwit in voer.

¹ Deze rekenregel staat niet beschreven in Sebek *et al.* (2016), maar uit nog niet gepubliceerd onderzoek blijkt dat extra vet toevoegen aan het rantsoen de CH₄ emissie verlaagd. Per 1% extra vet boven de 3,5% vet van het totale rantsoen reduceert de enterische CH₄ emissie met 15,5 g CH₄/koe/dag. Dit is bovenop de reductie die vet al realiseert met een negatieve EF.

4.2 Voerstrategieën

4.2.1 Bedrijf A (zandgrond)

Volgens de KWL data van 2019 was de gemiddelde CH₄ productie van bedrijf A 17,0 g CH₄/kg melk en de TAN excretie 9,1 g/kg melk. Het rantsoen van de uitgangssituatie had een EF van 17,9 g CH₄/kg DS bij een DS opname van 22,8 kg. Het doel voor dit bedrijf was om dit terug te brengen naar 16,9² g CH₄/kg DS met een TAN excretie van 7,6 g/kg melk. Dat is een CH₄ reductie van 6%, waarbij de TAN excretie niet mag toenemen, en idealiter zelfs afneemt met 16%.

De meetperiode op dit bedrijf heeft plaatsgevonden van mei tot en met september 2020. Het basisrantsoen (gemiddeld voor deze periode) bestond uit weidegras, grasbalen, snijmaissilage en krachtvoer. De reductieopties die voorgesteld zijn:

1. De EF van het krachtvoer met 25% verlagen. Dit werd bereikt door het vetgehalte van het krachtvoer te verhogen van 4,5% naar 7,8%.
2. Het toevoegen van pensbestendig vet (*MilkPower*) in het rantsoen, zodat het vetgehalte van het rantsoen verhoogd werd van 3,7% naar 5,1%.
3. Geplette tarwe met een EF van 19,8 g CH₄/kg DS vervangen door geplette mais met een EF van 12,8 g CH₄/kg DS. Deze aanpassing is uiteindelijk niet uitgevoerd, omdat dit niet nodig was om het doel te bereiken.

Het rantsoen is meerdere malen aangepast totdat het voldeed aan de nutritionele eisen. De berekende EF van het ontwikkelde rantsoen was 16,7 g CH₄/kg DS, een reductie van 6,7%. Dit voldeed aan de gestelde doelen en er is gekozen om dit ontwikkelde rantsoen toe te passen op het bedrijf (hoofdstuk 5).

4.2.2 Bedrijf B (kleigrond)

Volgens de KWL data van 2019 was de gemiddelde CH₄ productie van bedrijf B 17,4 g CH₄/kg melk en de TAN excretie 10,1 g/kg melk. Het rantsoen van de uitgangssituatie had een EF van 18,7 g CH₄/kg DS bij een DS opname van 22,0 kg. Het doel voor dit bedrijf was om dit terug te brengen naar 16,9² g CH₄/kg DS met een TAN excretie van 8,6 g/kg melk. Dat is een CH₄ reductie van circa 10%, waarbij de TAN excretie niet mag toenemen, en idealiter zelfs afneemt met 14%.

De meetperiode op dit bedrijf heeft plaatsgevonden van mei tot en met augustus 2020. Het basisrantsoen (gemiddeld voor deze periode) bestond uit weidegras, grassilage, snijmaissilage, aardappelen, sorghum en krachtvoer. De reductieopties die voorgesteld zijn:

1. De EF van het krachtvoer met circa 10% verlagen van EF=18 naar EF=16 g CH₄/kg DS.
2. Het toevoegen van pensbestendig vet in het rantsoen, zodat het vetgehalte van het rantsoen verhoogd werd van 3,2% naar 5,7%.
3. Het vervangen van een deel van het krachtvoer met een EF>18 g CH₄/kg DS door geplette mais met een EF van 12,8 g CH₄/kg DS. Deze aanpassing is niet ingevoerd in verband met de nutritionele eisen van het rantsoen.
4. De bijproducten sorghum en aardappelen met een EF>19 g CH₄/kg DS vervangen door een combinatie van bierbostel en tarwegistconcentraat (*Protiplus*) met EF=16,8 g CH₄/kg DS.
5. Het aandeel grassilage in het ruwvoer verlagen, door dit te vervangen door bijproducten als geplette mais en bierbostel. Deze aanpassing is niet ingevoerd in verband met de nutritionele eisen van het rantsoen. Wel is het aandeel grassilage in het ruwvoer iets verlaagd door het aandeel maissilage in het ruwvoer te verhogen met circa 11%.

Zoals hierboven beschreven zijn niet alle voorgestelde reductieopties overwogen voor uitvoering, omdat het rantsoen dan niet voldeed aan de nutritionele eisen. De voerstrategie die uiteindelijk verder is uitgewerkt voldeed aan de nutritionele eisen en had een berekende EF van 15,6 g CH₄/kg DS. Dat is

² Voor de eerste twee bedrijven (bedrijf A en B) is er gekozen voor een iets minder ambitieus doel van 16,9 g CH₄/kg DS, voor de laatste drie bedrijven (bedrijf C, D en E) is gekozen voor 20% reductie t.o.v. het Nederlands gemiddelde, dus 15,8 g CH₄/kg DS.

een reductie van 14,8%. Er is gekozen om dit ontwikkelde rantsoen toe te passen op het bedrijf (hoofdstuk 5).

4.2.3 Bedrijf C (kleigrond)

Volgens de K LW data van 2019 was de gemiddelde CH₄ productie van bedrijf C 15,7 g CH₄/kg melk en de TAN excretie 7,9 g/kg melk. Het rantsoen van de uitgangssituatie had een EF van 18,0 g CH₄/kg DS bij een DS opname van 23,7 kg. Met een reductie van 20% ten opzichte van het Nederlands gemiddelde (volgens de K LW 2018) zou het rantsoen een EF moeten hebben van 15,8 g CH₄/kg DS met een TAN excretie van 8,6 g/kg melk. Dat betekent dat voor dit bedrijf de CH₄ emissie moet dalen met nog circa 12%, voor de TAN excretie is het doel van 20% reductie al gehaald. Dat is de streefwaarde, waarbij de TAN excretie niet mag toenemen, en idealiter zelfs afneemt met 3% (zodat de 30% reductie wordt gehaald).

De meetperiode op dit bedrijf heeft plaatsgevonden van september 2020 tot en met februari 2021 (we hebben hier langer doorgemeten dan bij de andere bedrijven). Het basisrantsoen (gemiddeld voor deze periode) bestond uit grassilage, snijmaissilage, bestendige soja, bierbostel en krachtvoer. De reductieopties die voorgesteld zijn:

1. Het toevoegen van pensbestendig vet in het rantsoen, zodat het vetgehalte van het rantsoen verhoogd wordt van 3,4% naar 5,6%.
2. De bijproducten soja en sodagrain met een EF > 18,2 g CH₄/kg DS vervangen door raapzaadschroot, maismeel en extra bierbostel. Deze bijproducten hebben een EF < 17,4 g CH₄/kg DS.
3. Het aandeel ruwvoer in het rantsoen verminderen en het aandeel snijmaissilage in het ruwvoer verhogen. Dit wordt bereikt door de hoeveelheid grassilage met 1,3 kg DS te verlagen en de krachtvoergift met 0,8 kg DS te verhogen. Om voldoende structuur in het rantsoen te behouden wordt 0,4 kg DS graszaadhooi met EF = 17 g CH₄/kg DS toegevoegd. Het aandeel snijmaissilage in het ruwvoer stijgt hierdoor van 22% naar 23%.

Met deze reductieopties is een voerstrategie ontwikkeld met een berekende EF van 15,4 CH₄/kg DS bij een DS opname van 23,7 kg. Dat is een reductie van circa 12,7%. Er is gekozen om dit ontwikkelde rantsoen toe te passen op het bedrijf (hoofdstuk 5).

4.2.4 Bedrijf D (zandgrond)

Volgens de K LW data van 2019 was de gemiddelde CH₄ productie van bedrijf D 17,1 g CH₄/kg melk en de TAN excretie 7,6 g/kg melk. Het rantsoen van de uitgangssituatie had een EF van 19,8 g CH₄/kg DS bij een DS opname van 21,7 kg. Met een reductie van 20% ten opzichte van het Nederlands gemiddelde zou het rantsoen een EF moeten hebben van 15,8 g CH₄/kg DS met een TAN excretie van 7,6 g/kg melk. Dat betekent dat voor dit bedrijf de TAN excretie al 20% lager ligt dan het Nederlands gemiddelde en het eerste doel (20% reductie) al is gehaald. De CH₄ emissie moet dalen met nog circa 20%. Dat is de streefwaarde, waarbij de TAN excretie niet mag toenemen, en idealiter nog afneemt met 8% (zodat de 30% reductie gehaald wordt).

De meetperiode op dit bedrijf heeft plaatsgevonden van oktober 2020 tot en met januari 2021. Het basisrantsoen (gemiddeld voor deze periode) bestond uit grassilage, snijmaissilage, bietenperspulp en krachtvoer. De reductieopties die voorgesteld zijn:

1. Het aandeel ruwvoer in het rantsoen verlagen van 70% naar 60% op DS basis. Dit is effectiever dan het aandeel snijmaissilage in het ruwvoer verhogen, omdat zowel de gras- als snijmaissilage een EF boven de 19 g CH₄/kg DS heeft.
2. De EF van de krachtvoerders met circa 10 en 14% verlagen van EF = 19,4 naar EF = 17,9 g CH₄/kg DS (productiebrok) en van EF = 18,4 naar EF = 16,1 g CH₄/kg DS (supplementbrok).
3. Het vervangen van een deel van het krachtvoer (EF = 19,4 g CH₄/kg DS) voor maismeel en bierbostel met een EF < 16 g CH₄/kg DS. Deze aanpassing is niet ingevoerd in verband met de nutritionele eisen van het rantsoen.
4. Bietenperspulp met EF = 23,2 g CH₄/kg DS vervangen door maismeel of bierbostel met een EF < 16 g CH₄/kg DS. Gezien er slechts een kleine hoeveelheid bietenperspulp gevoerd wordt,

is het effect van deze maatregel zeer gering (circa 1%). Daarnaast was deze suggestie enkel mogelijk door de snijmaissilage aan te passen, aangezien de bietenperspulp hierop lag.

5. Het toevoegen van pensbestendig vet in het rantsoen, zodat het vetgehalte van het rantsoen verhoogd werd van 3,8% naar 6,0%.
6. Omdat met bovenstaande reductieopties het doel van 20% reductie nog steeds niet werd gehaald, was de laatste suggestie het aankopen van een snijmaissilage met een EF=15 g CH₄/kg DS. Het bedrijf heeft zulke kuilen op het bedrijf gehad, enkel niet beschikbaar op het moment van de meetperiode. Wanneer het aandeel snijmaissilage met lage EF verhoogd wordt in het ruwvoer worden de reductieopties wel gehaald.

Niet alle voorgestelde reductieopties zijn overwogen voor uitvoering, omdat ze of slechts een gering effect hadden of niet voldeden aan de nutritionele eisen. In tegenstelling tot de andere bedrijven, is hier gekozen voor het aanpassen (in dit geval aankopen) van een snijmaissilage om de reductiedoelen te behalen. De voerstrategie die uiteindelijk verder is uitgewerkt had een berekende EF van 15,9 g CH₄/kg DS. Dat is een reductie van 19,7%. Er is gekozen om dit ontwikkelde rantsoen toe te passen op het bedrijf (hoofdstuk 5).

4.2.5 Bedrijf E (veengrond)

Volgens de KLV data van 2019 was de gemiddelde CH₄ productie van bedrijf E 16,8 g CH₄/kg melk en de TAN excretie 7,2 g NH₃/kg melk. Het rantsoen van de uitgangssituatie had een EF van 17,6 g CH₄/kg DS bij een DS opname van 22,7 kg. Met een reductie van 20% ten opzichte van het Nederlands gemiddelde zou het rantsoen een EF moeten hebben van 15,8 g CH₄/kg DS met een TAN excretie van maximaal 9,3 g NH₃/kg melk. Dat betekent dat voor dit bedrijf de TAN excretie al meer dan 35% lager ligt dan het Nederlands gemiddelde en dit doel al is gehaald. De CH₄ emissie moet dalen met nog circa 10%. Dat is de streefwaarde, waarbij de intentie is om de TAN excretie niet toe te laten nemen.

De meetperiode op dit bedrijf heeft plaatsgevonden van oktober 2020 tot en met januari 2021. Het basisrantsoen bestond uit grassilage, snijmaissilage, erwtenvezels, bierbostel, gerst en krachtvoer. De reductieopties die voorgesteld zijn:

1. Het aandeel ruwvoer in het rantsoen verlagen van 67% naar 60% op DS basis. Dit is effectiever dan het aandeel snijmaissilage in het ruwvoer verhogen, omdat zowel de gras- als snijmaissilage een EF boven de 19 g CH₄/kg DS heeft.
2. De bijproducten gerst en erwtenvezels met een EF>18,9 g CH₄/kg DS vervangen door maismeel (EF=17,5 g CH₄/kg DS) en een combinatie van bierbostel en raapzaadschroot (EF=15 g CH₄/kg DS). Erwtenvezels konden echter niet vervangen worden, omdat deze zijn gebruikt als afdeklaag op de graskuil.
3. De EF van het krachtvoer met circa 10% verlagen van EF=18 naar EF=16 g CH₄/kg DS.
4. Het toevoegen van pensbestendig vet in het rantsoen, zodat het vetgehalte van het rantsoen verhoogd werd van 4,2% naar 6,2%.

Het effect van de voorgestelde reductieopties waren gering, maar andere opties waren niet beschikbaar op korte termijn. Het vetgehalte van het rantsoen werd minder verhoogd dan vooraf de suggestie was, omdat de veehouder vanuit een duurzaam oogpunt geen palmolie wilde voeren. Het vetrijke product dat gekozen werd was lijnzaad met pensbestendig vet (EF=8 g CH₄/kg DS). Het effect hiervan was beduidend kleiner dan pure vetbronnen (zoals palmolie). De voerstrategie die uiteindelijk verder is uitgewerkt had een berekende EF van 17,0 g CH₄/kg DS. Dat is een reductie van 3,5%. Er is gekozen om dit ontwikkelde rantsoen toe te passen op het bedrijf, hoewel hiermee de doelen niet volledig gehaald werden.

5 Demonstreren voerstrategieën

5.1 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. De voerstrategie is gemonitord met behulp van de Greenfeed (C-lock Inc., USA) en geëvalueerd door veehouder, voeradviseur en onderzoekers.

5.2 Werkwijze

5.2.1 Planning meetperiode

Op vijf praktijkbedrijven is gedurende een periode van 12 weken de enterische CH₄ productie gemeten tussen april 2020 en februari 2021. De bedrijven bevinden zich in verschillende regio's (op verschillende grondsoorten) in Nederland en zijn onderdeel van Koeien & Kansen³, een meerjarig onderzoeks- en demonstratieproject. De vijf bedrijven die zijn gekozen waren De Marke (bedrijf A, proefbedrijf op zandgrond), Van de Heijning (bedrijf B, op kleigrond), Baltus (bedrijf C, op kleigrond), Stevens (bedrijf D, op zandgrond) en De Vries (bedrijf E, op veengrond). Zie bijlage 1 voor de algemene bedrijfsgegevens van deze bedrijven. Op elk bedrijf is een meetperiode uitgevoerd volgens het schema in tabel 5.1. Er waren drie perioden van eerst twee weken adaptatie gevolgd door een meetperiode van twee weken waarin een rantsoen werd doorgemeten. In de eerste ronde is het basisrantsoen bemeaten, het rantsoen dat de veehouder normaliter zou voeren in die periode. Voor de tweede periode is er een rantsoen ontwikkeld in samenwerking met onderzoekers, de veehouder en de voeradviseurs om tot een CH₄ arme voerstrategie te komen die voldoet aan de nutritionele waarde voor melkvee (hoofdstuk 4.2). De reductiepotentie van dit rantsoen is vooraf berekend met behulp van de rekenregels zoals beschreven door Sebek *et al.* (2016) (zie ook hoofdstuk 4.1.2). In de derde meetperiode is wederom een basisrantsoen gevoerd. Tijdens de volledige meetperiode (12 weken) heeft de Greenfeed individuele CH₄ productie gemeten van een selecte groep lacterende koeien. De selectie werd gebaseerd op de bezoekgraad aan de Greenfeed (over de volledige 12 weken), enigszins representatief voor de hele koppel, maar mocht niet drooggezet worden in de 12 weken meetperiode. De voeropname en -samenstelling is tijdens de meetweken (tijdens elke periode 2 weken) op groepsniveau (alle lacterende koeien) geregistreerd volgens het protocol bekend binnen Koeien & Kansen. Daarnaast zijn er voermonsters verzameld om de voerkwaliteit te bepalen en is in elke tweede meetweek een standaard melkcontrole (melkproductieregistratie, MPR) uitgevoerd. Op bedrijf A is elke week een meetweek uitgevoerd, omdat dit het standaard protocol is op dit bedrijf. Hierdoor kunnen we voor dit bedrijf iets meer resultaten (per kg DS opname) laten zien. Op bedrijf B is door tijdgebrek slechts 8 weken gemeten (enkel periode 1 en 2).

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

Tabel 5.1 Overzicht van de meetperiode van 12 weken per bedrijf.

Week	Periode	Meting	Monsters
1	1	Installatie Greenfeed, start adaptatieperiode	
2	1	Adaptatieperiode	
3	1	Meetweek basisrantsoen	
4	1	Meetweek basisrantsoen	MPR, voermonster
5	2	Start voerstrategie, adaptatieperiode	
6	2	Adaptatieperiode	
7	2	Meetweek voerstrategie	
8	2	Meetweek voerstrategie	MPR, voermonster
9	3	Terug naar basisrantsoen, adaptatieperiode	
10	3	Adaptatieperiode	
11	3	Meetweek basisrantsoen	
12	3	Meetweek basisrantsoen	MPR, voermonster

5.2.2 CH₄ metingen

De enterische CH₄ productie is op praktijkbedrijven gemeten met behulp van de Greenfeed (C-lock Inc.), een aangepast krachtvoerstation dat zowel de CH₄ concentratie meet als de kwantitatieve luchtstroom. Daarnaast registreert de Greenfeed de positie van de kop van de koe waarmee wordt bepaald of er een correct monster wordt gemeten. Deze data zijn gebruikt om de kwantitatieve CH₄ productie (in gram per koe per dag) per bezoek te berekenen. Een uitgebreidere omschrijving van de werking van de Greenfeed staat beschreven in het manuscript van C-lock (C-lock Inc., 2017).

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. Idealiter moeten er minimaal 20 metingen per koe verzameld worden (Manafiazar *et al.*, 2016). Er is daarom per rantsoen voor een periode van twee weken gemeten. Om meerdere metingen per koe te ontvangen, werd krachtvoer verstrekt via de Greenfeed in maximaal zes voerbeurten van circa 300-400g per voerbeurt per koe per dag, met minimaal drie uur tussen elke voerbeurt. De CH₄ metingen per koe zijn gemiddeld tot een gemiddelde 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) of CH₄ opbrengst (g CH₄/kg geschatte DS door de individuele CH₄ productie te delen door de individuele geschatte DS opname (zie hoofdstuk 5.2.4)).

5.2.3 Melkcontrole

In de tweede meetweek is een standaard melkcontrole uitgevoerd om de melkgift en het vet- en eiwitgehalte van de melk van individuele koeien te bepalen. Deze data is vervolgens gebruikt om het aantal kg meetmelk, melk voor vet en eiwit gecorrigeerd (*fat-protein corrected milk*, FPCM), te berekenen. De meetmelk is berekend volgens volgende formule:

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

5.2.4 Geschatte voeropname

De metingen zijn uitgevoerd op praktijkbedrijven, waardoor individuele voeropnameregistratie niet mogelijk was. Voeropname is daarom enkel geregistreerd op groepsniveau (alle lacterende koeien). Op basis van de groepsvoeropname en Koemodel (Zom, 2014) is de voeropname van de selecte groep lacterende koeien (testgroep) geschat volgens formule:

$$\text{Geschatte voeropname testgroep (kg DSO/koe/dag)} = FIC_{\text{testgroep}} * \frac{DSO_{\text{koppel}}}{FIC_{\text{koppel}}}$$

Koemodel hanteert de volgende formule om voeropnamecapaciteit (FIC) te berekenen:

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

Met LD het aantal dagen in lactatie en LNR het lactatienummer. De voeropnamecapaciteit en de geschatte voeropname is op individueel niveau berekend en vervolgens gemiddeld tot de groepsvoeropname van de testgroep.

5.2.5 Berekenende CH₄ emissie en TAN excretie

Naast de CH₄ metingen met de Greenfeed, is de CH₄ emissie en TAN excretie ook berekend op basis van het verstrekte rantsoen zoals beschreven in hoofdstuk 4.1.2. Tijdens het ontwikkelen en verfijnen van de voerstrategie, is uitgegaan van verwachte voeropname en melkproductie. Naderhand kan gecontroleerd worden of het beoogde effect volgens de berekeningen wel gehaald is. Hiervoor is dezelfde rekenmethodiek gebruikt als beschreven in hoofdstuk 4.1.2.

Op basis van de EF per voedermiddel is er op bedrijfsniveau een gewogen gemiddelde berekend voor de CH₄ emissie per kg DS van dat rantsoen. De modelmatig berekende CH₄ emissie is vergeleken met de gemeten CH₄ emissie als praktijktoets van het model.

5.3 Resultaten

5.3.1 Bedrijf A (zandgrond)

5.3.1.1 Berekenende CH₄ emissie en TAN excretie

Het ontwikkelde rantsoen beschreven in hoofdstuk 4 is toegepast, waarbij uiteindelijk minder vers gras is gevoerd dan in eerste instantie beoogd werd. De reden hiervoor was de droogte in augustus (hittegolf). Het basisrantsoen van periode 1 had een EF van 17,1 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 24,4 kg DS per koe per dag. De voerstrategie die vier weken later is gevoerd (periode 2) had een EF van 15,3 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 23,4 kg DS. De voerstrategie had een berekende CH₄ reductie van 10% en een TAN reductie van circa 12%. Het basisrantsoen dat in periode 3 is gevoerd bevatte geen weidegras meer, enkel vers gras op stal (zomerstal voederen, circa 1 kg DS) en bevatte tevens nog pensbestendig vet en citrocell. De berekende emissie tijdens periode 3 was 17,3 g CH₄/kg DS (13% hoger dan tijdens periode 2). De TAN excretie in periode 3 was wel 5% lager dan tijdens de voerstrategie in periode 2. Een overzicht van de berekende emissie is te zien in tabel 5.2. Het complete gevoerde rantsoen staat in bijlage 2.

Tabel 5.2 *Overzicht van de berekende CH₄ emissie, tankmelkproductie en gemeten groepsvoeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf A.*

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	417,3	358,2	395,2
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	12,0	10,2	11,2
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	17,1	15,3	17,3
TAN excretie (g TAN/dag)	239	211	199
TAN excretie (g TAN/kg melk)	7,2	6,3	6,0
Meetmelkproductie (kg FPCM) ¹	34,7	35,2	35,2
Melkproductie (kg melk)	33,0	33,4	33,1
Voeropname (kg DS) ²	24,4	23,4	22,9
Aantal lacterende koeien	71	67	70

¹ FPCM volgens de tankmelkgegevens die tijdens de meetweken worden geregistreerd volgens het protocol bekend binnen Koeien & Kansen.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, dit is de voeropname van de hele koppel lacterende koeien.

5.3.1.2 Gemeten CH₄ emissie

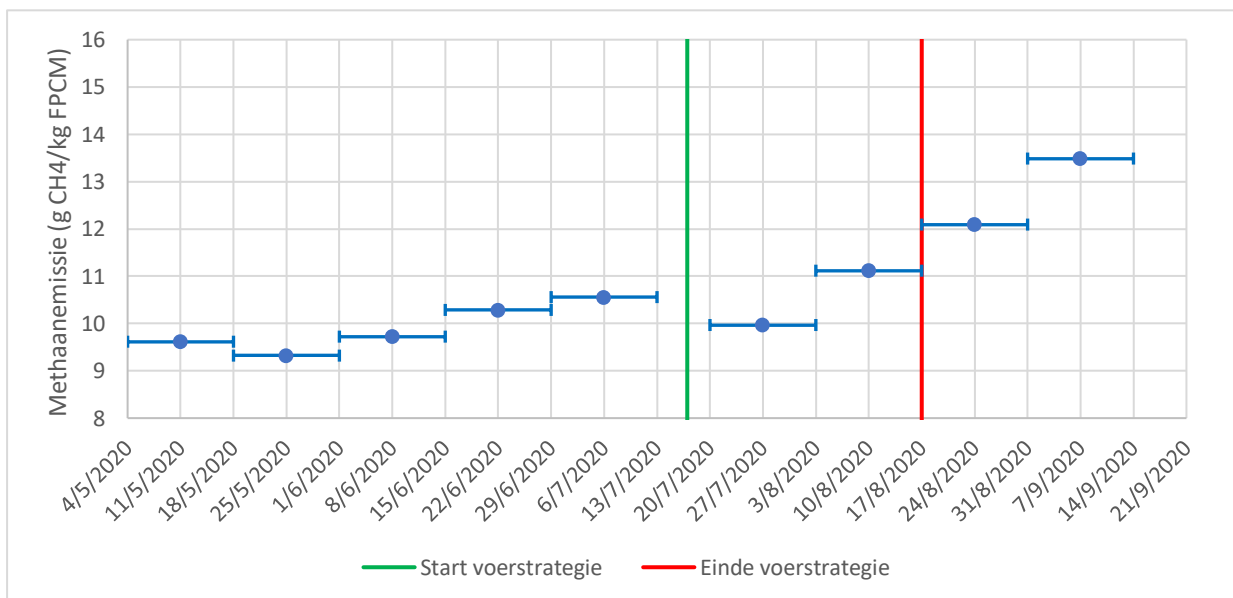
Van 53 lacterende koeien is de enterische CH₄ emissie gemeten met de Greenfeed van 4 mei tot 14 september 2020. In juli werd het basisrantsoen doorgemeten, in augustus de ontwikkelde voerstrategie en in september weer het basisrantsoen (dit was een ander basisrantsoen dan in juli). De CH₄ emissie tijdens de voerstrategie (periode 2) was per koe per dag circa 4% lager, maar per kg meetmelk 5% hoger dan tijdens het basisrantsoen in periode 1. Ten opzichte van het basisrantsoen in periode 3 was de emissie circa 8% lager tijdens de voerstrategie. Het aantal dagen in lactatie neemt over de perioden echter toe, waardoor er verwacht wordt dat zonder veranderingen in het voerspoor de CH₄ intensiteit langzaam toeneemt en de melkproductie afneemt. We zien dit terug in de metingen. De resultaten van de metingen staan in tabel 5.3 en zijn visueel weergegeven in figuur 5.1 (in g CH₄/kg FPCM) en, omdat op dit bedrijf wekelijks de voeropname op koppelniveau is geregistreerd, ook in g CH₄/kg DS in figuur 5.2.

Tabel 5.3 Overzicht van de gemiddeld gemeten CH₄ emissie, melkproductie (volgens MPR) en geschatte voeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf A.

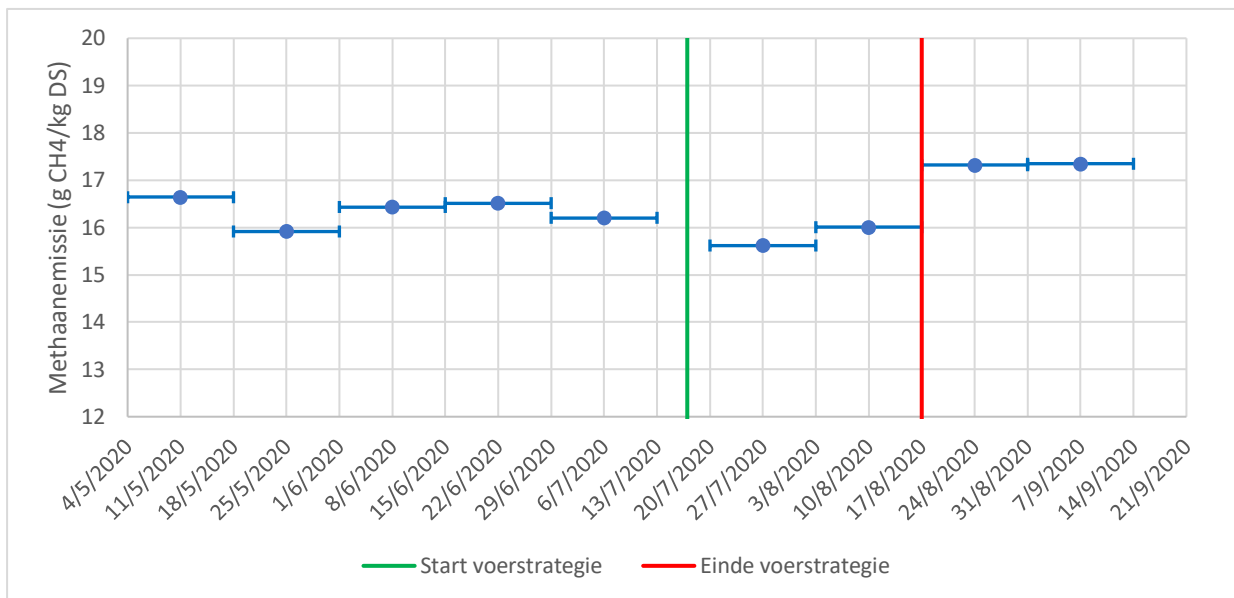
	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	394,5	378,8	412,4
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	10,6	11,1	13,5
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	16,2	16,0	17,3
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	13831	12933	14054
Melkproductie (kg FPCM) ¹	38,1	35,4	33,6
Voeropname (kg DS) ²	24,3	23,6	23,8
Gemiddelde lactatiedagen	150,1	183,9	212,8
Gemiddelde lactatienummer	3,2	3,2	3,2
Aantal koeien	53	53	53

¹ FPCM van de gemeten groep lacterende koeien berekend met behulp van de MPR data zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.3.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, gecorrigeerd voor de gemeten groep zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.4.



Figuur 5.1 Gemiddelde CH₄ intensiteit in g CH₄/kg FPCM gemeten tijdens de meetperiode op bedrijf A (n=53). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen rondom elk punt). De voerstrategie is geïmplementeerd op de groene lijn en gestopt op de rode lijn. Dit betekent dat vóór de groene lijn periode 1 representeert, tussen de groene en rode lijn periode 2 en na de rode lijn periode 3 van de meetperiode.

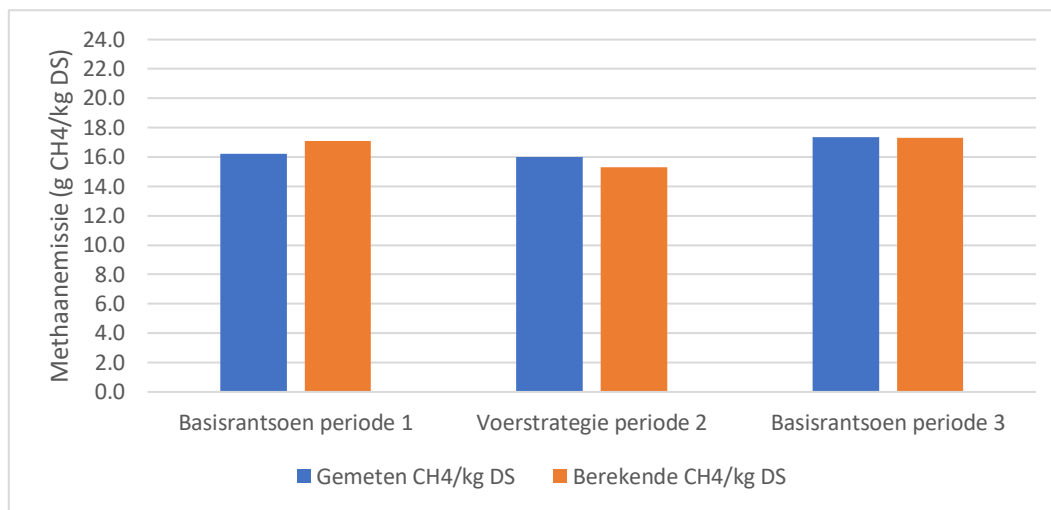


Figuur 5.2 Gemiddelde CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS gemeten tijdens de meetperiode op bedrijf A. De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen rondom elk punt). De voerstrategie is geïmplementeerd op de groene lijn en gestopt op de rode lijn. Dit betekent dat vóór de groene lijn periode 1 representeert, tussen de groene en rode lijn periode 2 en na de rode lijn periode 3 van de meetperiode. Op dit bedrijf is elke week een meetweek uitgevoerd (voeropname geregistreerd).

5.3.1.3 Conclusie

Er is weinig effect waargenomen van de voerstrategie. De emissie per kg DS tijdens de voerstrategie was nagenoeg gelijk aan die van het basirantsoen dat in de periode ervoor is gevoerd. Er werd wel een 8% lagere CH₄ opbrengst (per kg DS) gemeten ten opzichte van het basirantsoen dat de periode erna is gevoerd. Dat is ongeveer gelijk aan het berekende effect van de voerstrategie van 10%. Daarnaast lieten de berekeningen zien dat de voerstrategie de TAN excretie verlaagde naar 6,3 g TAN/kg melk, waarmee het doel van 30% reductie voor NH₃ ten opzichte van het Nederlands gemiddelde volgens de KLV 2018 (op korte termijn) gehaald werd.

Kleine effecten zijn lastig (door middel van prototyping) aan te tonen, omdat er geen statistiek toegepast kan worden. Daarnaast was er sprake van een secundair probleem tijdens de meetperiode van de voerstrategie, namelijk zeer warm weer (hittegolf), waardoor het effect van de voerstrategie mogelijk niet zichtbaar is. Desalniettemin ligt de overall gemeten versus berekende CH₄ emissie (per kg DS) dichtbij elkaar (afwijking van circa 5%), wat een indicatie is dat het model de EF van de rantsoenen goed geschat heeft (figuur 5.3). De voerstrategie is iets lager berekend dan gemeten (15,3 versus 16,0 g CH₄/kg DS), het is onbekend en niet te achterhalen of dit het gevolg is van de berekening of van secundaire invloeden (hittegolf).



Figuur 5.3 Modelmatig berekende versus gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS per meetperiode op bedrijf A. De blauwe balk geeft de gemeten CH₄ per kg DS aan, de oranje balk de modelmatig berekende CH₄ per kg DS.

5.3.2 Bedrijf B (kleigrond)

5.3.2.1 Berekende CH₄ emissie en TAN excretie

Het ontwikkelde rantsoen beschreven in hoofdstuk 4.2.2 is toegepast op het bedrijf. In verband met beperkte beschikbaarheid is er uiteindelijk gekozen voor een andere snijmaissilage dan waar in hoofdstuk 4 de CH₄ emissie (en reductiepotentie) berekend werd. Ook is er tijdens de voerstrategie, net als op het vorige bedrijf, door warme weersomstandigheden en droogte minder vers gras uit de weide opgehaald dan de periode ervoor. Het basisrantsoen van periode 1 had een EF van 18,0 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21,7 kg DS per koe per dag. De voerstrategie die (door omstandigheden in plaats van vier) acht weken later is gevoerd (periode 2) had een EF van 16,7 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21,4 kg DS. Op dit bedrijf zijn slechts 2 perioden uitgevoerd, na de voerstrategie is niet nogmaals het basisrantsoen gemeten. De voerstrategie had een berekende reductie van 7% voor zowel CH₄ als TAN. Een overzicht van de berekende emissie is te zien in tabel 5.4. Het complete gevoerde rantsoen staat in bijlage 3.

Tabel 5.4 Overzicht van de berekende CH₄ emissie, tankmelkproductie en gemeten groepsvoeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf B.

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	390,1	356,5
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	13,8	12,8
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	18,0	16,7
TAN excretie (g TAN/dag)	279	258
TAN excretie (g TAN/kg melk)	10,7	9,9
Meetmelkproductie (kg FPCM) ¹	28,2	27,9
Melkproductie (kg melk)	26,1	26,0
Voeropname (kg DS) ²	21,7	21,4
Aantal lacterende koeien	100	97

¹ FPCM volgens de tankmelkgegevens die tijdens de meetweken worden geregistreerd volgens het protocol bekend bij Koeien & Kansen.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, dit is de voeropname van de hele koppel lacterende koeien.

5.3.2.2 Gemeten CH₄ emissie

Door tijdgebrek is op dit bedrijf enkel periode 1 (basisrantsoen, 8 weken) en periode 2 (voerstrategie, 4 weken) gemeten van 25 mei tot 17 augustus 2020 met de Greenfeed. Van een selectie koeien (n=20) is de CH₄ emissie gemeten gedurende de hele periode. Dit bedrijf heeft last gehad van de

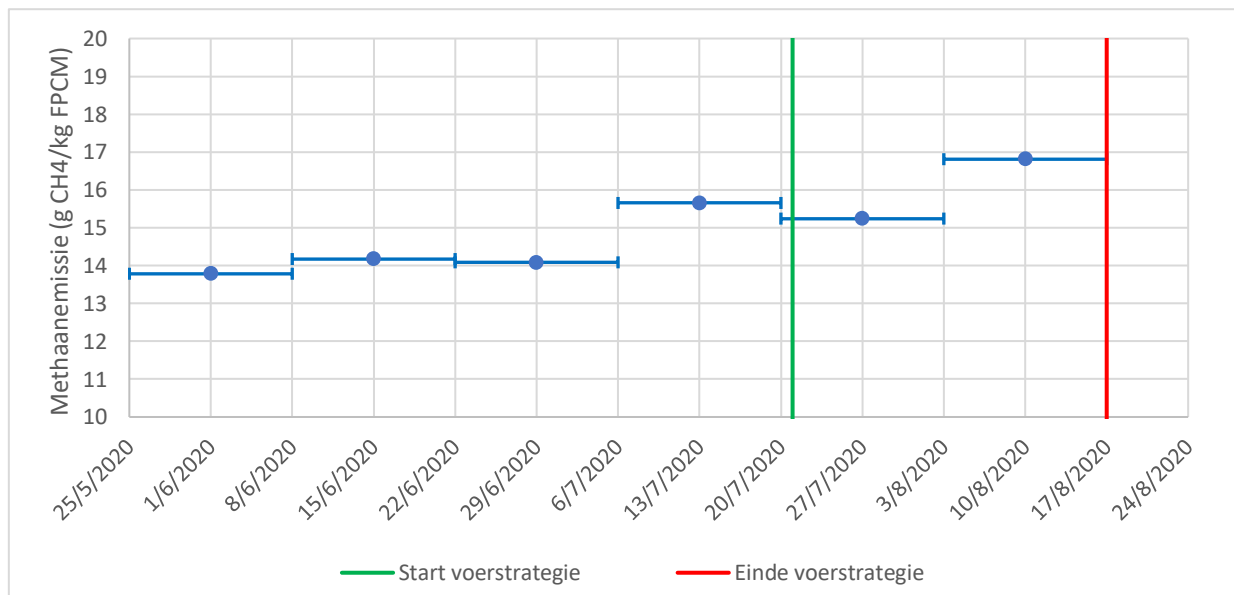
hittegolf in augustus, waardoor de melkgift van de gemeten koeien gemiddeld 18% daalden (tabel 5.5). Dit effect is terug te zien in de resultaten. De CH₄ emissie tijdens de voerstrategie was per kg DS circa 6% lager dan tijdens periode 1, maar per kg FPCM 19% hoger. De metingen zijn visueel weergegeven in figuur 5.4 (in g CH₄/kg FPCM).

Tabel 5.5 Overzicht van de gemiddeld gemeten CH₄ emissie, melkproductie (MPR) en geschatte voeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf B.

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	452,1	431,4
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	14,2	16,8
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	21,3	20,1
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	14063	13343
Melkproductie (kg FPCM) ¹	32,6	26,6
Voeropname (kg DS) ²	21,3	21,5
Gemiddelde lactatiedagen	189,1	243,1
Gemiddelde lactatienummer	2,8	2,8
Aantal koeien	20	20

¹ FPCM van de gemeten groep lacterende koeien berekend met behulp van de MPR data zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.3.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, gecorrigeerd voor de gemeten groep zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.4.

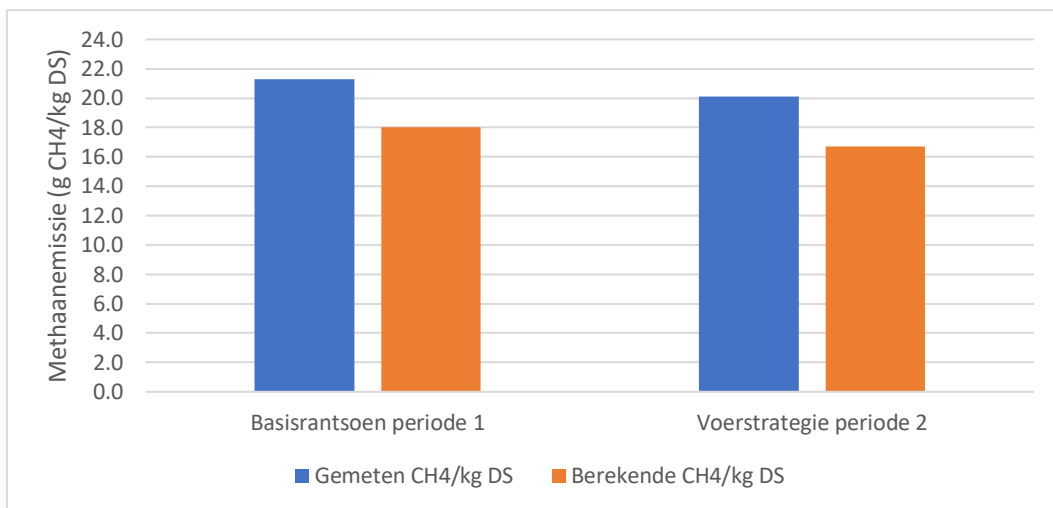


Figuur 5.4 Gemiddelde CH₄ intensiteit in g CH₄/kg FPCM gemeten tijdens de meetperiode op bedrijf B (n=20). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen rondom elk punt). De voerstrategie is geïmplementeerd op de groene lijn en gestopt op de rode lijn. Dit betekent dat vóór de groene lijn periode 1 representeert en tussen de groene en rode lijn periode 2.

5.3.2.3 Conclusie

De CH₄ opbrengst per kg DS was circa 6% lager tijdens de voerstrategie ten opzicht van het basisrantsoen (figuur 5.5). Voor de CH₄ emissie per kg FPCM is geen effect gemeten van de voerstrategie. Door de hittegolf daalden de melkgiften zodanig (18%) dat de emissie per kg FPCM steeg (19% ten opzichte van periode 1). De emissie per koe per dag en per kg DS daalde wel (respectievelijk 5 en 6%). Deze resultaten liggen dichtbij het berekende effect van de voerstrategie, namelijk 7%. Opvallend is verder dat de berekende emissie per kg DS in beide perioden 16% lager was dan de gemeten emissie (figuur 5.5). Het model heeft de EF van de rantsoenen niet goed geschat, maar er kan niet worden uitgesloten dat extreme weersomstandigheden (hittegolf) hier een oorzaak van zijn geweest. De TAN excretie tijdens beide perioden was hoog, vermoedelijk door de lage stikstof (N) vastlegging in melk, door de gedaalde melkgift. Hoewel het reductiedoel van 20% ten

opzichte van het gemiddelde in 2018 voor de TAN excretie niet werd gehaald, daalde volgens de berekeningen de TAN excretie tijdens de voerstrategie wel met 7% ten opzichte van het basisrantsoen.



Figuur 5.5 Modelmatig berekende versus gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS per meetperiode op bedrijf B. De blauwe balk geeft de gemeten CH₄ per kg DS aan, de oranje balk de modelmatig berekende CH₄ per kg DS.

5.3.3 Bedrijf C (kleigrond)

5.3.3.1 Berekende CH₄ emissie en TAN excretie

Het rantsoen beschreven in hoofdstuk 4.2.3 is toegepast op het bedrijf. Het basisrantsoen van periode 1 had een berekende EF van 17,1 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 23,3 kg DS per koe per dag. De voerstrategie die daarna is gevoerd had een berekende EF van 15,0 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 23,4 kg DS. De voerstrategie had een berekende CH₄ reductie van 12% ten opzichte van het basisrantsoen in periode 1. Het basisrantsoen dat in periode 3 is gevoerd bevatte nog maismeel (in plaats van sodagrain) en had een berekende EF van 15,9 g CH₄/kg DS (6% hoger dan de EF van de voerstrategie). De TAN excretie tijdens de voerstrategie steeg ten opzichte van periode 1 met 10%, van 6,0 naar 6,6 g TAN/kg melk, maar bleef gelijk ten opzichte van periode 3. Een overzicht van de berekende emissie is te zien in tabel 5.6. Het complete gevoerde rantsoen staat in bijlage 4.

Tabel 5.6 Overzicht van de berekende CH₄ emissie, tankmelkproductie en gemeten groepsvoeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf C.

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	398,3	349,5	371,0
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	11,2	9,8	10,8
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	17,1	15,0	15,9
TAN excretie (g TAN/dag)	196	215	218
TAN excretie (g TAN/kg melk)	6,0	6,6	6,7
Meetmelkproductie (kg FPCM) ¹	35,7	35,5	34,4
Melkproductie (kg melk)	32,5	32,4	32,3
Voeropname (kg DS) ²	23,2	23,3	23,4
Aantal lacterende koeien	107	108	107

¹ FPCM volgens de tankmelkgegevens die tijdens de meetweken worden geregistreerd volgens het protocol bekend bij Koeien & Kansen.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, dit is de voeropname van de hele koppel lacterende koeien.

5.3.3.2 Gemeten CH4 emissie

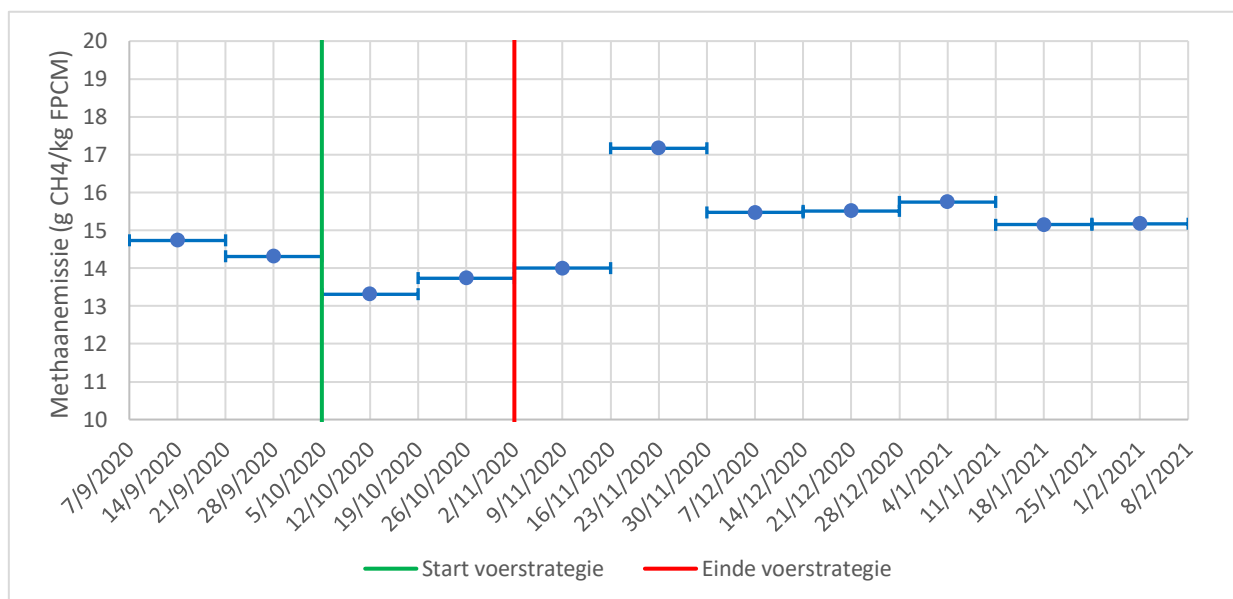
Op dit bedrijf is naast de 12 weken (4 weken per periode, 3 perioden) nog 12 weken extra doorgemeten. Van 37 lacterende koeien is de enterische CH₄ emissie gemeten met de Greenfeed van 7 september 2020 tot 21 februari 2021. Eind september werd het basisrantsoen doorgemeten, eind oktober de ontwikkelde voerstrategie en eind november weer het basisrantsoen (dit was een ander basisrantsoen dat in september). Daarna is er nog een periode gemeten, waarin kleine aanpassingen aan het rantsoen (bijproducten) zijn gedaan. De CH₄ emissie tijdens de voerstrategie (periode 2) was per koe per dag circa 9% lager, per kg meetmelk 4% lager per kg DS opname 10% lager dan tijdens het basisrantsoen in periode 1. Ook ten opzichte van het basisrantsoen in periode 3 was de emissie lager tijdens de voerstrategie (9% per koe per dag, 20% per kg FPCM en 8% per kg DS). De resultaten van de metingen staan in tabel 5.7 en zijn visueel weergegeven in figuur 5.6 (in g CH₄/kg FPCM).

Tabel 5.7 Overzicht van de gemiddeld gemeten CH₄ emissie, melkproductie (MPR) en geschatte voeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf C.

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	525,2	480,5	530,3
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	14,3	13,7	17,2
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	22,8	20,4	22,1
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	14204	13552	14380
Melkproductie (kg FPCM) ¹	38,0	36,6	35,0
Voeropname (kg DS) ²	22,9	23,5	24,0
Gemiddelde lactatiedagen	152,7	182,7	210,7
Gemiddelde lactatienummer	2,8	2,8	2,8
Aantal koeien	37	37	37

¹ FPCM van de gemeten groep lacterende koeien berekend met behulp van de MPR data zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.3.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, gecorrigeerd voor de gemeten groep zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.4.

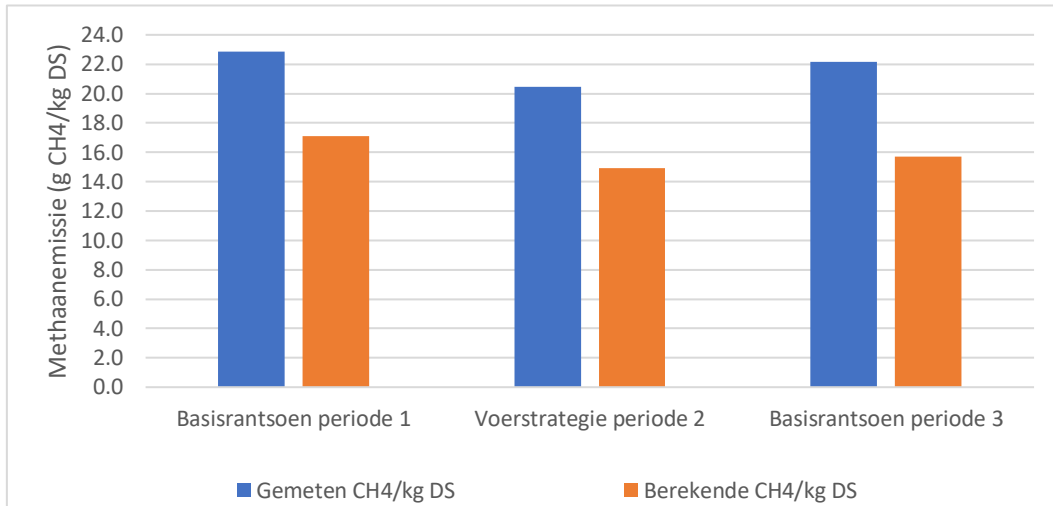


Figuur 5.6 Gemiddelde CH₄ intensiteit in g CH₄/kg FPCM gemeten tijdens de meetperiode op bedrijf C (n=37). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen rondom elk punt). De voerstrategie is geïmplementeerd op de groene lijn en gestopt op de rode lijn. Dit betekent dat vóór de groene lijn periode 1 representeert en tussen de groene en rode lijn periode 2. Na de rode lijn vond de eerste 4 weken periode 3 plaats, gevolgd door nog 12 meetweken waarin enkel kleine aanpassingen in bijproducten zijn gedaan.

5.3.3.3 Conclusie

De CH₄ emissie tijdens het voeren van de voerstrategie is circa 10% lager per kg DS dan het basisrantsoen gevoerd in periode 1 en 8% lager ten opzichte van periode 3. Ook uitgedrukt per koe

per dag en per kg FPCM is de CH₄ emissie 4 tot 20% lager. Dit komt overeen met de verwachte reductie op basis van de modelberekeningen. Per kg DS werd de reductie berekend op 9% ten opzichte van periode 1 en 6% ten opzichte van periode 3. De absolute gemeten emissie is wel 20 tot 30% hoger dan de modelmatig berekende emissie en dit lijkt consistent over de tijd (figuur 5.7). Het model schatte de reductiepotentie van de voerstrategie goed, maar de absolute emissie op dit bedrijf niet. De TAN excretie steeg wel met circa 10% ten opzichte van het eerste basisrantsoen, maar daarmee haalde het bedrijf alsnog het reductiedoel van 30% ten opzichte van het landelijk gemiddelde voor kleigrond volgens de KLV 2018.



Figuur 5.7 Modelmatig berekende versus gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS per meetperiode op bedrijf C. De blauwe balk geeft de gemeten CH₄ per kg DS aan, de oranje balk de modelmatig berekende CH₄ per kg DS.

5.3.4 Bedrijf D (zandgrond)

5.3.4.1 Berekende CH₄ emissie en TAN excretie

Het ontwikkelde rantsoen beschreven in hoofdstuk 4.2.4 is gevoerd voor een periode van vier weken. Vanwege praktische redenen (vet kon niet met de mengwagen gevoerd worden) is ervoor gekozen om het extra vet van het rantsoen toe te voegen aan de krachtvoerders. Het basisrantsoen van periode 1 had een berekende EF van 18,7 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21,7 kg DS. De voerstrategie die daarna is gevoerd had een berekende EF van 15,9 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 22,8 kg DS. De voerstrategie had een berekende CH₄ reductie van 15% ten opzichte van het basisrantsoen in periode 1. Het basisrantsoen dat in periode 3 is gevoerd was exact hetzelfde als het basisrantsoen in periode 1. De TAN excretie bleef gelijk over de perioden. Een overzicht van de berekende emissie is te zien in tabel 5.8. Het complete gevoerde rantsoen staat in bijlage 5.

Tabel 5.8 Overzicht van de berekende CH₄ emissie, tankmelkproductie en gemeten groepsvoeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf D.

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	404,7	361,4	392,2
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	14,0	12,1	13,7
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	18,7	15,9	18,8
TAN excretie (g TAN/dag)	191	197	179
TAN excretie (g TAN/kg melk)	7,3	7,2	6,9
Meetmelkproductie (kg FPCM) ¹	29,0	29,9	28,6
Melkproductie (kg melk)	26,2	27,2	26,0
Voeropname (kg DS) ²	21,7	22,8	20,8
Aantal lacterende koeien	95	96	93

¹ FPCM volgens de tankmelkgegevens die tijdens de meetweken worden geregistreerd volgens het protocol bekend bij Koeien & Kansen.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, dit is de voeropname van de hele koppel lacterende koeien.

5.3.4.2 Gemeten CH₄ emissie

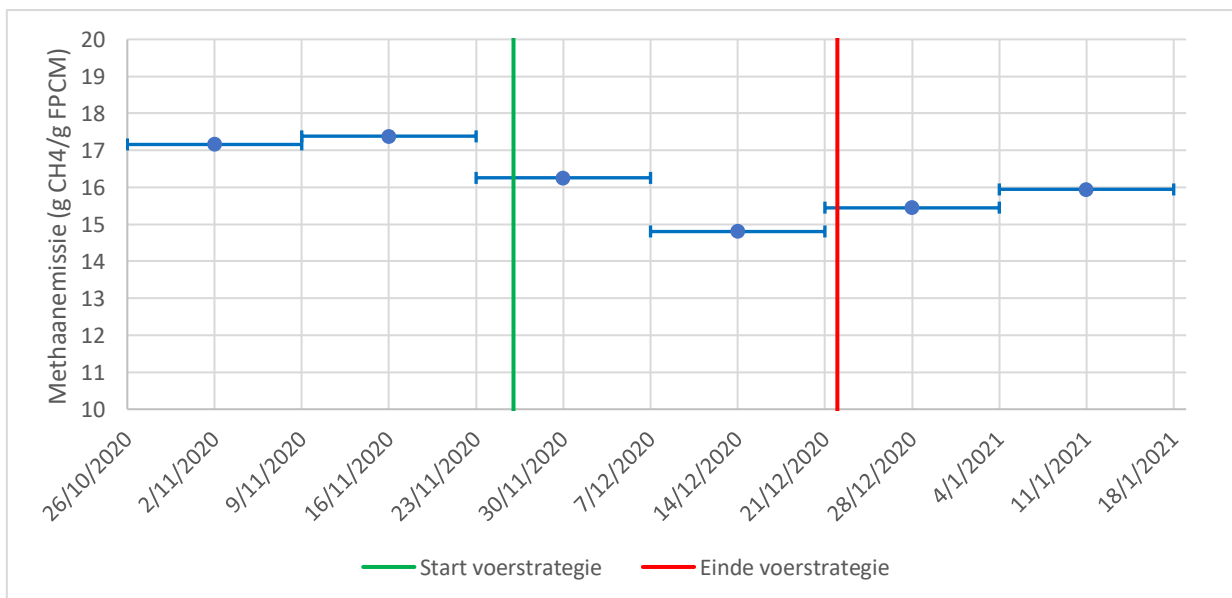
Van 28 lacterende koeien is de enterische CH₄ emissie gemeten met de Greenfeed van 26 oktober 2020 tot 18 januari 2021. In november werd het basisrantsoen gemeten, in december de ontwikkelde voerstrategie en in januari weer hetzelfde basisrantsoen als in november. De CH₄ emissie tijdens de voerstrategie (periode 2) was per koe per dag circa 6% lager, per kg meetmelk 15% lager per kg DS opname 12% lager dan tijdens het basisrantsoen in periode 1. Ook ten opzichte van het basisrantsoen in periode 3 was de emissie lager tijdens de voerstrategie (circa 7%). De resultaten van de metingen staan in tabel 5.9 en zijn visueel weergegeven in figuur 5.8 (in g CH₄/kg FPCM).

Tabel 5.9 Overzicht van de gemiddeld gemeten CH₄ emissie, melkproductie (MPR) en geschatte voeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf D.

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	457,9	431,3	427,2
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	17,4	14,8	15,9
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	21,9	19,3	20,7
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	12844	12805	12952
Melkproductie (kg FPCM) ¹	31,6	32,5	28,9
Voeropname (kg DS) ²	21,0	22,4	20,7
Gemiddelde lactatiedagen	141,8	168,3	194,3
Gemiddelde lactatienummer	3,0	3,0	3,0
Aantal koeien	28	28	28

¹ FPCM van de gemeten groep lacterende koeien berekend met behulp van de MPR data zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.3.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, gecorrigeerd voor de gemeten groep zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.4.

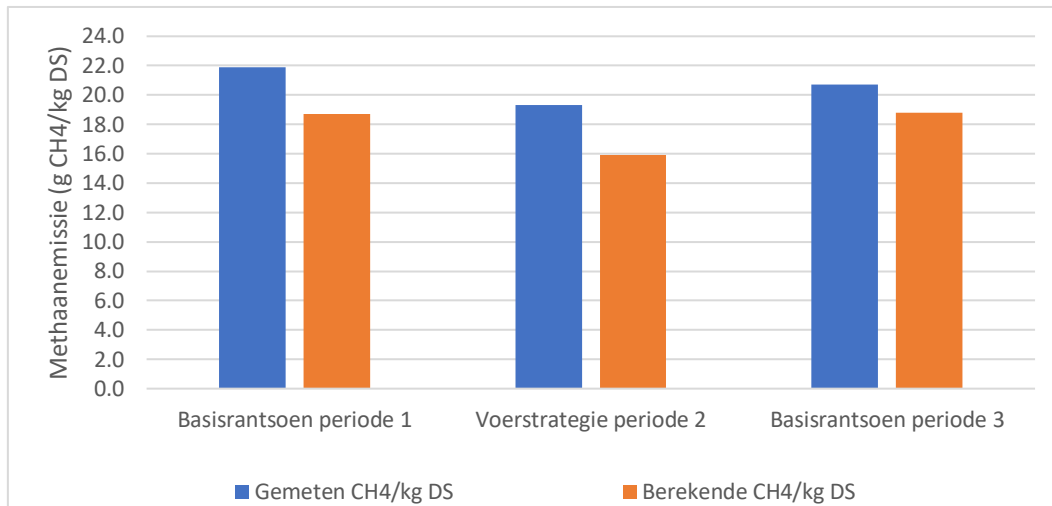


Figuur 5.8 Gemiddelde CH₄ intensiteit in g CH₄/kg FPCM gemeten tijdens de meetperiode op bedrijf D (n=28). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen rondom elk punt). De voerstrategie is geïmplementeerd op de groene lijn en gestopt op de rode lijn. Dit betekent dat vóór de groene lijn periode 1 representeert, tussen de groene en rode lijn periode 2 en na de rode lijn vond periode 3 plaats.

5.3.4.3 Conclusie

De berekende CH₄ reductie van de voerstrategie (per kg DS) was 15% ten opzichte van het basisrantsoen. De gemeten CH₄ reductie van de voerstrategie was circa 12% per kg DS. De DS opname nam toe door een toename van het maaisilage en krachtvoer in het rantsoen, maar (onder andere) door de toename van vet in het rantsoen nam ook de melkproductie toe. Het verwachte effect van de voerstrategie lijkt dus duidelijk terug te zien in de metingen. Daarnaast liet de voerstrategie zien dat het mogelijk is CH₄ reductie te realiseren zonder de TAN excretie te laten

stijgen. De gemeten emissie is wel 10 tot 20% hoger dan de modelmatig berekende emissie (tijdens alle perioden) op dit bedrijf (figuur 5.9). Wat hier de oorzaak van is, is niet bekend.



Figuur 5.9 Modelmatig berekende versus gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS per meetperiode op bedrijf D. De blauwe balk geeft de gemeten CH₄ per kg DS aan, de oranje balk de modelmatig berekende CH₄ per kg DS.

5.3.5 Bedrijf E (veengrond)

5.3.5.1 Berekende CH₄ emissie en TAN excretie

De grootste uitdaging op dit bedrijf was dat het geen palmolie of andere vetten wilde voeren die mogelijk een negatieve impact op het milieu hebben (ontbossing). De overige maatregelen hadden op dit bedrijf slechts een zeer gering effect. Er is uiteindelijk een rantsoen gevoerd met als belangrijkste aanpassing het toevoegen van het product Covalin FF (lijnzaad). Tijdens periode 1 is de voeropname van de koppel niet geregistreerd, maar op basis van de verwachte gevoerde hoeveelheden was de EF 16,6 g CH₄/kg DS (bij een geschatte opname van 22,6 kg DS). De voerstrategie die is gevoerd had een berekende EF van 15,9 g CH₄/kg DS bij een voeropname van 21,7 kg DS. Dat is een reductie van minder dan 4% ten opzichte van het basisrantsoen (zowel in periode 1 als 3), maar de voerstrategie voldeed hiermee wel aan de gestelde doelen. Ook de TAN excretie voldeed ruim aan de doelen met 6,3 g/kg melk, de TAN excretie bleef gelijk over de perioden. Een overzicht van de berekende emissie is te zien in tabel 5.10. Het complete gevoerde rantsoen staat in bijlage 6.

Tabel 5.10 Overzicht van de berekende CH₄ emissie, tankmelkproductie en groepsvoeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf E.

	Periode 1: basisrantsoen ³	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	376,1	344,7	343,7
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	12,3	11,5	11,2
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	16,6	15,9	16,4
TAN excretie (g TAN/dag)	-	173	176
TAN excretie (g TAN/kg melk)	-	6,3	6,3
Meetmelkproductie (kg FPCM) ¹	30,5	30,0	30,8
Melkproductie (kg melk)	27,5	27,6	28,1
Voeropname (kg DS) ²	22,6	21,7	20,9
Aantal lacterende koeien	122	121	116

¹ FPCM volgens de tankmelkgegevens die tijdens de meetweken worden geregistreerd volgens het protocol bekend bij Koeien & Kansen.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, dit is de voeropname van de hele koppel lacterende koeien.

³ In periode 1 is de voeropname niet geregistreerd, dus de berekeningen zijn op verwachte voeropname en samenstelling.

5.3.5.2 Gemeten CH₄ emissie

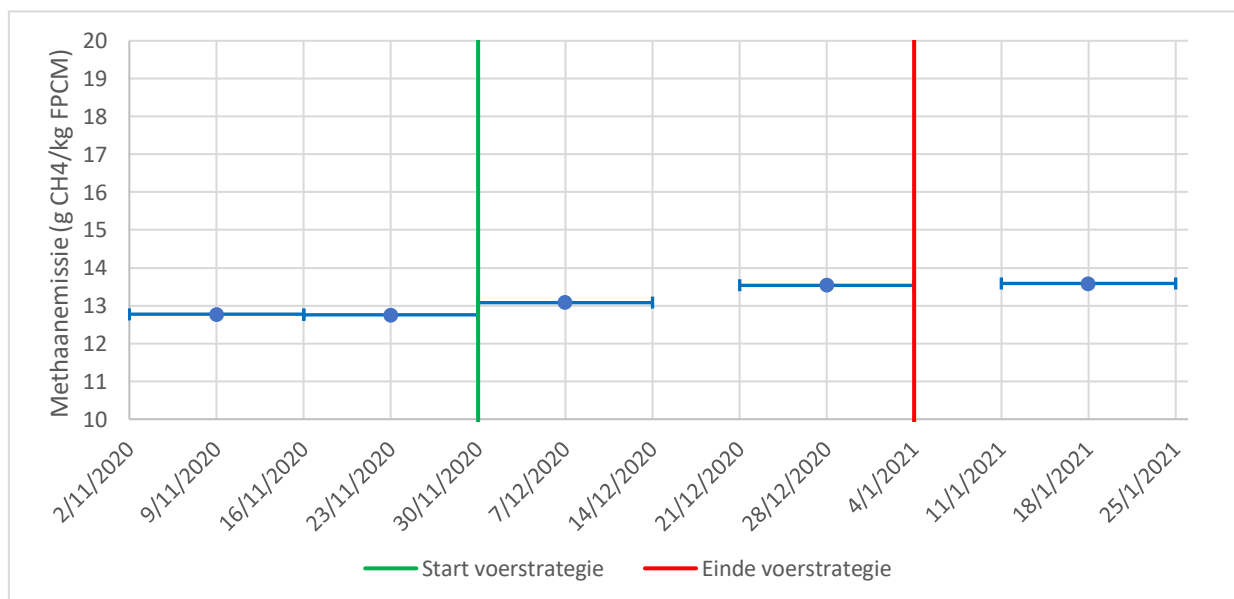
Op dit bedrijf is de enterische CH₄ emissie gemeten met de Greenfeed van 2 november 2020 tot 24 januari 2021 van 16 lacterende koeien. In november werd het basisrantsoen gemeten, in december de ontwikkelde voerstrategie en in januari weer hetzelfde basisrantsoen als in november. Er werden echter geen effecten van de voerstrategie op de CH₄ emissie gevonden. De emissie per koe per dag en per kg FPCM nam langzaam over de perioden (*i.e.* over de tijd) toe. Per kg DS nam de CH₄ emissie wel 2-3% af. De melkproductie nam langzaam af over de tijd. Dit is mogelijk een (verwacht) periode effect; het aantal dagen in lactatie van de koeien neemt over de tijd toe, doordat continu dezelfde groep koeien wordt gevolgd. De resultaten van de metingen staan in tabel 5.11 en zijn visueel weergegeven in figuur 5.10 (in g CH₄/kg FPCM).

Tabel 5.11 Overzicht van de gemiddeld gemeten CH₄ emissie, melkproductie (MPR) en geschatte voeropname van de verschillende rantsoenen tijdens de meetperiode op bedrijf E.

	Periode 1: basisrantsoen	Periode 2: voerstrategie	Periode 3: basisrantsoen
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	382,6	383,1	386,8
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	12,8	13,5	13,6
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	18,0	17,6	18,4
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	12535	12141	12444
Melkproductie (kg FPCM) ¹	32,3	29,4	29,9
Voeropname (kg DS) ²	21,8	21,7	21,0
Gemiddelde lactatiedagen	143,7	182,6	203,6
Gemiddelde lactatienummer	3,3	3,3	3,3
Aantal koeien	16	16	16

¹ FPCM van de gemeten groep lacterende koeien berekend met behulp van de MPR data zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.3, met uitzondering van periode 1, waar de voeropname niet is geregistreerd en enkel is gebaseerd op de vooraf geschatte voeropname.

² Voeropname bijgehouden volgens het protocol van Koeien & Kansen, gecorrigeerd voor de gemeten groep zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.4.

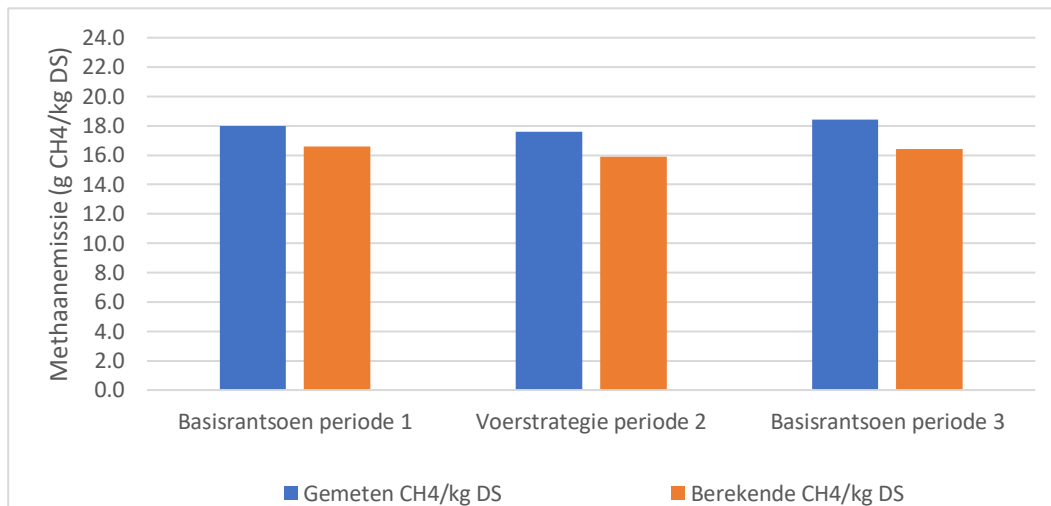


Figuur 5.10 Gemiddelde CH₄ intensiteit in g CH₄/kg FPCM gemeten tijdens de meetperiode op bedrijf E (n=18). De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen rondom elk punt). De voerstrategie is geïmplementeerd op de groene lijn en gestopt op de rode lijn. Dit betekent dat vóór de groene lijn periode 1 representeert, tussen de groene en rode lijn periode 2 en na de rode lijn vond periode 3 plaats.

5.3.5.3 Conclusie

De CH₄ intensiteit (per kg FPCM) neemt 2-3% toe over de meetperiode, maar dat kan het gevolg zijn van de toename van het aantal dagen in lactatie (van gemiddeld 159 naar 212 dagen in lactatie). Per kg DS was de gemeten CH₄ emissie circa 2-3% lager tijdens de voerstrategie zonder de TAN excretie

te beïnvloeden. De modelmatig berekende emissiereductie was ook slechts 4% (figuur 5.11). Het beoogde effect van de voerstrategie was zodanig klein dat het met deze praktijkimplementatie niet meetbaar was. De veehouder wilde in het kader van duurzaamheid en kringloplandbouw geen vet afkomstig van bijvoorbeeld palmolie toevoegen aan het rantsoen. Als alternatief werd Covalin FF, lijnzaad met pensbestendig vet en eiwit, toegevoegd. De EF van dit product is laag, maar niet negatief zoals van vet. Het was hierdoor niet mogelijk om een hogere reductie te realiseren en dat is terug te zien in de metingen. De modelmatig berekende versus gemeten CH₄ emissie weken minder dan 10% van elkaar af, wat een indicatie is dat het model de emissie voor dit bedrijf goed schatte (figuur 5.11).



Figuur 5.11 Modelmatig berekende versus gemiddeld gemeten CH₄ opbrengst in g CH₄/kg DS per meetperiode op bedrijf C. De blauwe balk geeft de gemeten CH₄ per kg DS aan, de oranje balk de modelmatig berekende CH₄ per kg DS.

6 Evalueren voerstrategieën

6.1 Algemeen

Na de meetperiode heeft er een evaluatie plaats gevonden om het ontwikkelde rantsoen te beoordelen. Wat was het gemeten effect, is het effect te verklaren, wat was positief aan het voeren van het ontwikkelde rantsoen, en wat was negatief? Deze evaluatie vond plaats met de veehouder, (voer)adviseur(s) en onderzoekers. De evaluatie is uitgeschreven en voorgelegd aan dezelfde groep, waarbij nog mogelijkheden waren tot toevoegingen, aanvullingen en wijzigingen op de evaluatie. De evaluatie is per bedrijf hieronder beschreven. Let er op dat de evaluatie onder andere bestaat uit *expert judgments*; inschattingen van deskundigen op grond van hun kennis en/of ervaringen.

6.2 Bedrijf A

Een van de belangrijkste factoren die tijdens de meetperiode heeft gespeeld op dit bedrijf, waren de hoge temperaturen (hittegolf) en droogte. Hierdoor is het uiteindelijk gevoerde rantsoen veranderd ten opzichte van de planning.

De gemeten CH₄ emissie was in mei en juni het laagst. Dit was tijdens het meten van het basisrantsoen (periode 1). In deze periode was de opname van vers gras uit de weide het hoogst, waardoor een lagere CH₄ emissie verwacht werd. Tijdens periode 2, het meten van het ontwikkelde rantsoen, was de opname van vers gras lager. Tijdens periode 3, opnieuw het basisrantsoen, werd er geen beweiding meer toegepast. Dit was niet meer mogelijk door de hoge temperaturen en droogte (te weinig grasgroei). Wel is er nog een kleine hoeveelheid vers gras in de stal gevoerd. De veranderende hoeveelheid vers gras in het rantsoen kan onvoorziene effecten gehad hebben op de emissie tussen de perioden. Daarnaast werd opgemerkt dat er grasbalen gevoerd zijn in de volledige periode en bekend is dat balen een grotere variatie (in kwaliteit, en daardoor ook emissie) over de tijd tot gevolg kunnen hebben.

Over het algemeen beviel het voeren van het ontwikkelde CH₄ arme rantsoen goed. Met name het voeren van een rantsoen met een hoger vetgehalte werd door de veehouder als positief ervaren, omdat het tijdens de hittegolf in augustus negatieve gevolgen van hittestress leek te voorkomen.

Een nadeel van het aanpassen van het krachtvoer naar een krachtvoer met een lage EF (en hoger vetgehalte), is dat het de stevigheid van de brok aantastte. De brok vergruisde teveel, waardoor er meer verspilling was.

Ten slotte gaf de voeradviseur aan dat de aanpassing van het krachtvoer naar een krachtvoer met lage EF voor één bedrijf geen probleem is, maar voor meer bedrijven mogelijk wel. Wanneer de standaard productiebrok, die in grote hoeveelheden geproduceerd moet worden, op vergelijkbare manier aangepast wordt, komt er grote druk te liggen op de grondstoffen. De grondstoffen die de EF van het krachtvoer verlagen worden dan schaarser en dus duurder. Momenteel kan er krachtvoer geproduceerd worden met een 5% lagere EF zonder hogere kostprijs, maar als de grondstoffen duurder worden niet meer. Daarnaast is de vraag of deze grondstoffen in die hoeveelheden geproduceerd worden. Dit zal mogelijk importeren uit het buitenland betekenen (wat nu ook al gebeurt), met een (mogelijk) hogere CO₂ footprint tot gevolg. De prijs van de standaard productiebrok met een lage EF zal hierdoor dus toenemen. De brok die op dit bedrijf is gevoerd tijdens de voerstrategie had een 10% lagere EF en een hogere kostprijs. Deze brok was circa €3 per 100 kg krachtvoer duurder.

6.3 Bedrijf B

Een van de belangrijkste factoren die tijdens de meetperiode op dit bedrijf heeft gespeeld, waren de hoge temperaturen (hittegolf) en droogte. Sommige koeien hadden last van hittestress, waardoor de melkproductie achteruit ging. Koeien laat in de lactatie deden er vervolgens langer over om de melkproductie weer op peil te krijgen. Deze koeien verstoren mogelijk de metingen en resultaten.

De gemeten CH₄ emissie was hoger dan de berekende emissie. Daarnaast was het effect van de voerstrategie kleiner. Het is lastig om conclusies te trekken, aangezien de extreme temperaturen een groot effect hebben gehad op zowel de melkproductie, de voeropname als de CH₄ emissie. Hierdoor is het niet te zeggen of en hoe groot het effect is van het toepassen van de voerstrategie.

Het voeren van vet aan het voerhek werd positief ervaren. Het was makkelijk te voeren, koste weinig arbeid en werd goed opgenomen door de koeien. Echter wordt het door de veehouder niet beschouwd als financieel aantrekkelijk, omdat puur vet een hoge kostprijs heeft. Wel nam het vetpercentage in de melk toe tijdens de voerstrategie en bleef ook daarna hoger. Vier maanden nadat gestopt was met het voeren van vet, was het vetpercentage in de melk nog steeds hoger. Het is onbekend wat de exacte oorzaak hiervan was.

De aangeschafte en gevoerde Protiplus (40% tarwegistconcentraat en 60% bierbostel) was, door de manier waarop het ingekuuld was in combinatie met het warme weer, niet lang houdbaar. Er moest circa 10% weggegooid worden en dit bracht extra arbeid (en kosten) met zich mee.

Een nadeel van het aanpassen van het krachtvoer naar een krachtvoer met een lage EF (en hoger vetgehalte), is dat het de stevigheid van de brok aantastte. Hoe hoger het vetgehalte van het krachtvoer, hoe minder hard deze geperst kan worden. In combinatie met het warme weer, waardoor de brok zacht werd, verguisde de brok teveel. Hiervoor was er meer verspilling en vond er brugvorming in de silo plaats. Dit zal in het vervolg moeten worden gecontroleerd en opgelost voordat een krachtvoer grootschalig in de praktijk kan worden toegepast.

Over het algemeen was het voor het bedrijf geen probleem om het krachtvoer en bijproducten te wijzigen om zo de CH₄ emissie te verlagen. De kostprijs van het krachtvoer was nagenoeg gelijk aan de eigen productiebrok. De veehouder en voeradviseur hebben wel vragen en zorgen wanneer er veranderingen gedaan moeten worden aan de ruwvoerteelt. Er wordt veel geteeld en dus gevoerd van eigen land, hoe moet deze teelt dan aangepast worden op CH₄ reductie? In andere provincies of op andere bedrijven wordt mogelijk meer voer aangekocht, waardoor het makkelijker is over te schakelen op (bij)producten met een lage EF (bv. aankoop bierbostel). Het veranderen van de eigen teelt brengt meer tijd met zich mee en hoewel er gestuurd kan worden op kwaliteit (en zo een lage EF), zijn zaken als weersomstandigheden niet altijd te beïnvloeden. Met andere woorden: Hoe lossen we de puzzel op met het stikstofprobleem, fosfaatprobleem, duurzaamheid, kringlooplandbouw, zoveel mogelijk eiwit van eigen land, behoud van productie, etc.? Dit zijn vragen die bij zowel de veehouder als voeradviseur opkomen.

6.4 Bedrijf C

Een van de meest opvallende resultaten op dit bedrijf was dat de CH₄ emissie structureel 20 tot 30% hoger gemeten werd dan modelmatig berekend. De veehouder geeft aan dat het ras van het gras hier mogelijk een rol in zou kunnen spelen. Er wordt op dit bedrijf regelmatig nieuw ingezaaid met de nieuwste grasrassen. Deze rassen zijn veredeld op kwaliteit en een verbeterde voederwaarde. Deze rassen verschillen hierdoor mogelijk van oudere grasrassen waar de rekenmodellen op gebaseerd zijn. De ervaring van het rantsoen, specifiek de grassilage, op dit bedrijf is een zeer hoge verteerbaarheid en zeer goede productie. De gebruikte modelmatige berekening schat de CH₄ emissie aan de hand van het NDF gehalte (hoger NDF gehalte leidt tot hogere CH₄ emissie) en kennelijk past de onderlinge relatie tussen NDF en CH₄ emissie niet bij de graskuilen van dit bedrijf. De gedachte van de veehouder en voeradviseur is dan ook dat deze grassilage mogelijk andere afbraakkenmerken heeft en een

ander vetzuurpatroon in de pens oplevert. Nader onderzoek naar de afbraakcharacteristieken van nieuwere grasrassen is hierdoor gewenst.

Een andere verklaring die de veehouder opperde voor de hoge gemeten CH₄ emissie is de algemene voerstrategie van het bedrijf. Op het bedrijf ligt de focus op een goede vertering in de pens en minder op zetmeelrijke producten die vooral in de darm verteerd worden. Het doel is om de pH in de pens boven de 6 te houden en een goede dieergezondheid te waarborgen. Het resultaat hiervan is volgens de veehouder een goede (ruw)voervertering en hoge voederefficiëntie. Per kg DS wordt circa 1,55 kg meetmelk geproduceerd. De veehouder en voeradviseur denken hierdoor dat de CH₄ emissie (vooral per kg DS) mogelijk hoger is dan gemiddeld.

De EF van het krachtvoer was op dit bedrijf niet gewijzigd. De voeradviseur had weinig ruimte om de EF van het krachtvoer op dit bedrijf te verlagen en verwachtte bovendien geen groot reductie effect. De reden is dat, om de EF van het krachtvoer te verlagen, er energierijke en snel verteerbare producten gekozen moeten worden. Dat is op dit bedrijf echter beperkt mogelijk, doordat het rantsoen al zeer energierijk en goed verteerbaar is. Een mogelijke oplossing is om de EF van het krachtvoer te verlagen en graszaadhooi bij te voeren om voldoende vulling in de pens te waarborgen. Deze strategie paste niet bij de visie van het bedrijf om een optimale vertering in de pens te waarborgen.

Een waargenomen effect van het voeren van het ontwikkelde rantsoen was een toename van vetzuur C16:0 (palmitinezuur) gehalte in de melk. Dit is niet wenselijk voor de melkafnemer. De veehouder gaf aan dat de betreffende melkafnemer een maximaal toegestane C16:0 gehalte in de melk hanteert van 32% en de melkrobot registreerde tijdens de voerstrategie een gehalte van 34%. Daarnaast kwam het toegevoegde vet in het rantsoen niet uit Nederland. De veehouder is hierdoor geen voorstander van het voeren van vet in het rantsoen op deze manier.

Het voeren van bierbostel werd wel als positief ervaren (dit werd ook al gevoerd op het bedrijf). De veehouder gaf wel een kanttekening: als veel meer bedrijven dit willen voeren zal er een tekort ontstaan (en een overschot van producten die een hoge EF hebben). In het rantsoen werd verder sodagrain, afkomstig uit Nederland, vervangen door maismeel, dat in dit geval uit het buitenland moest komen. De aanpassingen die in het rantsoen werden gedaan om de CH₄ emissie te verlagen stonden hierdoor tegenover de visie van de veehouder om kringlopen te sluiten en zoveel mogelijk producten lokaal te winnen en gebruiken.

Er zijn zorgen over de reductiedoelen, omdat de gemeten emissie veel hoger is dan de berekende. Volgens de modelberekening kan het bedrijf de doelen halen (CH₄ emissie per kg melk 8% onder het Nederlands gemiddelde en er was meer dan 12% reductie mogelijk), maar volgens de metingen niet. Als deze metingen kloppen, is het gekozen bedrijfssysteem mogelijk niet toekomstbestendig en dat baart de veehouder zorgen. In 2030 voorziet de veehouder problemen voor zijn bedrijf. Met name de integrale aanpak om ook reducties voor stikstof, fosfor en de CO₂ footprint te behalen wordt gezien als een grote uitdaging.

6.5 Bedrijf D

In algemene zin is het voeren van het ontwikkelde rantsoen goed bevallen. De belangrijke aspecten voor de veehouder (en voeradviseur) die meegenomen werden in de beoordeling van het rantsoen waren dieergezondheid, kostprijs en het effect op emissies. Ook het gemak van het voeren is meegenomen. Het extra vet in het rantsoen was toegevoegd aan het krachtvoer en dat beviel goed. Op het gebied van werkbaarheid was er geen verschil in voeren met de eigen krachtvoerbrok (behalve de kosten). De voeradviseur gaf wel aan dat zij ervaring hebben met de problematiek die kan ontstaan wanneer er een hoog vetgehalte in de brok wordt geperst. Bij warmer weer valt deze sneller uit elkaar. Omdat de meetperiode op dit bedrijf in de herfst en winter plaatsvond, waren er geen problemen. Ze konden tot 87 g vet per kg DS toevoegen aan de brok zonder negatieve effecten op de kwaliteit van de brok.

Diergezondheid staat voor de veehouder bovenaan en dat is tijdens het voeren van het ontwikkelde rantsoen in de gaten gehouden. Er zijn geen problemen waargenomen met de werking van de pens, maar er is een toename gevonden van het celgetal in de melk. Het is niet bekend of dit een oorzaak is van de voerstrategie, aangezien ook weken na het overstappen op het eigen rantsoen het celgetal nog hoger was. Dit is iets om in de gaten te houden in het vervolg om uit te sluiten dat er verbanden zijn.

De voerkosten waren circa €0,69 per koe per dag hoger (2,29 cent per kg meetmelk). Hoewel de melkproductie tijdens de voerstrategie toenam (met circa 4%), was de voerwinst per 100 kg melk circa 19% lager (de hogere voerkosten werden niet gecompenseerd door de hogere melkproductie). Dit maakt de voerstrategie financieel niet aantrekkelijk voor de veehouder. Een belangrijk aspect van het voeren van een rantsoen met CH₄ reductie potentie is dat het economisch uit kan. Omdat de kostprijs van het rantsoen hoger is, zou hier economisch zeker iets tegenover moeten staan om als bedrijf winstgevend te blijven.

De resultaten van de voerstrategie (kostprijs daar gelaten) worden door de veehouder als veelbelovend gezien; er is een CH₄ reductie gemeten van circa 10-15%, wat het voeren van het ontwikkelde rantsoen interessant maakt. De resultaten laten de veehouder de toegevoegde waarde van het aanpassen van het rantsoen zien. Ook op individueel dierniveau waren de waargenomen effecten te verklaren. De meeste koeien lieten een reductie zien. Er was één koe die juist een sterke toename in CH₄ emissie liet zien tijdens de voerstrategie, wat verklaard werd door het lactatiestadium. Deze koe zat tijdens periode 1 (basisrantsoen) in de eerste dagen van lactatie, waar een negatieve energiebalans zichtbaar was; de melkgift was hoog en de emissie laag (zeer lage CH₄ emissie per kg FPCM). Tijdens de voerstrategie stabiliseerde de energiebalans langzaam, waardoor de CH₄ emissie per kg FPCM toenam. Deze resultaten lieten het grote effect zien van lactatiestadium op de CH₄ emissie wat in eerder onderzoek ook werd gezien (Koning *et al.*, 2020). Het is daarom belangrijk voor vervolgonderzoek, gericht op het effect van voerstrategieën op de CH₄ emissie, geen verse koeien in een negatieve energiebalans in de testgroep mee te nemen. Zeker op praktijkbedrijven, waar oncontroleerbare invloeden (factoren waar niet voor gecorrigeerd kan worden) zorgen voor meer variatie, is het belangrijk waar mogelijk te filteren op effecten die resultaten drastisch beïnvloeden.

6.6 Bedrijf E

Het was op dit bedrijf erg lastig om een reductie groter dan 5% te realiseren. De CH₄ emissie per kg melk op dit bedrijf ligt al 15% lager dan het gemiddelde bedrijf op veengrond (CH₄ per kg DS circa 11% lager) en de TAN emissie ligt al ver onder de gestelde doelen. Dit maakt het lastiger om potentie te vinden om de emissie nog verder te reduceren, vooral wanneer het voeren van vet niet tot de mogelijkheden behoort. De veehouder was geen voorstander van het voeren van producten zoals palmolie, die volgens hem niet passen binnen het kader van duurzame veehouderij en kringlooplandbouw. Gezien de beperkte ruimte om bijproducten te vervangen door producten met een lagere EF, werd er niet meer dan 4% reductie gerealiseerd.

Voor zowel de veehouder als adviseurs blijft de vraag welke maatregelen ze nog kunnen nemen om een reductie van CH₄ emissie te realiseren. Het gevoel is dat maatregelen die een positief effect hebben op CH₄ reductie, niet passen bij het toekomstperspectief van het bedrijf. Dit bedrijf wil bijvoorbeeld extensiveren, wat volgens hen goed past in de gedachte van kringlooplandbouw. De voerefficiëntie zal hierdoor afnemen en dat botst met de CH₄ reductie strategie.

Andere maatregelen, zoals lichter maaien en meer weiden, zijn niet op elk bedrijf een optie. De huiskavels van dit bedrijf lenen zich niet voor meer beweiding. Hoewel lichter maaien een optie is, zou de veehouder dit alleen als lange termijn strategie overwegen wanneer dit een bewezen effect heeft op zowel de CH₄ als NH₃ emissie. Daarnaast betekent lichter maaien minder kg DS per hectare, en ook dat heeft zijn beperkingen, want er moet geen ruwvoertekort ontstaan. De veehouder zou wel geïnteresseerd zijn in het toepassen van (natuurlijke) additieven om de CH₄ emissie te verlagen.

7 Vervolg: scenariostudies

7.1 Algemeen

Na het toepassen van een voerstrategie voor enkele weken, is voor bedrijf B (op kleigrond), D (op zandgrond) en E (op veengrond) met *Dairywise* (ook wel BBPR; Bedrijfs Begrotings Programma Rundvee) een modelmatige verkennende berekening uitgevoerd om te onderzoeken of de reductiepotentie op het bedrijf ook jaarrond kan worden gerealiseerd. Daarnaast is gekeken of het maatregelenpakket ook jaarrond toegepast kan worden, waarbij rekening gehouden wordt met alle aspecten van het bedrijf. Hiervoor is een maatregelenpakket op korte termijn en een maatregelenpakket op lange termijn met *Dairywise* doorgerekend. Ook is gekeken welke gevolgen de maatregelenpakketten hebben voor de NH₃ emissie. Uitgangspunt voor de berekeningen zijn de resultaten die in 2019 zijn gerealiseerd. Dit is de basissituatie. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de KLV gegevens van 2019. Echter de gewasopbrengsten zijn ingeschat op basis van een "gemiddeld weerjaar". Een deel van de maatregelen die in de vorige hoofdstukken zijn toegepast zijn hier ook in verwerkt (korte termijn maatregelen). De scenariostudie is aangevuld met lange termijn maatregelen die volgens onderzoekers toepasbaar zijn op het bedrijf. Ten slotte is er een simulatie gedaan waarbij uitgegaan is van lagere EF waarden voor de gevoerde ruwvoerders, die mogelijk te realiseren zijn met teeltaanpassingen. Hierbij moet rekening gehouden worden dat deze doelen erg ambitieus zijn en het niet bekend is of zulke resultaten jaarrond gehaald kunnen worden. 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 wordt gemaakt van jaarrond CH₄ emissie (inclusief droogstand) en er ook rekening wordt gehouden met jongvee. Deze factoren zijn niet meegenomen bij het ontwikkelen van de voerstrategie, omdat die groepen niet doorgemeten zijn, maar zijn wel belangrijke factoren voor de CH₄ reductie op bedrijfsniveau.

7.2 Bedrijf B (kleigrond)

Voor de scenariostudie is onderscheid gemaakt in een maatregelenpakket die op korte termijn ingevoerd kan worden en maatregelen voor op lange termijn. De resultaten van de scenariostudie richten zich op de productie van de koeien, productie van het land, economische gevolgen en de CH₄ emissie (per kg melk).

Voor de korte termijn is voor dit bedrijf het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- 0,5 kg DS vet (met EF=-11.1 g CH₄/kg DS) per dag aan melkkoeien voeren in de lactatie.
- 3% van het ruwvoer als stro (EF=17 g CH₄/kg DS) voeren in de lactatieperiode om voldoende vulling in de pens te hebben.
- Ongeveer 23% minder graskuil voeren aan de melkkoeien. Dat houdt in meer graskuil verkopen en geen graskuil meer bijvoeren in de weideperiode, enkel maissilage (naast bewerkt weiden circa 8 kg DS snijmaissilage).
- Minder RE in het krachtvoer voeren (van ongeveer 240 naar 220 g RE per kg krachtvoer).
- CH₄ arm krachtvoer voeren met EF van 16 g CH₄/kg DS en de samenstelling afstemmen op het nieuwe rantsoen voor wat betreft VEM, DVE, OEB en RE.
- Ongeveer 200 kg melk per koe meer produceren (naar 9500 kg melk per koe).

Voor de lange termijn is voor dit bedrijf het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- 0,5 kg DS vet (met $EF = -11.1$ g CH_4 /kg DS) per dag aan melkkoeien voeren in de lactatie.
- 3% van het ruwvoer als stro ($EF = 17$ g CH_4 /kg DS) voeren in de lactatieperiode om voldoende vulling in de pens te hebben.
- De EF van de maissilage verlagen naar 17,9 g CH_4 /kg DS door ander type mais te telen.
- Geen graskuil meer bijvoeren in de stal tijdens beweiding, enkel snijmaissilage (de situatie verandert dan van beperkt weiden met 8 kg DS bijvoeren in de stal, waarvan 37% graskuil, naar beperkt weiden met 8 kg DS snijmaissilage bijvoeren in de stal).
- Circa 21% minder graskuil voeren door lichter te maaien en te weiden, en door minder kunstmest strooien (40 kg N/ha minder op het grasland). Hierdoor zal meer snijmaissilage worden aangekocht.
- Minder RE in krachtvoer voeren (van ongeveer 240 naar 220 g RE per kg krachtvoer).
- CH_4 arm krachtvoer voeren met EF van 16 g CH_4 /kg DS en de samenstelling afstemmen op het nieuwe rantsoen voor wat betreft VEM, DVE, OEB en RE.
- Opbrengst sorghum verhogen van 8,3 naar 15 ton DS/ha.
- Ongeveer 200 kg melk per koe meer produceren (naar 9500 kg melk per koe).
- Pinken het hele jaar weiden.

Tabel 7.1 laat de effecten van de korte en lange termijn maatregelenpakketten op de NH_3 en CH_4 emissie ten opzichte van de basissituatie zien. De complete uitdraai (algemene resultaten, economische gevolgen, CH_4 emissie) van de maatregelenpakketten staan in bijlage 8. Op korte termijn kan de CH_4 emissie dalen met 7,6% en op lange termijn met 13,1% ten opzichte van de basissituatie (KLW 2019) zonder maatregelen. De reductie die gehaald wordt met het lange termijn maatregelenpakket voldoet aan de gestelde doelen voor 2030 (hoofdstuk 3). Deze uitgangspunten zijn een behoudende inschatting van het reductiepotentieel bij de genomen maatregelen. Ingeschat wordt dat op korte termijn de genomen maatregelen tot een inkomensstijging leiden van ongeveer € 3700 en op lange termijn van ongeveer € 4600. Hierbij is het uitgangspunt dat vet voor € 590/ton wordt aangekocht en dat CH_4 arm krachtvoer € 0,50 per 100 kg duurder is dan het huidige krachtvoer (krachtvoer dat in de basissituatie gevoerd wordt).

Ten slotte is er een simulatie gedaan met de mogelijk maximale reductiepotentie wanneer lagere EF waarden voor vers gras, grassilage, maissilage en krachtvoer gerealiseerd kunnen worden (tabel 7.1). Voor het maatregelenpakket op korte termijn zou dit alleen gerealiseerd kunnen worden voor snijmaissilage (aankoop) en krachtvoer, voor het maatregelenpakket op lange termijn voor alle ruwvoerders (via eigen teelt). Bij vers gras is uitgegaan van een minimale EF van 17 g CH_4 /kg DS wanneer er bij lichte sneden wordt ingeschaard. Bij grassilage is het uitgangspunt een minimale EF van 18 g CH_4 /kg DS als er lichte maaisneden worden toegepast en bij snijmaissilage is gerekend met een minimale EF van 14,5 g CH_4 /kg DS. Dit kan mogelijk gerealiseerd worden wanneer het juiste ras en juiste oogstmoment wordt gekozen. Voor krachtvoer is bij deze simulatie gerekend met een EF van 15 g CH_4 /kg DS. Met deze ambitieuze EF waarden is de reductiepotentie voor CH_4 op korte termijn 14,3% en op lange termijn 25,6% ten opzichte van de basissituatie. Hiermee wordt ruim voldaan aan de gestelde doelen voor 2030. Deze uitgangspunten zijn een zeer ambitieuze inschatting van het reductiepotentieel bij de genomen maatregelen. Om bovenstaande emissiefactoren technisch te realiseren binnen de bedrijfsvoering, zullen nog te publiceren onderzoeksresultaten en verdere expertkennis nodig zijn.

Naast een inschatting van de pakketten voor de korte termijn en lange termijn op de CH_4 emissie is met behulp van *Dairywise* ook het effect op de NH_3 emissie ingeschat. Op korte termijn daalt de ammoniakemissie per ha met 7,6%. Het lange termijn maatregelenpakket leidt tot een daling van de ammoniakemissie per ha met 13,1%. In de maatregelenpakketten is een productieverhoging per koe opgenomen. Per ton melk daalt de NH_3 emissie hierdoor op korte termijn met 9,4% en op lange termijn met 14,8%.

Tabel 7.1 CH₄ en NH₃ emissie van de basissituatie en de maatregelenpakketten op korte en lange termijn doorgerekend met Dairywise voor bedrijf B.

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	19523	18230	17414
Geproduceerde melk (x1000 kg)	1034,0	1055,5	1055,5
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	18,9	17,3	16,5
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		8,5%	12,6%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	71,4	66,0	62,1
NH ₃ reductie per ha t.o.v. basissituatie		7,6%	13,1%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /1000 kg melk)	3,4	3,0	2,9
NH ₃ reductie per 1000 kg melk t.o.v. basissituatie		9,4%	14,8%
Simulatie maximale CH₄ reductiepotentie (o.b.v. minimale EF waarden ruwvoer)			
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	19509	17059	14812
Geproduceerde melk (x1000 kg)	1034,0	1055,5	1055,5
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	18,9	16,2	14,0
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		14,3%	25,6%

7.3 Bedrijf D (zandgrond)

Er is voor de scenarioberekening zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de KLW gegevens van 2019. De gewasopbrengsten zijn echter ingeschat op basis van een "gemiddeld weerjaar" en voor dit specifieke bedrijf is gerekend met een VEM waarde van gewonnen kuilvoer van 900 VEM. Dit is lager dan in 2019, maar sluit beter aan bij een gemiddeld weerjaar en 2020.

Voor de korte termijn is voor bedrijf D het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- 0,53 kg DS vet (met EF=-11.1 g CH₄/kg DS) per dag aan melkkoeien voeren in de lactatie.
- 4% van het ruwvoer als stro (EF=17 g CH₄/kg DS) voeren in de lactatieperiode om voldoende vulling in de pens te hebben.
- Ongeveer 19% minder graskuil voeren aan de melkkoeien. Dat houdt in meer graskuil verkopen.
- Geen persulp meer voeren, maar vervangen door 2 kg DS bierbostel per koe per dag tijdens lactatie (EF=15 g CH₄/kg DS).
- CH₄ arm krachtvoer voeren met EF van 15 g CH₄/kg DS en de samenstelling afstemmen op het nieuwe rantsoen voor wat betreft VEM, DVE, OEB en RE.

Voor de lange termijn is voor dit bedrijf het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- 0,53 kg DS vet (met EF=-11.1 g CH₄/kg DS) per dag aan melkkoeien voeren in de lactatie.
- De EF van de maissilage verlagen van 19,9 naar 17,5 g CH₄/kg DS door mais te oogsten met meer bestendig zetmeel.
- Meer weiden en geen graskuil meer bijvoeren in de stal tijdens beweiding, enkel snijmaissilage (de situatie verandert dan van beperkt weiden met 9 kg DS bijvoeren in de stal, waarvan 56% grassilage, naar beperkt weiden met 6 kg DS snijmaissilage bijvoeren in de stal).
- Circa 39% minder graskuil voeren door lichter te maaien en te weiden. Hierdoor zal meer snijmaissilage worden aangekocht.
- Lichtere maai- en weidesneden toepassen (ongeveer 600 kg DS/ha lichtere sneden en inscharen bij 100 kg DS/ha lichtere sneden). De EF van de grassilage en het verse gras daalt hiermee volgens de rekenregels van BBPR gemiddeld met 0,2-0,3 g CH₄/kg DS.
- Geen persulp meer voeren (in verband met een hoge EF), maar vervangen door 2 kg DS bierbostel per koe per dag tijdens lactatie (EF=15 g CH₄/kg DS).

-
- CH₄ arm krachtvoer voeren met EF van 15 g CH₄/kg DS en de samenstelling afstemmen op het nieuwe rantsoen voor wat betreft VEM, DVE, OEB en RE.
 - Meer dan 500 kg melk per koe meer produceren (naar 9000 kg melk per koe).

Voor het maatregelenpakket op lange termijn is het volgens voedingsdeskundige niet nodig om 4% van het ruwvoer als stro te voeren om voldoende vulling in de pens te hebben. Het rantsoen van het maatregelenpakket op lange termijn zou al voldoende structuur bevatten, waardoor deze maatregel niet is meegenomen in de scenariostudie. Tabel 7.2 laat de effecten van de korte en lange termijn maatregelenpakketten op de NH₃ en CH₄ emissie ten opzichte van de basissituatie zien. De complete uitdraai (algemene resultaten, economische gevolgen, CH₄ emissie) van de maatregelenpakketten staan in bijlage 9. Op korte termijn kan de CH₄ emissie dalen met 11,7% en op lange termijn met 15,4% ten opzichte van de basissituatie. Deze uitgangspunten zijn een behoudende inschatting van het reductiepotentieel bij de genomen maatregelen. De reductie die gehaald wordt met het lange termijn maatregelenpakket voldoet aan de gestelde doelen voor 2030 (hoofdstuk 3). De ingeschatte economische gevolgen voor dit bedrijf zijn echter minder positief. Ingeschat wordt dat het maatregelenpakket op korte termijn tot een inkomensdaling zal leiden van ongeveer € 4000 en het maatregelenpakket op lange termijn een daling ongeveer € 2500. Hierbij is het uitgangspunt dat vet voor € 590/ton wordt aangekocht en dat CH₄ arm krachtvoer € 0,50 per 100 kg duurder is dan het huidige krachtvoer.

Er is ook een simulatie gedaan met de mogelijk maximale reductiepotentie wanneer lagere EF waarden voor de ruwvoerders (vers gras, grassilage en maissilage) gerealiseerd kunnen worden. Voor het maatregelenpakket op korte termijn zou dit alleen gerealiseerd kunnen worden voor de snijmaissilage via aankoop, voor het maatregelenpakket op lange termijn ook voor de andere ruwvoerders via eigen teelt. Bij vers gras is uitgegaan van een minimale EF van 17 g CH₄/kg DS wanneer er bij lichte sneden wordt ingeschaard. Bij grassilage is het uitgangspunt een minimale EF van 18 g CH₄/kg DS als er lichte maaisneden worden toegepast en bij snijmaissilage is gerekend met een minimale EF van 14,5 g CH₄/kg DS (op korte termijn alleen mogelijk door aankoop, op lange termijn ook via eigen teelt). Dit kan mogelijk gerealiseerd worden wanneer het juiste ras en juiste oogstmoment wordt gekozen. Met deze ambitieuze EF waarden is de reductiepotentie voor CH₄ op korte termijn 13,6% en op lange termijn 26,7% ten opzichte van de basissituatie (tabel 7.2). Hiermee wordt (ruim) voldaan aan de gestelde doelen voor 2030. Deze uitgangspunten zijn een zeer ambitieuze inschatting van het reductiepotentieel bij de genomen maatregelen. Om bovenstaande emissiefactoren technisch te realiseren binnen de bedrijfsvoering, zullen nog te publiceren onderzoeksresultaten en verdere expertkennis nodig zijn.

Naast een inschatting van de pakketten voor de korte termijn en lange termijn op de CH₄ emissie is met behulp van *Dairywise* ook het effect op de NH₃ emissie ingeschat. De NH₃ emissie blijft volgens de scenariostudie ongeveer gelijk. Op korte termijn daalt de ammoniakemissie per ha met 0,2%. Het lange termijn maatregelenpakket leidt tot een stijging van de ammoniakemissie per ha met 6,3%. In dit maatregelenpakket wordt echter een productieverhoging per koe verwacht; de hoeveelheid afgeleverde melk stijgt met ruim 55 ton melk. Per ton melk blijft de NH₃ emissie bij het lange termijn scenario hierdoor gelijk aan die van de basissituatie (3,1 kg NH₃/1000 kg melk).

Tabel 7.2 CH₄ en NH₃ emissie van de basissituatie en de maatregelenpakketten op korte en lange termijn doorgerekend met Dairywise voor bedrijf D.

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	15375	13579	13850
Geproduceerde melk (x1000 kg)	849,3	849,3	904,5
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	18,1	16,0	15,3
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		11,7%	15,4%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	56,2	56,1	59,8 ¹
NH ₃ reductie per ha t.o.v. basissituatie		0,2%	-6,3% ¹
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /1000 kg melk)	3,1	3,1	3,1
NH ₃ reductie per 1000 kg melk t.o.v. basissituatie		0,2%	0,1%
Simulatie maximale CH₄ reductiepotentie (o.b.v. minimale EF waarden ruwvoer)			
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	15375	13286	12004
Geproduceerde melk (x1000 kg)	849.3	849.3	904.5
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	18.1	15.6	13.3
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		13.6%	26.7%

¹ NH₃ emissie per hectare neemt bij het lange termijn pakket toe, maar per 1000 kg melk blijft de NH₃ emissie gelijk.

7.4 Bedrijf E (veengrond)

Voor de korte termijn is voor bedrijf E het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- 0,5 kg DS vet (met EF=-11.1 g CH₄/kg DS) per dag aan melkkoeien voeren in de lactatie.
- 3% van het ruwvoer als stro (EF=17 g CH₄/kg DS) voeren in de lactatieperiode om voldoende vulling in de pens te hebben.
- Geen Sodagrain meer voeren, maar vervangen door 3 kg DS maisglutenvoer per koe per dag tijdens lactatie (EF=15 g CH₄/kg DS).
- CH₄ arm krachtvoer voeren met EF van 15 g CH₄/kg DS en de samenstelling afstemmen op het nieuwe rantsoen voor wat betreft VEM, DVE, OEB en RE. Een deel van het krachtvoer blijft bestaan uit erwtenvezels, sojaschroot en gerst, dus de gemiddelde EF van het krachtvoer (mengvoer) wordt 16 g CH₄/kg DS.

Voor de lange termijn is voor dit bedrijf het volgende maatregelenpakket doorgerekend:

- 0,5 kg DS vet (met EF=-11.1 g CH₄/kg DS) per dag aan melkkoeien voeren in de lactatie.
- 3% van het ruwvoer als stro (EF=17 g CH₄/kg DS) voeren in de lactatieperiode om voldoende vulling in de pens te hebben.
- Geen Sodagrain meer voeren, maar vervangen door 3 kg DS maisglutenvoer per koe per dag tijdens lactatie (EF=15 g CH₄/kg DS).
- De EF van de maissilage verlagen naar 17 g CH₄/kg DS door mais met een lagere EF te telen en aan te kopen.
- Meer weiden en geen graskuil meer tijdens beweiding bijvoeren, enkel snijmaissilage (de situatie verandert dan van beperkt weiden met 7,5 kg DS bijvoeren in de stal, waarvan 47% grassilage, naar beperkt weiden met 6 kg DS snijmaissilage bijvoeren in de stal).
- Lichtere maaisneden toepassen (ongeveer 500 kg DS/ha lichtere sneden).
- Geen grassilage meer aankopen bij tekort, enkel maissilage als ruwvoer aankopen.
- CH₄ arm krachtvoer voeren met EF van 15 g CH₄/kg DS en de samenstelling afstemmen op het nieuwe rantsoen voor wat betreft VEM, DVE, OEB en RE. Geen erwtenvezels, sojaschroot en gerst meer voeren.
- Pinken de hele zomer weiden.

Tabel 7.3 laat de effecten van de korte en lange termijn maatregelenpakketten op de NH₃ en CH₄ emissie ten opzichte van de basissituatie zien. De volledige resultaten van de maatregelenpakketten staan in bijlage 10. Op korte termijn kan de CH₄ emissie per kg melk dalen met 9,1% en op lange

termijn met 12,3% ten opzichte van de basissituatie. De CH₄ reductie die gehaald wordt met beide maatregelenpakketten voldoet ook aan de gestelde doelen voor 2030 (hoofdstuk 3). Deze uitgangspunten zijn een behoudende inschatting van het reductiepotentieel bij de genomen maatregelen. Ingeschat wordt wel dat op korte termijn de genomen maatregelen tot een inkomensdaling leiden van ongeveer € 5600 en dat op lange termijn het inkomen ongeveer gelijk blijft ten opzichte van de basissituatie. 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 uit de basis.

Ook voor dit bedrijf is een simulatie uitgevoerd die de maximale reductiepotentie weergeeft wanneer lagere EF waarden voor grassilage, maissilage en krachtvoer gerealiseerd kunnen worden. Voor het maatregelenpakket op korte termijn zou dit alleen gerealiseerd kunnen worden voor het krachtvoer (EF=15 g CH₄/kg DS). Voor het maatregelenpakket op lange termijn zou dit ook gerealiseerd kunnen worden voor de ruwvoerders via eigen teelt. Bij grassilage is het uitgangspunt een minimale EF van 18 g CH₄/kg DS als er lichte maaisneden worden toegepast. Bij snijmaissilage is gerekend met een minimale EF van 14,5 g CH₄/kg DS. Dit kan mogelijk gerealiseerd worden via eigen teelt wanneer het juiste ras en juiste oogstmoment wordt gekozen. Met deze ambitieuze EF waarden is de reductiepotentie voor CH₄ op korte termijn 9,8% en op lange termijn zelfs 20% ten opzichte van de basissituatie (tabel 7.2). Hiermee wordt (ruim) voldaan aan de gestelde doelen voor 2030. Deze uitgangspunten zijn een zeer ambitieuze inschatting van het reductiepotentieel bij de genomen maatregelen.

Naast een inschatting van de pakketten voor de korte termijn en lange termijn op de CH₄ emissie is met behulp van *Dairywise* ook het effect op de NH₃ emissie ingeschat. Op korte termijn stijgt de ammoniakemissie per ha met 4,7%, maar met het lange termijn maatregelenpakket daalt de ammoniakemissie per ha met 13,5% (tabel 7.3).

Tabel 7.3 CH₄ en NH₃ emissie van de basissituatie en de maatregelenpakketten op korte en lange termijn doorgerekend met *Dairywise* voor bedrijf E.

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	20647	18771	18103
Geproduceerde melk (x1000 kg)	1198,8	1198,8	1198,8
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	17,2	15,7	15,1
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		9,1%	12,3%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /ha)	56,7	59,4	49,0
NH ₃ reductie per ha t.o.v. basissituatie		-4,7% ¹	13,5%
NH ₃ emissie (kg NH ₃ /1000 kg melk)	3,0	3,1	2,6
NH ₃ reductie per 1000 kg melk t.o.v. basissituatie		-4,8% ¹	13,6%
Simulatie maximale CH₄ reductiepotentie (o.b.v. minimale EF waarden ruwvoer)			
CH ₄ emissie per bedrijf (kg CH ₄ /jaar)	20647	18624	16524
Geproduceerde melk (x1000 kg)	1198,8	1198,8	1198,8
CH ₄ emissie (kg CH ₄ /1000 kg melk)	17,2	15,5	13,8
CH ₄ reductie t.o.v. basissituatie		9,8%	20,0%

¹ NH₃ emissie per hectare en per 1000 kg melk neemt bij het korte termijn pakket dus toe, bij het lange termijn pakket neemt de emissie wel af.

8 Discussie en conclusies

8.1 Ervaringen ontwikkelen voerstrategieën

In 2020 is op vijf praktijkbedrijven een implementatie uitgevoerd, waarbij voerstrategieën zijn toegepast met als doel de (enterische) CH₄ emissie en TAN excretie te reduceren. Het uitgangspunt was een reductie van CH₄ te realiseren, zonder de TAN excretie negatief te beïnvloeden. Omdat in 2020 nog geen aanpassingen gedaan konden worden aan de eigen (ruwvoer)teelt, lag de focus van deze eerste prototyping ronde op het aanpassen van bijproducten en het krachtvoer. Hoewel de reductieopties bedrijfsspecifiek waren (sommige opties hadden op een bedrijf een minimaal effect, terwijl dat bij een ander bedrijf grotere winst opleverde), kwamen ze op het volgende neer:

- Bijproducten met een hoge emissiefactor vervangen door bijproducten met een lage emissiefactor, zoals raapzaadschroot, maismeel en bierbostel.
- De emissiefactor van het krachtvoer verlagen, door andere grondstoffen te gebruiken en/of het vetgehalte te verhogen.
- Het toevoegen van (pensbestendig) vet aan het rantsoen.
- Minder ruwvoer in het rantsoen (dus meer krachtvoer voeren).
- Minder grassilage in het ruwvoer (dus meer maissilage).

De vijf bedrijven hadden volgens de KLV 2018 gemiddeld al een 6 tot 23% lagere CH₄ emissie (per kg melk) ten opzichte van het Nederlands gemiddelde op die grondsoort, en een 4 tot meer dan 35% lagere TAN excretie (per kg melk). Op vier van de vijf bedrijven was het vervolgens mogelijk om nog eens 7-15% reductie te realiseren voor CH₄ op basis van de modelberekeningen. Zij haalden hierdoor volgens de berekeningen ten opzichte van het Nederlands gemiddelde 2018 (per kg melk) 20% reductie of meer. Tegelijkertijd werd de TAN excretie niet of nauwelijks beïnvloed. Voor twee bedrijven daalde de TAN excretie zelfs met 7-13%. Vier bedrijven haalden hiermee de reductiedoelen voor de NH₃ emissie. De grootste CH₄ reductie werd gehaald door het toevoegen van extra vet aan het rantsoen (van circa 3,5% naar 5,5%). Op het bedrijf waar de meeste reductie werd gehaald, werd maissilage met een lage emissiefactor aangekocht. Op het vijfde bedrijf was het toevoegen van puur vet aan het rantsoen geen optie, omdat dit niet aansloot bij de visie van deze melkveehouder. Vet afkomstig van palmolie voldeed volgens de melkveehouder niet aan de duurzame veehouderij en kringlooplandbouw visie van het bedrijf. Hierdoor werd op dit bedrijf minder dan 5% berekende reductie (per kg DS) gehaald. Dit bedrijf heeft al wel een 15% lagere CH₄ productie per kg melk ten opzichte van het Nederlands gemiddelde 2018, waardoor het alsnog een 20% lagere CH₄ productie en een 30% lagere TAN excretie per kg melk ten opzichte van het Nederlands gemiddelde realiseerde.

Het ontwikkelen van de voerstrategieën liet zien dat het voor deze bedrijven zonder het toevoegen van extra vet aan het rantsoen, lastig was om de reductiepotentie van 20% te halen (zonder aanpassen van de ruwvoerteelt). Het sturen van de ruwvoerkwaliteit naar een lagere EF zal vermoedelijk de grootste effecten gaan opleveren, maar zal ook de grootste inspanning vragen. Deze eerste prototyping ronde liet zien dat 20% CH₄ reductie gedurende een korte periode werd gerealiseerd. Opschalen naar een jaarrond emissiereductie zal verdere ontwikkeling van de bedrijfsvoering vragen, wat in kaart wordt gebracht via het prototyping model.

8.2 Implementeren voerstrategieën

Op twee bedrijven (bedrijf A en B) werden geen of nauwelijks effecten gemeten, maar hadden weersinvloeden mogelijk een groot effect op de meetperiode (op bedrijf B was de CH₄ emissie 6% lager per kg DS, maar 19% hoger per kg meetmelk). Omdat de voeropname en melkgift tijdens de meetperiode niet stabiel waren, kunnen er geen conclusies worden getrokken uit de bevindingen op deze twee bedrijven. Op twee bedrijven (bedrijf C en D) werd een CH₄ reductie van 9-12% gemeten

(per kg DS). Dit kwam overeen met (of was iets lager dan) de modelmatig geschatte reductie. Op één bedrijf (bedrijf E) werd geen effect van de voerstrategie gemeten (2% CH₄ reductie per kg DS, 2% CH₄ toename per kg meetmelk), maar was de modelmatig geschatte reductie ook minder dan 4%. Het beoogde effect van de voerstrategie was waarschijnlijk te klein en daardoor niet meetbaar met behulp van de Greenfeed.

Opvallend was dat de modelmatig berekende CH₄ emissie (per kg DS) op drie van de vijf bedrijven circa 10-20% lager was dan de gemeten emissie. Het model heeft de emissiefactor van de rantsoenen in deze gevallen mogelijk niet goed geschat. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of er rantsoeneigenschappen zijn die hier verantwoordelijk voor zijn. Eén van de vervolgotrajecten van dit project richt zich daarom op de rol van graskuilkwaliteit op pens- en afbraak karakteristieken, en het effect hiervan op de CH₄ emissie.

Het voeren van (pensbestendig) vet in het rantsoen kan leiden tot een maatschappelijke discussie. Hoewel vetten de enterische CH₄ emissie van koeien verlagen (negatieve EF), verhoogd de aankoop van bijvoorbeeld palmolie de CO₂ footprint van de melk wanneer deze niet lokaal gewonnen worden. Bij het gebruiken van deze maatregel zal daarom gekeken moeten worden naar alternatieve vetten die lokaal te winnen zijn, zoals lijnzaadolie of koolzaadolie.

Het in de praktijk voeren van laag emissie rantsoenen en het meten van het reductie effect levert naast kennis en inzicht ook vragen op waar rekening mee gehouden moet worden voordat de voerstrategieën in de brede praktijk geïmplementeerd kunnen worden. Ten eerste liepen de meningen over het voeren van pensbestendig vet uiteen. Hoewel het bij sommige veehouders als positief werd ervaren door het mogelijk voorkomen van hittestress, waren andere veehouders sceptisch door het verhoogde gehalte C16:0 vetzuren in de melk (niet gewenst door de melkfemer) of doordat het niet past binnen hun kringlooplandbouw visie. Daarnaast leidde het voeren van een krachtvoerbrok met een hoger vetgehalte tot een zachtere brok die sneller uit elkaar viel, wat niet werkbaar was voor de veehouder in verband met meer verspilling en kans op brugvorming in de silo. Ten tweede zijn de kosten voor een krachtvoer met bijvoorbeeld een 10% lagere emissiefactor momenteel zo'n 3 tot 7 euro per 100 kg krachtvoer hoger dan reguliere krachtvoerders. Voeradviseurs geven aan dat deze kosten alleen maar zullen toenemen wanneer meer bedrijven overstappen op krachtvoer met dezelfde grondstoffen en deze grondstoffen schaars worden. Voor brede praktijkimplementatie is bedrijfseconomische duurzaamheid essentieel, zodat een ander verdienmodel (of subsidies) gewenst lijkt. Ten slotte zijn de keuzes voor het inzetten van alternatieve bijproducten beperkt. Bijproducten met een lage emissiefactor zoals raapzaadschroot en bierbostel zijn in beperkte hoeveelheden beschikbaar. Wanneer veel melkveebedrijven deze bijproducten willen voeren, zal er een tekort van deze producten ontstaan.

Bij de bedrijven die 10-15% reductie behaalden was de motivatie er wel om het huidige voermanagement meer te richten op CH₄ reductie, om zo hopelijk jaarrond een reductie te kunnen behalen. Bedrijfseconomische duurzaamheid moet dan wel gewaarborgd zijn en dat was momenteel (nog) niet het geval. De scenariostudies lieten echter zien dat het voor sommige bedrijven economisch wel interessant kan zijn.

8.3 Scenariostudies

Naast het ontwikkelen en implementeren van de voerstrategieën, is in 2020 een verkennende scenariostudie gedaan voor 3 bedrijven op respectievelijk zand, klei en veen. Gekeken is welke CH₄ reductie op korte termijn en welke op lange termijn mogelijk is. Bij de keuze van de maatregelen is gekeken welke maatregelen passend zijn op de bedrijven. Zo was het op alle bedrijven op korte termijn mogelijk om krachtvoer met een lage EF toe te passen. Ook kon een klein deel van het rantsoen vervangen worden door het voeren van zeer energierijk vet. Vet heeft een negatieve EF voor CH₄ (verlaagt dus de emissie in tegenstelling tot de meeste andere producten) en bespaart door het hoge VEM gehalte ander voer. Wanneer extra vet wordt bijgevoerd is er minder voer nodig voor dezelfde melkproductie. Andere maatregelen waren het voeren van stro als vulmiddel voor de pens (ter compensatie van het energierijke vet) en het voeren van bijproducten met een lage EF (op deze

bedrijven maisgluten). Omdat grassilage het grootste deel van de enterische CH₄ emissie van melkkoeien bepaalt, is minder grassilage voeren (en vervangen door snijmaissilage) vaak effectief om de CH₄ emissie te reduceren. Op het veenbedrijf met veel gras in het bouwplan is deze maatregel op korte termijn echter lastig in te vullen.

Het maatregelenpakket voor de korte termijn zorgt op het zandbedrijf voor een CH₄ reductie (per 1000 kg melk) van bijna 12%. Voor het klei- en veenbedrijf is de reductie iets lager, ongeveer 9%. Voor de NH₃ emissie leiden de maatregelen op korte termijn op het kleibedrijf tot ruim 9% reductie door minder ruw eiwit in het rantsoen. Op het veenbedrijf wordt juist meer ruw eiwit gevoerd via bijproducten en minder eiwitarm krachtvoer, waardoor de NH₃ emissie toeneemt. Op het zandbedrijf hebben de maatregelen op korte termijn nauwelijks effect op de ammoniakemissie.

Naast de maatregelen die op korte termijn toegepast kunnen worden, zijn er ook maatregelen doorgerekend die effect hebben op het telen van het voer en daarmee op de ruwvoerpositie van het bedrijf. Voor alle bedrijven waren maatregelen gericht op lichter maaien, lichter inscharen en meer beweiden gunstig voor de CH₄ emissie. Door lichter te maaien neemt de kwaliteit van de grassilage toe en is het voer sneller te verteren. Dit heeft een lagere CH₄ emissie tot gevolg. Weidegras heeft door de betere verteerbaarheid ook een lagere EF dan grassilage. Ten slotte is de aanvoer en teelt van mais met een lage EF als maatregel doorgerekend. Er is in de praktijk een grote variatie in de EF van mais (beïnvloed door NDF en zetmeel). Door rassen te selecteren met veel bestendig zetmeel kan de CH₄ emissie mogelijk worden verlaagd.

Met deze maatregelen is op het zandbedrijf op de langere termijn een reductie van de CH₄ emissie van ruim 25% mogelijk. Op het klei- en veenbedrijf is dit een reductie van ruim 12%. De combinatie van maatregelen heeft op het zandbedrijf geen effect op de NH₃ emissie, terwijl deze op het klei- en veenbedrijf met 13-15% daalt.

Bij de hierboven genoemde CH₄ reducties op lange termijn zijn behoudende uitgangspunten gehanteerd. Naast deze benadering is ook gekeken welke reductie mogelijk is wanneer de ondergrens van EF waarden kan worden gerealiseerd. Dit zou kunnen worden gerealiseerd door middel van het toepassen van lichtere sneden en telen van mais met veel bestendig zetmeel. Bij deze ambitieuze uitgangspunten is op het veenbedrijf een CH₄ reductie van 20% mogelijk en op de bedrijven met zand en klei zelfs meer dan 25%.

De bovenstaande verkennende berekeningen laten zien dat er door anders te voeren en de voederwinning anders te organiseren een forse CH₄ reductie mogelijk is. Interessant is om verder te onderzoeken waar de grote variatie in CH₄ emissiefactoren die in de praktijk voorkomen door wordt bepaald. Er is nog veel onbekend over CH₄ emissie en de factoren die de emissie beïnvloeden. Momenteel loopt er onder andere onderzoek op het gebied van weidegang, genetica en opfokmethodes om factoren en invloeden die leiden tot lagere CH₄ emissies in kaart te brengen.

8.4 Handelingsperspectief

Deze rapportage beschrijft één prototyping ronde. Voerstrategieën zijn ontwikkeld, toegepast en geëvalueerd. Op basis daarvan zijn scenariostudies uitgevoerd om te kijken wat nog meer mogelijk is op het bedrijf. De belangrijkste conclusie is dat er binnen de veehouderij een reductiepotentie is, maar dat niet alle maatregelen toepasbaar zijn op elk bedrijf. Het *one size fits all* principe is niet toepasbaar, omdat er veel variatie tussen bedrijven bestaat. Veehouders willen op hun eigen manier en binnen bepaalde persoonlijke kaders aan de verschillende maatschappelijke doelen voldoen. Daarbij is de integrale aanpak essentieel, omdat een maatregel positief voor het ene en tegelijkertijd negatief voor een ander maatschappelijk doel kan werken. De grootste uitdaging is dan ook 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, eiwit van eigen land en de derogatie voorwaarden. 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. Ergens zullen deze kosten gecompenseerd moeten worden, zodat de sector rendabel blijft.

De volgende prototyping ronde in dit project zal zich richten op welke stappen er nu op deze bedrijven genomen kunnen worden om via de voerstrategie tot een jaarrond lagere CH₄ en NH₃ emissie te komen. Wellicht kunnen er aanpassingen gedaan worden aan de ruwvoerteelt waarvan in de komende jaren het effect gemeten kan worden. Hiervoor is de in de Klimaat Envelop georganiseerde samenwerking tussen praktijk en onderzoek nodig, omdat het momenteel nog onduidelijk is welke aanpassingen aan het (ruw)voer gedaan moeten worden om de emissiefactoren gunstig te beïnvloeden. De focus zal daarbij liggen op het integraal aanpakken van de reductie op het melkveebedrijf en op het verbeteren van de modellen die de CH₄ emissie op het bedrijf schatten.

Literatuur

- 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.
- Manafiazar, G., Zimmerman, S., & Basarab, J. A. (2016). Repeatability and variability of short-term spot measurement of methane and carbon dioxide emissions from beef cattle using GF emissions monitoring system. *Canadian Journal of Animal Science*, 97(1), 118-126.
- Paul, H. (2021). *Stikstofruimte voor de toekomst; Langetermijnverkenning stikstofproblematiek: doel, integraliteit en regie*. Den Haag, ABDTOPConsult.
- Ruysenaars, P.G., Coenen, P.W.H.G., Rienstra, J.D., Zijlema, P.J., Arets, E.J.M.M., Baas, K., Dröge, R., Geilenkirchen, G., 't Hoen, M., Honig, E., van Huet, B., van Huis, E.P., Koch, W.W.R., Lagerwerf, L.A., te Molder, R.M., Montfoort, J.A., Vonk, J., & van Zanten, M.C. (2020). *Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2018: National Inventory Report 2020*. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- RVO. 2019. *Handreiking bedrijfsspecifieke excretie melkvee*. Den Haag, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- 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., Schröder, J.J., Šebek, L.B., Oenema, J., Conijn, J.G., Vellinga, T., De Boer, J., De Haan, M., & Verloop, K. (2019). *Rekenregels van de KringloopWijzer 2019; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2018-versie*. Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business Unit Agrosystems Research, rapport WPR-xxx.
- Zom, R. L. G. (2014). The development of a model for the prediction of feed intake and energy partitioning in dairy cows (Doctoral dissertation, Wageningen University).

Bijlage 1 Algemene bedrijfsgegevens

Bedrijfs- letter	Bedrijf	Provincie	Grondsoort	Beweiden ¹	Aantal melkgevende koeien totaal ²	Aantal koeien gevolgd	Melkrobot	Maanden meetperiode
A	De Marke	Gelderland	Zand	Ja	70	53	Ja	Jun t/m sept
B	Van de Heijning	Zeeland	Klei	Ja	99	20	Ja	Jun t/m aug
C	Baltus	Noord- Holland	Klei	Nee	107	37	Ja	Sept t/m feb
D	Stevens	Overijssel	Zand	Nee	95	28	Nee	Okt t/m jan
E	De Vries	Utrecht	Veen	Nee	119	16	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).

Bijlage 2 Berekende EF rantsoenen bedrijf A

Voedermiddelen		Periode 1: Basisrantsoen Week 27+28, 2020			Periode 2: Voerstrategie Week 32+33, 2020			Periode 3: Basisrantsoen Week 36+37, 2020		
Product	Vetgehalte (g/kg DS)	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	37	2.80	19.20	53.76	1.16	19.20	22.27	0.00	19.20	0.00
ZSV	37	0.00	23.20	0.00	0.00	23.20	0.00	1.07	23.20	24.71
Grasbalen	38	6.36	19.22	122.17	6.86	19.40	133.09	6.72	19.21	128.99
Maiskuil	32	7.63	17.91	136.65	8.08	17.76	143.39	6.38	17.92	114.35
Mervobest	28	0.44	20.75	9.03	0.46	20.97	9.65	0.18	20.74	3.63
Geplette tarwe	25	0.87	21.08	18.23	0.45	21.21	9.44	1.28	21.07	26.86
KV Select 745	45	4.93	18.26	90.00	0.00	18.31	0.00	4.96	18.25	90.52
KV Promax	42	1.24	16.50	20.46	1.26	16.58	20.89	1.21	16.49	19.87
KV Select 745 EF=14	78	0.00	14.00	0.00	4.85	14.00	67.90	0.00	14.00	0.00
Milkpower	1000	0.00	-10.93	0.00	0.15	-10.96	-1.59	0.13	-10.93	-1.37
Rumibuffer	0	0.15	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
Citrocell	61	0.00	24.20	0.00	0.00	24.36	0.00	0.89	24.18	21.52
%Snijmais		45%			50%			45%		
%Vet		3.7%			5.0%			4.3%		
Totaal		24.40	18.45	450.30	23.40	17.31	405.04	22.90	18.74	429.08
Correctie voeropnameniveau			17.21	420.06		16.28	380.96		17.82	407.95
Correctie extra vet ⁴			17.10	417.33		15.31	358.23		17.26	395.24
CH ₄ reductiepotentie ⁵						-10%	-14%		13%	10%
FPCM (tankmelk) ⁶		34.70		12.03	35.18		10.18	35.17		11.24

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 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 B

Voedermiddelen		Periode 1: Basisrantsoen Week 24+25, 2020			Periode 2: Voerstrategie Week 32+33, 2020		
Product	Vetgehalte (g/kg DS)	Kg DSO	EF	CH ₄ productie	Kg DSO	EF	CH ₄ productie
Weidegras p 1,2,3,6	45	3.90	19.20	74.88	2.40	19.20	46.08
Graskuil snede 2 silo 3 2019	38	0.00	22.47	0.00	3.15	22.87	72.05
Graskuil snede 3 2019	38	2.80	20.73	58.04	0.00	21.13	0.00
Maiskuil klein 2019	29	6.80	18.72	127.27	0.00	18.36	0.00
Maiskuil silo groot 2018	33	0.00	19.37	0.00	8.75	19.01	166.38
Sorghum 2019	35	0.90	16.99	15.30	0.00	16.54	0.00
Aardappelen	4	2.30	19.06	43.84	0.00	18.81	0.00
Protiplus	87	0.00	16.86	0.00	1.70	16.83	28.62
Stimulans excellent np (391)	28	3.50	16.93	59.25	0.00	16.86	0.00
Kernbrok amino (322)	29	1.10	17.03	18.73	0.00	17.42	0.00
Balansmeel effect (406)	20	0.40	18.49	7.40	0.75	18.51	13.88
Lipomax excellent EF40=16	40	0.00	15.94	0.00	3.30	15.88	52.40
Kernbrok amino EF40=16	29	0.00	16.36	0.00	1.05	16.73	17.56
Dairyfit lip mega fat 88	1000	0.00	-10.96	0.00	0.25	-11.03	-2.76
%Snijmais		50%			61%		
%Vet		3.0%			5.1%		
Totaal		21.70	18.65	404.70	21.35	18.46	394.22
Correctie voeropnameniveau			17.98	390.12		17.87	381.44
Correctie extra vet			17.98	390.12		16.70	356.47
CH ₄ reductie						-7%	-9%
FPCM (tankmelk)		28.20		13.83	27.85		12.80

Bijlage 4 Berekende EF rantsoenen bedrijf C

Voedermiddelen		Periode 1: Basisrantsoen Week 39+40, 2020			Periode 2: Voerstrategie Week 43+44, 2020			Periode 3: Basisrantsoen Week 49+50, 2020		
Product	Vetgehalte (g/kg DS)	Kg DSO	EF	CH ₄ productie	Kg DSO	EF	CH ₄ productie	Kg DSO	EF	CH ₄ productie
Graskuil 1 2020	30	7.44	17.91	133.22	7.86	17.91	140.80	8.67	16.89	146.42
Graskuil 3 2020	41	3.05	18.45	56.36	2.72	18.45	50.19	2.23	17.43	38.87
Graszaadhooi	15	0.35	17.00	5.99	0.32	17.00	5.52	0.36	15.98	5.67
Maiskuil 2019	29	3.60	16.59	59.67	0.00	16.62	0.00	0.00	15.56	0.00
Maiskuil 2019-2020	30	0.00	17.23	0.00	3.43	17.25	59.12	0.00	16.20	0.00
Maiskuil 2020	30	0.00	17.87	0.00	0.00	17.89	0.00	3.82	16.84	64.26
Bierbostel	104	1.36	15.68	21.38	1.35	15.68	21.10	1.31	14.65	19.21
Sodagrain	18	1.61	21.35	34.48	0.00	21.36	0.00	0.00	20.33	0.00
Solide excellent (36100)	40	3.63	19.93	72.43	3.41	19.94	67.97	3.25	18.90	61.38
Topstart omega (34900)	40	0.92	17.75	16.34	0.90	17.76	16.05	0.67	16.73	11.24
Raap (412100)	18	0.00	16.67	0.00	1.99	16.66	33.15	0.68	15.65	10.66
Maismeel (410600)	37	0.00	17.65	0.00	0.91	17.69	16.11	1.67	16.62	27.74
Vet (487950)	1000	0.00	-11.20	0.00	0.46	-11.22	-5.14	0.00	-12.21	0.00
Soja (413200)	20	1.27	18.19	23.15	0.00	18.20	0.00	0.68	17.16	11.68
Nitroshure	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Voederureum	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%Snijmais		25%			24%			25%		
%Vet		3.6%			5.5%			3.7%		
Totaal		23.25	18.20	423.02	23.35	17.34	404.85	23.37	17.00	397.12
Correctie voeropnameniveau			17.20	399.84		16.32	381.08		15.97	373.25
Correctie extra vet			17.13	398.31		14.97	349.45		15.88	370.97
CH ₄ reductie			0%	0%		-13%	-12%		6%	6%
FPCM (tankmelk)		35.70		11.16	35.50		9.84	34.35		10.80

Bijlage 5 Berekende EF rantsoenen bedrijf D

Voedermiddelen		Periode 1: Basisrantsoen Week 46+47, 2020			Periode 2: Voerstrategie Week 50+51, 2020			Periode 3: Basisrantsoen Week 1+2, 2021		
Product	Vetgehalte (g/kg DS)	Kg DSO	EF	CH ₄ productie	Kg DSO	EF	CH ₄ productie	Kg DSO	EF	CH ₄ productie
Graskuil 3 silo 2 2020	41	10.38	20.73	215.25	8.71	20.85	181.68	9.84	20.73	203.95
Maiskuil silo 5 2020 + persulp	31	4.70	16.76	78.70	0.00	16.45	0.00	4.44	16.76	74.42
Maiskuil silo 1 (aankoop)	29	0.00	15.06	0.00	6.63	14.76	97.84	0.00	15.06	0.00
Persulp	13	0.68	24.55	16.79	0.00	24.66	0.00	0.65	24.55	15.88
Bierbostel	103	0.00	15.64	0.00	1.01	15.58	15.67	0.00	15.64	0.00
Optimabrok stimulans (96417)	45	5.35	19.40	103.71	0.00	19.40	0.00	5.11	19.40	99.12
Supp. Brok magnifiek (20850)	29	0.56	18.40	10.33	0.00	18.40	0.00	0.78	18.40	14.39
sel.b. stevens productie	82	0.00	17.90	0.00	5.33	17.90	95.44	0.00	17.90	0.00
sel.brok stevens eiwit	87	0.00	16.10	0.00	1.10	16.10	17.67	0.00	16.10	0.00
%Snijmais		31%			43%			31%		
%Vet		3.9%			5.2%			3.9%		
Totaal		21.67	19.60	424.77	22.78	17.92	408.30	20.82	19.59	407.76
Correctie voeropnameniveau			18.93	410.34		17.03	387.83		19.10	397.63
Correctie extra vet			18.68	404.72		15.86	361.39		18.84	392.16
CH ₄ reductie						-15%	-11%		19%	9%
FPCM (tankmelk)		28.95		13.98	29.90		12.09	28.55		13.74

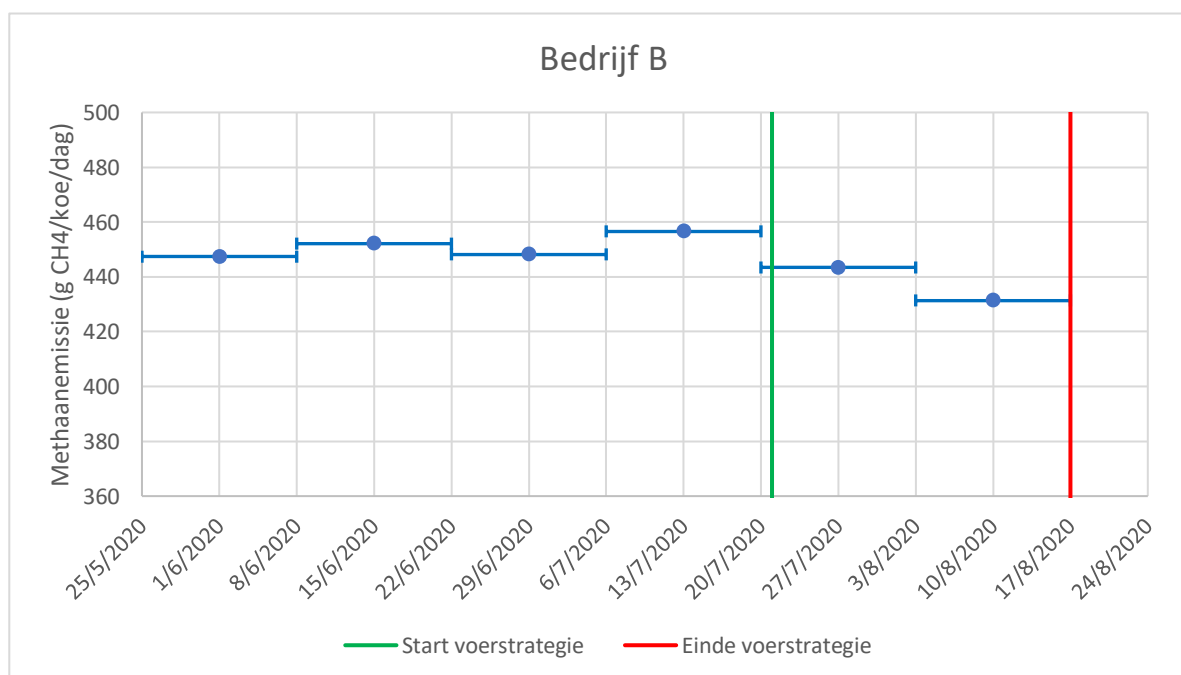
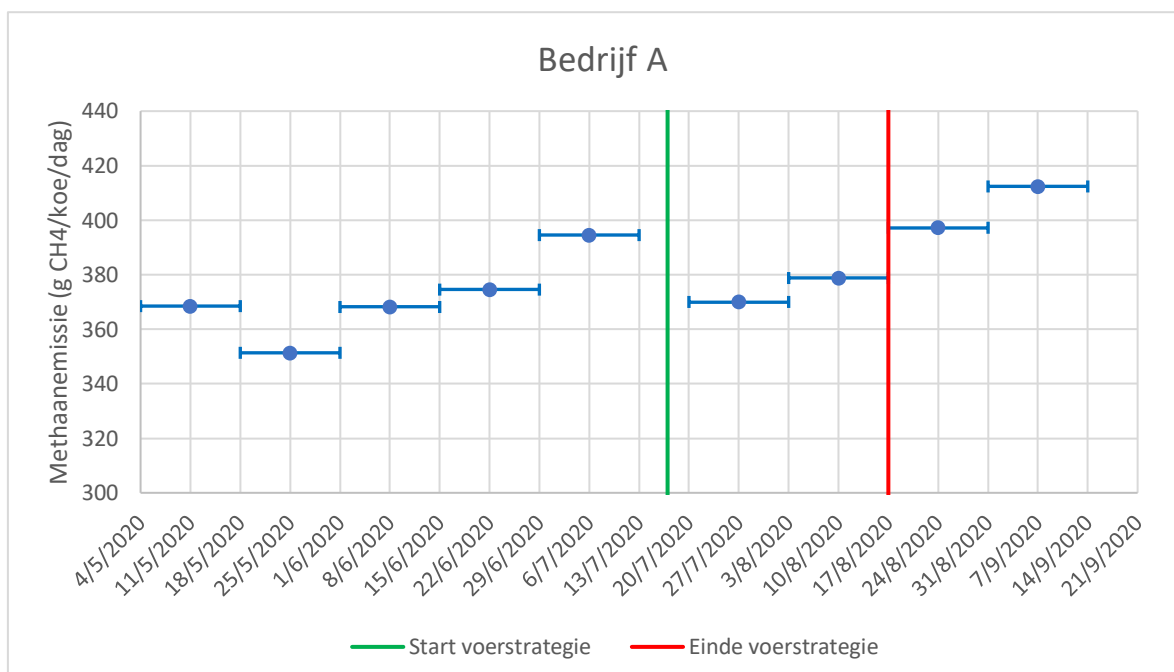
Bijlage 6 Berekende EF rantsoenen bedrijf E

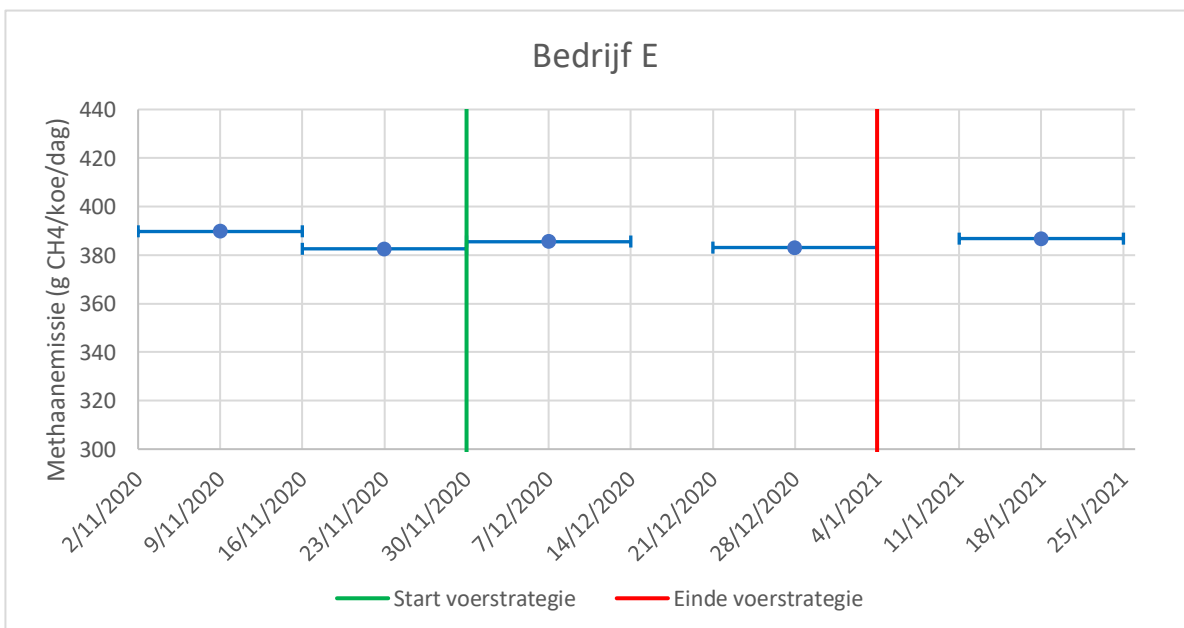
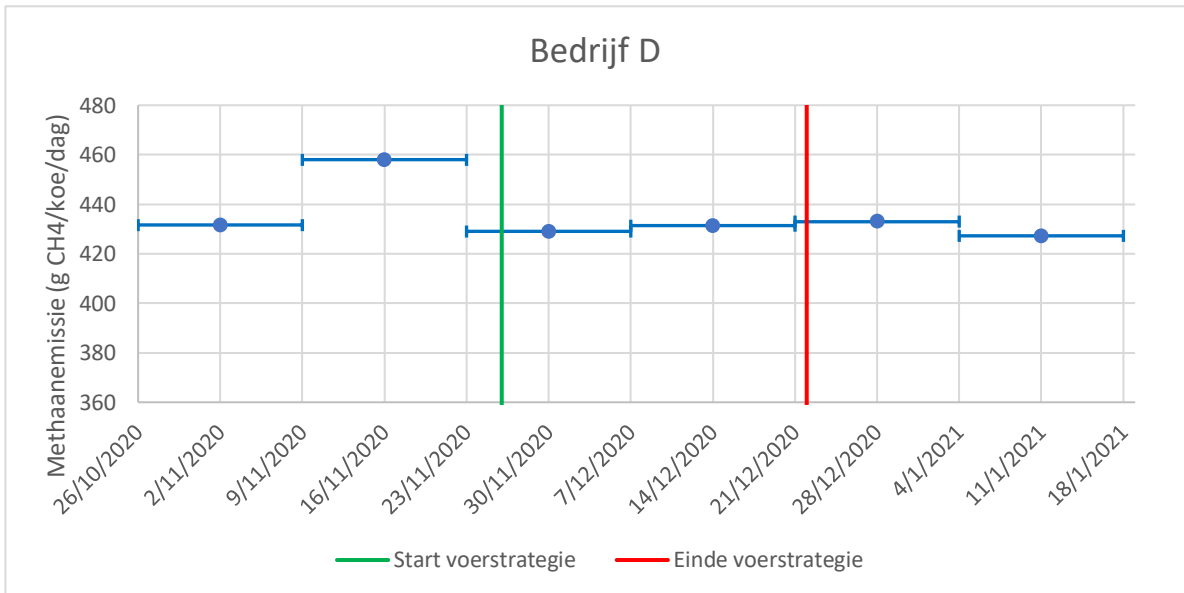
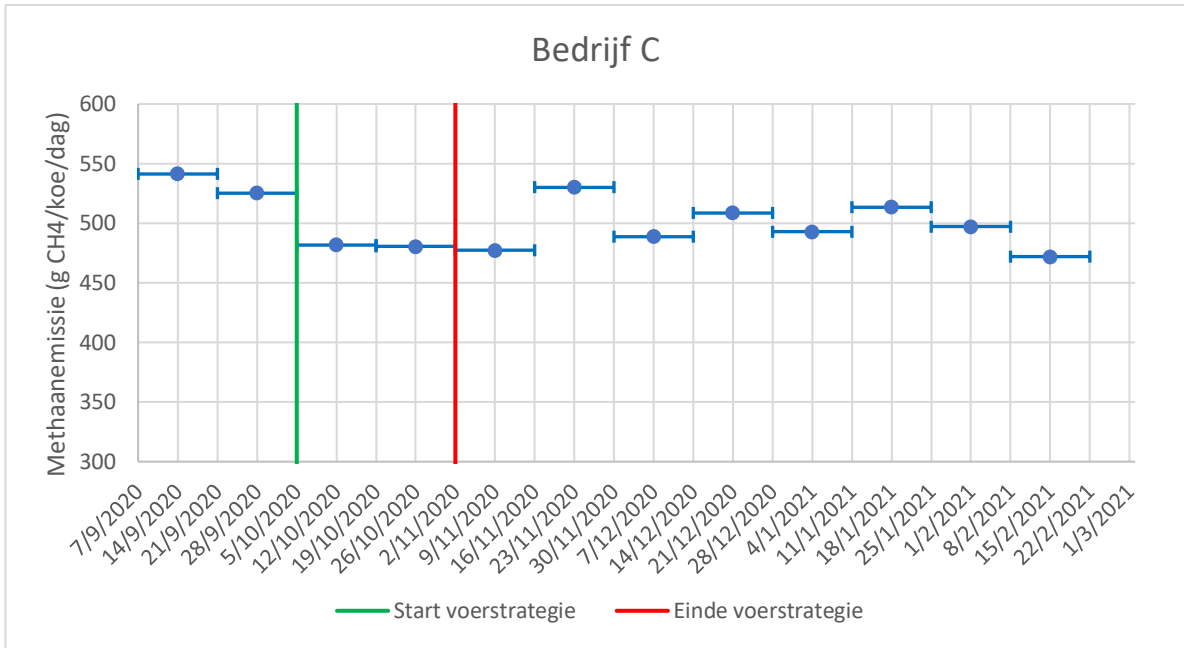
Voedermiddelen		Periode 1: Basisrantsoen Week 47+48, 2020			Periode 2: Voerstrategie Week 51+52, 2020			Periode 3: Basisrantsoen Week 3+4, 2021		
Product	Vetgehalte (g/kg DS)	Kg DSO ¹	EF	CH ₄ productie	Kg DSO	EF	CH ₄ productie	Kg DSO	EF	CH ₄ productie
Graskuil 1 2020	45	10.61	20.04	212.62	10.95	20.04	219.43	9.26	20.04	185.61
Graskuil 2 2019	43	0.00	20.73	0.00	0.00	20.73	0.00	0.00	20.73	0.00
Graskuil 3 2020	45	0.00	19.50	0.00	0.00	19.50	0.00	0.77	19.50	14.94
Maiskuil sleufsilos	31	3.85	16.41	63.17	2.82	16.55	46.59	3.10	16.48	51.08
Erwtenvazel	10	1.14	18.92	21.57	1.19	18.98	22.52	0.90	18.95	16.96
Bierbostel	105	0.88	14.92	13.13	1.21	14.97	18.14	1.24	14.94	18.46
Geplette gerst	21	0.88	16.69	14.69	0.36	16.77	5.97	0.49	16.73	8.12
Soja 44/7	22	0.88	18.17	15.99	0.00	18.24	0.00	0.28	18.20	5.18
Tarwe stro	19	0.40	17.00	6.80	0.00	17.00	0.00	0.00	17.00	0.00
Productiebrok	54	2.20	17.21	37.87	2.40	17.30	41.46	2.50	17.26	43.18
Melkstalbrok	130	1.76	17.31	30.47	2.45	17.42	42.61	2.41	17.36	41.85
Covalin FF	400	0.00	8.08	0.00	0.38	8.02	3.03	0.00	8.05	0.00
%Snijmais		27%			20%			24%		
%Vet		4.8%			6.1%			5.5%		
Totaal		22.60	18.42	416.31	21.74	18.39	399.75	20.94	18.40	385.39
Correctie voeropnameniveau			17.56	396.85		17.71	384.95		17.89	374.65
Correctie extra vet			16.64	376.09		15.86	344.71		16.41	343.71
CH ₄ reductie						-5%	-8%		4%	0%
FPCM (tankmelk)		30.50		12.33	30.00		11.49	30.75		11.18

¹ In periode 1 is de voeropname niet gewogen en geregistreerd, de kg DS opname is hierdoor enkel geschat.

Bijlage 7 Extra resultaten demonstratie: CH₄ emissie/koe/dag per bedrijf

Hieronder per bedrijf de gemeten CH₄ emissie per koe per dag. De emissie is gemiddeld per 2 weken (blauwe lijnen rondom elk punt). De voerstrategie is geïmplementeerd op de groene lijn en gestopt op de rode lijn. Dit betekent dat vóór de groene lijn periode 1 representeert, tussen de groene en rode lijn periode 2 en na de rode lijn vond periode 3 plaats. Deze resultaten zijn van dezelfde groep koeien als beschreven in hoofdstuk 5.





Bijlage 8 Resultaten scenariostudie bedrijf B

Bijlage 8. Resultaten van de scenariostudies ten opzichte van de basissituatie m.b.v. Dairywise (BBPR) voor bedrijf B (op kleigrond).

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
Algemeen			
Aantal koeien (stuks)	111.1	+0.0	+0.0
Melk per koe (kg)	9307	+193	+193
Geproduceerde melk (kg)	1034008	+21442	+21442
Intensiteit (kg melk/ha)	21210	+440	+440
% melkvet	4.50	+0.00	+0.00
% melkeiwit	3.55	+0.00	+0.00
Melkureum gehalte (mg/100 g)	31	-14	-16
Ha gras	39.1	+0.0	+0.0
Aandeel natuurgrasland van ha gras (%)	0%	+0%	+0%
Bruto DS opbrengst gland (x1000 kg DS/ha)	13.8	-0.1	-1.6
Ha maïs	6.57	+0.00	+0.00
Netto DS opbrengst maisland (x1000 kg DS/ha)	16.3	+0.0	+0.0
Ha overig bouwland	3.06	+0.00	+0.00
Netto DS opbrengst bouwland (x1000 kg DS/ha)	8.3	+0.0	+6.7
Aandeel bouwland in bouwplan (%)	20%	+0%	+0%
Beweidingsstelsel koeien	B+8.0	B+8.0	B+8.0
% maïs in bijvoeding zomer	63%	+37%	+37%
Begin weiden koeien	mei	mei	mei
Dagen weiden koeien	142	-2	-8
Dagen weiden pinken	101	+2	+50
Dagen weiden kalveren	0	+0	+0
Snedezwaarte graskuil (kg DS/ha netto in kuil)	2496	-71	-427
VEM-gewonnen graskuil	895	+1	+10
RE gewonnen graskuil	182	+1	+3
Stikstofjaargift per ha grasland (kg werkzame N)	277	+10	-31
Kunstmest N-gift grasland (kg N/ha)	182	-4	-44
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer (%)	66	-5	-9
Aandeel eigen teelt t.o.v. voerverbruik van eiwit (%)	57	+4	+1
Jongvee per 10 melkkoeien (stuks)	6.6	+0.0	-1.1
Mestafvoer (x1000 kg)	923	-472	-582
Aankoop graskuil (x1000 kg DS)	0	+0	+0
Aankoop maïskuil (x1000 kg DS)	231	+51	+43
Verkoop graskuil (x1000 kg DS)	0	+21	+0
Verkoop maïskuil (x1000 kg DS)	0	+0	+0
Rantsoen			
Krachtvoer per koe incl. jongvee (kg)	2212	-647	-642
VEM Krachtvoer (VEM/kg)	997	+0	+0
RE Krachtvoer (g RE/kg)	240	-19	-18

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
Bijproducten per koe incl. jongvee (kg DS)	222	+157	+335
Soort bijproduct 1	100% sorgum	59% sorgum	72% sorgum
Soort bijproduct 2		41% vet	38% vet
RE-gehalte rantsoen veestapel (g RE/kg DS)	162	-14	-14
% mais in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	35%	+6%	+6%
% vers gras in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	13%	+3%	+1%
% graskuil in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	24%	-5%	-5%
% krachtvoer in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	25%	-7%	-7%
% bijproducten in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	3%	+2%	+4%
Emissies			
Emissie kg CH ₄ /1000 kg melk (KLW methode)	18.9	-1.6	-2.4
Verandering methaan t.o.v. basis (%)		-8.5%	-12.6%
Ammoniakemissie (kg NH ₃ /ha)	71.4	-5.4	-9.3
Verandering ammoniak per ha t.o.v. basis (%)		-7.6%	-13.1%
Ammoniakemissie (kg NH ₃ /1000 kg melk)	3.4	-0.3	-0.5
Verandering ammoniak per 1000 kg melk t.o.v. basis (%)		-9.4%	-14.8%

Bijlage 8.2 *Inschatting van de economische gevolgen (in euro's) van de maatregelenpakketten voor bedrijf B (op kleigrond) berekend met Dairywise ten opzichte van de basissituatie.*

Economie	Korte termijn maatregelenpakket	Lange termijn maatregelenpakket
OPBRENGSTEN (A)	+9775	+5977
Waarvan melk	+7870	+7870
Waarvan omzet en aanwas	+0	-1918
Waarvan overig (o.a. bedrijfspremie, verkoop voer)	+1905	+25
TOEGEREKENDE KOSTEN (B)	+8929	+5266
Waarvan krachtvoer	-7785	-7408
Waarvan ruwvoer, melkpoeder en overig voer	+17413	+16017
Waarvan veekosten	+210	-1194
Waarvan gewaskosten (o.a. kunstmest, zaaizaad)	-909	-2149
NIET TOEGEREKENDE KOSTEN (C)	-2816	-3924
Waarvan loonwerk	+2480	+2540
Waarvan werktuigen, installaties, brandstof	-230	-25
Waarvan grond en gebouwen (ook voeropslag)	+98	+0
Waarvan water en energie	+20	-36
Waarvan mestafvoer	-5184	-6403
Waarvan algemeen	+0	+0
ARBEIDSOPBRENGST (A - B - C)	+ € 3662	+ € 4635

Bijlage 9 Resultaten scenariostudie bedrijf D

Bijlage 9.1 Resultaten van de scenariostudies ten opzichte van de basissituatie m.b.v. Dairywise voor bedrijf D (op zandgrond).

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
Algemeen			
Aantal koeien (stuks)	100.5	+0.0	+0.0
Melk per koe (kg)	8451	+0	+549
Geproduceerde melk (kg)	849326	+0	+55175
Intensiteit (kg melk/ha)	17862	+0	+1160
% melkvet	4.69	+0.00	+0.00
% melkeiwit	3.63	+0.00	+0.00
Melkureum gehalte (mg/100 g)	20	-3	+1
Ha gras	38.7	+0.0	+0.0
Aandeel natuurgrasland van ha gras (%)	0%	+0%	+0%
Bruto DS opbrengst grasland (x1000 kg DS/ha)	13.2	-0.3	-1.8
Ha maïs	8.85	+0.00	+0.00
Netto DS opbrengst maisland (x1000 kg DS/ha)	16.9	+0.0	+0.0
Ha overig bouwland	0	+0	+0
Netto DS opbrengst bouwland (x1000 kg DS/ha)	0	+0	+0
Aandeel bouwland in bouwplan (%)	19%	+0%	+0%
Beweidingsstelsel koeien	B+9.0	B+9.0	B+6.0
% maïs in bijvoeding zomer	44%	+0%	+56%
Begin weiden koeien	april	april	april
Dagen weiden koeien	152	+0	+1
Dagen weiden pinken	0	+0	+0
Dagen weiden kalveren	70	+1	+1
Snedezwaarte graskuil (kg DS/ha netto in kuil)	2605	-32	-640
VEM gewonnen graskuil	899	+0	+15
RE gewonnen graskuil	164	+1	+12
Stikstofjaargift per ha grasland (kg werkzame N)	249	-7	-9
Kunstmest N-gift grasland (kg N/ha)	145	-14	-24
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer (%)	106	-0	-25
Aandeel eigen teelt t.o.v. voerverbruik van eiwit (%)	73	+2	-14
Jongvee per 10 melkkoeien (stuks)	2.5	+0.0	+0.0
Mestafvoer (ton)	345	-248	-318
Aankoop graskuil (x1000 kg DS)	0	+0	+0
Aankoop maïskuil (x1000 kg DS)	0	+53	+91
Verkoop graskuil (x1000 kg DS)	23	+68	-23
Verkoop maïskuil (x1000 kg DS)	7	-7	-7
Rantsoen			
Krachtvoer per koe incl. jongvee (kg)	2167	-1066	-732
VEM Krachtvoer (VEM/kg)	974	+0	+0
RE Krachtvoer (g RE/kg)	185	+4	+2

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
Bijproducten per koe incl. jongvee (kg DS)	76	+711	+711
Soort bijproduct 1	100% persulp	79% bierbostel	79% maisgluten
Soort bijproduct 2		21% vet	21% vet
RE-gehalte rantsoen veestapel (g RE/kg DS)	156	-2	-4
% mais in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	18%	+9%	+11%
% vers gras in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	11%	-1%	+8%
% graskuil in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	43%	-7%	-18%
% krachtvoer in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	27%	-13%	-10%
% bijproducten in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	1%	+11%	+9%
Emissies			
Emissie kg CH ₄ /1000 kg melk (KLW methode)	18.1	-2.1	-2.8
Verandering methaan t.o.v. basis (%)		-11.7%	-15.5%
Ammoniakemissie (kg NH ₃ /ha)	56.2	-0.1	+3.6
Verandering ammoniak per ha t.o.v. basis (%)		-0.2%	+6.3%
Ammoniakemissie (kg NH ₃ /1000 kg melk)	3.1	+0.0	+0.0
Verandering ammoniak per 1000 kg melk t.o.v. basis (%)		-0.2%	-0.1%

Bijlage 9.2 *Inschatting van de economische gevolgen (in euro's) van de maatregelenpakketten voor bedrijf D (op zandgrond) berekend met Dairywise ten opzichte van de basissituatie.*

Economie	Korte termijn maatregelenpakket	Lange termijn maatregelenpakket
OPBRENGSTEN (A)	+5396	+17975
Waarvan melk	+0	+20882
Waarvan omzet en aanwas	+0	+0
Waarvan overig (o.a. bedrijfspremie, verkoop voer)	+5396	-2907
TOEGEREKENDE KOSTEN (B)	+8429	+20076
Waarvan krachtvoer	-23773	-13869
Waarvan ruwvoer, melkpoeder en overig voer	+31718	+33980
Waarvan veekosten	+0	+540
Waarvan gewaskosten (o.a. kunstmest, zaaizaad)	+484	-575
NIET TOEGEREKENDE KOSTEN (C)	+1003	+398
Waarvan loonwerk	+1020	+158
Waarvan werktuigen, installaties, brandstof	+1238	+1819
Waarvan grond en gebouwen (ook voeropslag)	+1507	+1986
Waarvan water en energie	-36	-66
Waarvan mestafvoer	-2726	-3499
Waarvan algemeen	+0	+0
ARBEIDSOPBRENGST (A - B - C)	- € 4036	- € 2499

Bijlage 10 Resultaten scenariostudie bedrijf E

Bijlage 10.1 Resultaten van de scenariostudies ten opzichte van de basissituatie m.b.v. Dairywise voor bedrijf E (op veengrond).

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
Algemeen			
Aantal koeien (stuks)	128.9	+0.0	+0.0
Melk per koe (kg)	9300	+0	+0
Geproduceerde melk (kg)	1198770	+0	+0
Intensiteit (kg melk/ha)	19095	+0	+0
% melkvet	4.40	+0.00	+0.00
% melkeiwit	3.59	+0.00	+0.00
Melkureum gehalte (mg/100 g)	19	+1	-4
Ha gras	52.3	+0.0	+0.0
Aandeel natuurgrasland van ha gras (%)	18%	+0%	+0%
Bruto DS opbrengst grasland (x1000 kg DS/ha)	11.8	-0.1	-0.9
Ha maïs	10.44	+0.00	+0.00
Netto DS opbrengst maisland (x1000 kg DS/ha)	17.4	+0.0	+0.0
Ha overig bouwland	0	+0	+0
Netto DS opbrengst bouwland (x1000 kg DS/ha)	0	+0	+0
Aandeel bouwland in bouwplan (%)	17%	+0%	+0%
Beweidingsstelsel koeien	B+7.5	B+7.5	B+6.0
% maïs in bijvoeding zomer	53%	+0%	+47%
Begin weiden koeien	april	april	april
Dagen weiden koeien	171	-1	-2
Dagen weiden pinken	82	+0	+99
Dagen weiden kalveren	64	+0	-2
Snedezwaarte graskuil (kg DS/ha netto in kuil)	2385	+3	-467
VEM-gewonnen graskuil	850	+3	+9
RE gewonnen graskuil	178	+3	+10
Stikstofjaargift per ha grasland (kg werkzame N)	186	+1	-4
Kunstmest N-gift grasland (kg N/ha)	81	-3	+3
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer (%)	89	+4	-17
Aandeel eigen teelt t.o.v. voerverbruik van eiwit (%)	64	+1	-1
Jongvee per 10 melkkoeien (stuks)	3.2	+0.0	+0.0
Mestafvoer (x1000 kg)	211	-45	-211
Aankoop graskuil (x1000 kg DS)	65	-36	-65
Aankoop maïskuil (x1000 kg DS)	0	-0	+159
Verkoop graskuil (x1000 kg DS)	0	+0	+0
Verkoop maïskuil (x1000 kg DS)	0	+0	+0
Rantsoen			
Krachtvoer per koe incl. jongvee (kg)	2366	-1073	-1554
VEM Krachtvoer (VEM/kg)	990	+0	+0
RE Krachtvoer (g RE/kg)	144	+15	+10

	Basissituatie	Korte termijn pakket	Lange termijn pakket
Bijproducten per koe incl. jongvee (kg DS)	348	+856	+856
Soort bijproduct 1	67% sodagrain	77% maisgluten	77% maisgluten
Soort bijproduct 2	33% bierbostel	10% bierbostel	10% bierbostel
Soort bijproduct 3		13% vet	13% vet
RE-gehalte rantsoen veestapel (g RE/kg DS)	155	+1	-13
% mais in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	17%	+1%	+15%
% vers gras in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	17%	-1%	+5%
% graskuil in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	35%	+0%	-15%
% krachtvoer in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	26%	-12%	-18%
% bijproducten in melkveerantsoen (o.b.v. DS)	5%	+12%	+12%
Emissies			
Emissie CH4/1000 kg melk (KLW methode)	17.2	-1.6	-2.1
Verandering methaan t.o.v. basis (%)		-9.1%	-12.3%
Ammoniakemissie (kg NH3/ha)	56.7	+2.7	-7.7
Verandering ammoniak per ha t.o.v. basis (%)		+4.7%	-13.5%
Ammoniakemissie (kg NH3/1000 kg melk)	3.0	+0.1	-0.4
Verandering ammoniak per 1000 kg melk t.o.v. basis (%)		+4.8%	-13.6%

Bijlage 10.2 *Inschatting van de economische gevolgen (in euro's) van de maatregelenpakketten voor bedrijf E (op veengrond) berekend met Dairywise ten opzichte van de basissituatie.*

Economie	Korte termijn maatregelenpakket	Lange termijn maatregelenpakket
OPBRENGSTEN (A)	+0	+0
Waarvan melk	+0	+0
Waarvan omzet en aanwas	+0	+0
Waarvan overig (o.a. bedrijfspremie, verkoop voer)	+0	+0
TOEGEREKENDE KOSTEN (B)	+936	-1473
Waarvan krachtvoer	-28939	-47514
Waarvan ruwvoer, melkpoeder en overig voer	+30049	+45811
Waarvan veekosten	+1	+0
Waarvan gewaskosten (o.a. kunstmest, zaaizaad)	-175	+230
NIET TOEGEREKENDE KOSTEN (C)	+4676	+1307
Waarvan loonwerk	-252	-1454
Waarvan werktuigen, installaties, brandstof	+3109	+2579
Waarvan grond en gebouwen (ook voeropslag)	+2304	+2796
Waarvan water en energie	+14	-292
Waarvan mestafvoer	-499	-2322
Waarvan algemeen	+0	+0
ARBEIDSOPBRENGST (A - B - C)	- € 5612	+ € 166

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.

