



Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit

Rapport jaar 3 en 4: 2022 + 2023

Resultaten van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij onbeperkte weidegang, beperkte weidegang en beperkte zomerstalvoeding

Lisanne Koning, Gertjan Holshof, Arie Klop, Eline Burgers en Cindy Klootwijk

Openbaar
Rapport 1527



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit Rapport jaar 3 en 4: 2022 + 2023

Resultaten van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij onbeperkte weidegang, beperkte weidegang en beperkte zomerstalvoeding

Lisanne Koning, Gertjan Holshof, Arie Klop, Eline Burgers en Cindy Klootwijk

Wageningen Livestock Research, De Elst 1, 6700 AH Wageningen, Nederland

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN), in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Integraal Aanpakken' (projectnummers BO-43.10-002-009 en BO-43-105-012).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, november 2024

Rapport 1527

Koning, L., G. Holshof, A. Klop, E. Burgers & C. Klootwijk. 2024. *Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit. Rapport jaar 3 en 4: 2022 + 2023; Resultaten van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij onbeperkte weidegang, beperkte weidegang en beperkte zomerstalvoeding*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1527.

Het doel van dit meerjarige beweidingsonderzoek was om de enterische methaan (CH₄) emissie van melkkoeien op rantsoenen met vers gras te kwantificeren. Hiervoor is twee jaar op rij (2022 en 2023) in drie perioden per jaar (april/mei, juni/juli en augustus/september) dezelfde proef uitgevoerd waarbij de enterische CH₄ emissie is gemeten bij melkkoeien op onbeperkte weidegang, beperkte weidegang en beperkte zomerstalvoeding. Dit tweejarige beweidingsonderzoek laat vergelijkbare resultaten zien als het tweejarige onderzoek ervoor (2020 en 2021), met de laagste CH₄ emissie op volledige weidegang. Gemiddeld over beide jaren en alle perioden was de CH₄ opbrengst per kg droge stof (DS) tijdens onbeperkte weidegang 15,7 g CH₄/kg DS, bij beperkte weidegang 18,9 g CH₄/kg DS en bij beperkte zomerstalvoeding 21,1 g CH₄/kg. De emissie op vers gras verschilde tussen perioden; de emissie was lager in het voorjaar, vooral voor onbeperkte weidegang. Er werd geen jaareffect gevonden. In dit tweejarige onderzoek leek het effect van vers gras op de enterische CH₄ emissie afhankelijk van het aandeel graskuil in het rantsoen. De CH₄ emissie van vers gras was structureel lager dan de emissiefactor die in de huidige nationale emissiemodellen wordt gebruikt, wat het belang laat zien van het aanpassen van de standaard emissiefactor van vers gras afhankelijk van graskwaliteit en het aandeel graskuil dat eraan wordt gevoerd.

The goal of this multiannual research was to quantify the enteric methane (CH₄) emission of dairy cattle receiving fresh grass diets. In two consecutive years (2022 and 2023) containing three periods per year (April/May, June/July and August/September) the same experiment has been performed where enteric CH₄ of dairy cows was measured during unrestricted grazing, restricted grazing and restricted zero-grazing. The results found in this two-year study are in comparison with the previous two-year study (2020 and 2021), showing the lowest CH₄ emission on unrestricted grazing. Overall, regardless of year or period, the average CH₄ yield of cows during unrestricted grazing was 15.7 g CH₄/kg dry matter (DM), restricted grazing 18.9 g CH₄/kg DM and restricted zero-grazing 21.1 g CH₄/kg DM. The CH₄ yield of fresh grass differed between periods, with a lower yield in spring. No effect of year was found. In this two-year study the effect of fresh grass seemed dependent on the amount of grass silage in the diet. The CH₄ emission during grazing was lower than the emission factor used in the current national emission models, which shows the importance of adjusting the emission factor of fresh grass based on grass quality and diet composition.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/679086> 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, 2024

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.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1527

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding onderzoek	11
1.2 Doel van het onderzoek	12
2 Materiaal en methode	13
2.1 Proefopzet	13
2.2 Diergegevens	14
2.3 Behandelingen	16
2.4 Graslandmanagement	17
2.5 Methaanmetingen	18
2.6 Graskwaliteit en -opname metingen	19
2.6.1 Grasmonstername en analyse	19
2.6.2 Vers gras opname in de wei	19
2.7 Verteringskarakteristieken	19
2.7.1 Proefopzet pensgefistuleerde koeien	19
2.7.2 Monstername en analyse vluchtige vetzuren en ammoniak in de pens	20
2.7.3 Continue pH metingen in de pens	20
2.8 Afbraakkarakteristieken vers gras en graskuil	21
2.9 Statistische analyse	21
2.9.1 Melkproductie, voeropname en methaanemissie	21
2.9.2 Graskwaliteit	22
2.9.3 Verteringskarakteristieken	23
3 Resultaten	24
3.1 Weersomstandigheden en uitvoering beweiding	24
3.1.1 2022	24
3.1.2 2023	25
3.2 Melkproductie en voeropname	26
3.2.1 2022	26
3.2.2 2023	26
3.3 Methaanemissie	29
3.3.1 2022	29
3.3.2 2023	29
3.3.3 Meta-analyse 2022 en 2023	32
3.4 Ruwvoer kwaliteit	34
3.4.1 Ruwvoer kwaliteit en methaanemissie	34
3.4.2 Vers graskwaliteit in de ochtend en in de avond	36
3.5 Verteringskarakteristieken	36
3.5.1 Vluchtige vetzuurpatroon en ammoniak in de pens	36
3.5.2 Zuurgraad (pH) in de pens	38
3.6 Afbraakkarakteristieken	38
4 Discussie	40
4.1 Methaanemissie 2020 tot en met 2023	40
4.2 Beperkt weiden versus onbeperkt weiden	41
4.3 Vergelijking met modelberekeningen	42
4.4 Het effect van ruwvoer kwaliteit	42

4.5	Verteringskarakteristieken	43
4.6	Toetsing in de praktijk	44
5	Conclusies en aanbevelingen	45
	Literatuur	46
Bijlage 1	Dagtemperatuur en neerslag 2022 en 2023	48
Bijlage 2	Kwaliteitskenmerken vers gras, graskuil en krachtvoer	49
Bijlage 3	Vers graskwaliteit ochtend versus avond	51
Bijlage 4	Afbraakkarakteristieken vers gras en graskuil	52
Bijlage 5	Samenvatting pilot proef met smalle weegbree in 2022	54

Woord vooraf

Dit onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) en maakt deel uit van de programmatische aanpak 'Integraal Aanpakken' als onderdeel van de Klimaatenvolp. Het overkoepelende onderzoeksdoel binnen deze programmatische aanpak is een reductie van 30% van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) emissie in 2030. Voor de periode na 2030 zal een hogere reductie- en implementatiegraad tot meer emissiereductie kunnen leiden (de aanpak is een 'no regret policy' voor toekomstige klimaat- en stikstofdoelen). Het reduceren van zowel CH₄ als NH₃ is complex en vereist grensverleggingen in de kennis over de spijsvertering van koeien en het rantsoen (van rantsoensamenstelling tot inkuilprocessen, graslandbeheer, graswinning, rantsoenkwaliteit, beweiding, bemesting, etc.) in de melkveehouderij. Grasland is de basis van de melkveehouderij, maar wordt nu nog niet gebruikt als sturingsmechanisme om emissies te reduceren. Voor een integrale aanpak met een focus op kringlooplandbouw is het essentieel te erkennen dat (vers) gras en graslandproducten in emissieberekeningen niet langer gezien kunnen worden als een uniform product.

In 2020 is daarom dit meerjarige beweidingsonderzoek gestart om inzicht te krijgen in de reductiepotentie van vers gras voor CH₄ en NH₃ in de melkveehouderij. De eerste twee jaar (2020 en 2021) onderzoek heeft aangetoond dat de CH₄ emissie van vers gras kan verschillen afhankelijk van de kwaliteit van het verse gras en dat de emissiefactor van vers gras momenteel mogelijk te hoog ingeschat wordt. De gemeten spreiding in CH₄ emissie afhankelijk van seizoen, oogstmethode en groeistadium biedt niet alleen perspectief voor het verminderen van de enterische CH₄ emissie op basis van graslandmanagement, de spreiding laat ook het belang zien van het aanpassen van de standaard emissiefactor afhankelijk van vers gras kwaliteit.

Deze rapportage beschrijft uitvoeringsjaren 2022 en 2023 en is hiermee de laatste rapportage van het vierjarig onderzoek. In 2020 en 2021 zijn (identieke) proeven uitgevoerd met onbeperkte weidegang, volledige zomerstalvoeding en een volledig graskuilrantsoen. In 2022 en 2023 is opnieuw twee jaar achter elkaar een identieke proef uitgevoerd, maar nu is gekeken naar het effect van beperkt weiden en beperkte zomerstalvoeding met graskuil als bijvoeding op de enterische CH₄ emissie. De proefopzet en het bijbehorende rantsoen lijkt hiermee meer op een praktijksituatie en onderzoekt de vraag of vers gras ook een reductiepotentie heeft wanneer dit slechts een deel van het rantsoen is. De verwachting is dat dit meerjarige onderzoek een bijdrage levert aan een duurzame en grondgebonden melkveehouderij in Nederland.

De nieuwe fundamentele kennis die volgt uit dit meerjarige onderzoek kan worden omgezet in handelingsperspectief om met vers gras en weidegang CH₄ en NH₃ emissies gelijktijdig te reduceren. De kennis die wordt opgedaan in dit onderzoek wordt direct toegepast, getoetst en geëvalueerd op praktijkbedrijven via het project Netwerk Praktijkbedrijven¹. Bert Philipsen is projectleider voor het praktijknetwerk met melkveebedrijven met weidegang en heeft uitvoerig meegedacht bij de opzet en uitvoering van dit onderzoek. Leon Šebek is projectleider voor aanpalende projecten rondom gras(kuil) en CH₄ emissie en ook met hem is uitvoerig afgestemd en inhoudelijk getoetst. André Bannink heeft verkennende modelberekeningen met het Tier 3 model uitgevoerd op basis van de data verzameld in deze beweidingproeven. Daarnaast was het harde werk van alle betrokken medewerkers van Dairy Campus onmisbaar voor de succesvolle uitvoering van deze proef.

Cindy Klootwijk
Projectleider
Wageningen Livestock Research

¹ <https://www.netwerkpraktijkbedrijven.nl/>

Samenvatting

In het Klimaatakkoord is een reductieopgave van methaan (CH₄) emissie voor de Nederlandse veehouderij geformuleerd van 1,2-2,7 MT CO₂-eq. per 2030, waarvan 0,5-1,0 MT CO₂-eq. voor de reductie van enterisch CH₄. Aangezien het grootste deel van de enterische CH₄ emissie afkomstig is van melkkoeien, ligt daar de meeste reductiepotentie. Daarnaast zijn er ook doelen voor de reductie van ammoniak (NH₃).

Graslandmanagement heeft direct effect op de voeding en emissies van melkvee, maar wordt momenteel nog weinig gebruikt als sturingsmechanisme om emissies te verlagen. Een van de redenen hiervoor is dat er voor weidegras en zomerstalvoeding (vers gras op stal) in de modelberekening van de CH₄ emissie op bedrijfsniveau vaste waarden worden gebruikt van respectievelijk 19,2 en 23,3 g CH₄/kg DS, ongeacht de vers graskwaliteit. Er is onvoldoende informatie beschikbaar over de relatie tussen de CH₄ emissie en vers graskwaliteit. Om te kunnen sturen op gelijktijdige reductie van zowel de CH₄ als NH₃ emissie is het noodzakelijk om de mechanismes waarmee de graskwaliteit deze emissies beïnvloedt te doorgronden. Het overkoepelende doel van dit meerjarige onderzoek is om de enterische CH₄ emissie van rantsoenen met vers gras te kwantificeren.

De onderzoeksvragen van het (deel)onderzoek van 2022 en 2023 waren:

1. Wat is de CH₄ emissie bij onbeperkte en beperkte weidegang, en bij beperkte zomerstalvoeding met graskuil?
2. Wat is het effect van periode (voorjaar, zomer, najaar) en jaar (2022, 2023) op de CH₄ emissie bij vers gras?
3. Is de CH₄ opbrengst per kg vers gras afhankelijk van andere componenten in het rantsoen?

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden, zijn tevens de volgende deelvragen gesteld:

- a. Welke graskwaliteitskenmerken van vers gras spelen een rol bij de CH₄ emissie?
- b. Wat is het effect van onbeperkte en beperkte weidegang, en beperkte zomerstalvoeding met graskuil op de verteringskarakteristieken? En verklaren de verschillen in verteringskarakteristieken de mogelijke verschillen in CH₄ emissie?

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden is zowel in 2022 als 2023 dezelfde proef uitgevoerd op Dairy Campus (Leeuwarden, Nederland). Het beweidingsseizoen is beide jaren (2022 en 2023) opgedeeld in drie perioden: periode 1 ("voorjaar") in april/mei, periode 2 ("zomer") in juni/juli en periode 3 ("najaar") in augustus/september. Bij de interpretatie van de resultaten in relatie tot voorjaar, zomer en najaar moet rekening gehouden worden dat deze perioden niet per definitie representatief zijn voor een "voorjaar", "zomer" en "najaar". De termen worden gebruikt met de disclaimer dat seizoen niet noodzakelijkerwijs de aanleiding is van de gevonden resultaten. Elke proefperiode bestond uit een gerandomiseerde blokkenproef met twee weken voorperiode (adaptatie) gevolgd door twee weken meetperiode. Tussen elke periode zat vier weken voordat de volgende periode begon. Er is een vergelijking gemaakt tussen onbeperkte weidegang (WEI), beperkte weidegang (BW) en beperkte zomerstalvoeding (BZSV). BW en BZSV kregen 's nachts (tussen de middagmelking en ochtendmelking) dezelfde graskuil op stal. Aan alle dieren is gedurende de gehele proefperiode daarnaast een hoeveelheid krachtvoer verstrekt van maximaal 5,5 kg per koe per dag: 3,5 kg via de GreenFeed en 2 kg in de melkstal. De enterische CH₄ productie is non-invasief (in de ademlucht) gemeten met behulp van Greenfeed units in de stal en in de wei. Daarnaast zijn diereigenschappen (zoals aantal dagen in lactatie, pariteit en gewicht), individuele dagelijkse melkproductie en voeropname geregistreerd en zijn melk- en voermonsters genomen om respectievelijk de melksamenstelling en graskwaliteit te bepalen. Vers grasopname tijdens beweiding is geschat op basis van de VEM dekking. Ook zijn verterings- en afbraakkarakteristieken gemeten in een selecte groep pensgefistuleerde koeien. Onder verteringskarakteristieken verstaan we de vluchtige vetzuren en de pH in de pens, en onder afbraakkarakteristieken de mate en snelheid van afbraak van verschillende nutriënten in de ruwvoerders (vers gras en graskuil).

Zowel 2022 als 2023 kenden een relatief zachte winter, maar een koud voorjaar. In 2022 was het voorjaar tevens droog, waardoor er in mei en augustus beregend is.

In 2023 was het voorjaar natter, maar de zomer kende meer extreem warme dagen en in juni is berekend om vers gras aan te kunnen bieden van voldoende kwaliteit.

Over beide jaren en alle perioden was de CH₄ productie, intensiteit en opbrengst significant het laagst voor WEI (322 g CH₄/koe/dag, 11,5 g CH₄/kg FPCM en 15,7 g CH₄/kg DS), daarna voor BW (398 g CH₄/koe/dag, 13,8 g CH₄/kg FPCM en 18,9 g CH₄/kg DS) en het hoogst voor BZSV (448 g CH₄/koe/dag, 14,8 g CH₄/kg FPCM en 21,1 g CH₄/kg DS). Er werden geen significante verschillen gevonden in melkproductie en voeropname tussen de perioden of jaren. Wel verschilde de melkproductie en voeropname tussen de behandelingen, met de laagste meetmelkproductie en voeropname voor de behandeling WEI. De voerefficiëntie was het hoogst voor BZSV met 1,42 kg FPCM/kg DS versus 1,38 en 1,39 kg FPCM/kg DS voor respectievelijk WEI en BW. De vers grasopname tijdens beweiding blijft altijd een benadering en kan niet direct gemeten worden, maar de gemeten CH₄ productie en intensiteit worden daar niet door beïnvloed. De CH₄ opbrengst (waarbij de voeropname is geschat op basis van de VEM-dekking) volgt dezelfde richting als de CH₄ productie en intensiteit, wat suggereert dat deze geschatte voeropname bruikbaar is voor de vergelijking tussen de behandelingen.

In 2022 was de CH₄ opbrengst gemiddeld lager dan in 2023 voor de behandelingen met beperkt vers gras (BW en BZSV), wat mogelijk wordt veroorzaakt door het verschil in kwaliteit van de graskuil die 's nachts is bijgevoerd. In 2022 is een graskuil bijgevoerd met een hoge VEM waarde en lage NDF gehalte. Dit resulteerde in een emissiefactor volgens de rekenregels van de KringloopWijzer van 19,0 g CH₄/kg DS. In 2023 is een graskuil gevoerd met een laag ruw eiwitgehalte. De emissiefactor van deze kuil was 20,4 g CH₄/kg DS. Er werden weinig periode-effecten gevonden op de CH₄ emissie, maar voor de behandelingen met vers weidegras werd wel de laagste CH₄ opbrengst gevonden in het voorjaar.

Het aangeboden vers gras van de behandelingen WEI en BW was van vergelijkbare kwaliteit. De CH₄ opbrengst van BW was echter hoger dan verwacht vergeleken met de CH₄ opbrengst van WEI en het aandeel vers gras in het rantsoen. Dit wordt mogelijk verklaard doordat de bijvoeding effect heeft op de passagesnelheid in de pens, of doordat vers gras over een etmaal verschilt van samenstelling, waardoor de CH₄ emissie van vers gras afhankelijk is van wanneer er gedurende het etmaal wordt geweid. Andere mogelijke verklaringen zijn verschillen in bijvoorbeeld eetpatroon, beweging en selectie tijdens beweiding.

De CH₄ emissie van vers gras was structureel lager dan de emissiefactor die in de huidige nationale emissiemodellen wordt gebruikt. De voorgaande jaarrapportages lieten vergelijkbare resultaten zien. De modelberekeningen voor volledige weidegang volgens de rekenregels van de KringloopWijzer waren gemiddeld 14% hoger in 2020 en 2021 en 20% hoger in 2022 en 2023 ten opzichte van de gemeten CH₄ opbrengst. Deze verschillen tonen de noodzaak voor het aanpassen van de emissiefactor in de modellen die gebruikt worden om de enterische CH₄ emissie voor de Nederlandse praktijk in te schatten, zoals de KringloopWijzer en het *National Emission Model Agriculture* (NEMA) model. Op basis van vier jaar onderzoek kunnen we concluderen dat de enterische CH₄ emissie momenteel te hoog wordt ingeschat voor onbeperkte weidegang. De vergelijking tussen onbeperkte en beperkte weidegang liet echter ook zien dat de emissiefactor van vers gras afhankelijk lijkt van het aandeel graskuil dat ernaast gevoerd wordt. Er werd echter geen eenduidig verband gevonden op basis van één graskwaliteitskenmerk, waardoor het nog niet mogelijk is om voor bedrijfsspecifieke situaties de enterische CH₄ emissie bij weidegang te berekenen.

Er werden in beide jaren geen significante verschillen gevonden in de pH en ammoniak in de pens tussen de behandelingen, en weinig verschillen in het vluchtige vetzuurpatroon. Dat de verteringskarakteristieken niet de verschillen in CH₄ emissie verklaarden, is mogelijk het gevolg van de Latijns vierkant proefopzet van de pensgefistuleerde koeien. Interacties tussen diereigenschappen (lactatiestadium), periode en behandeling maakt de Latijns vierkant opzet minder geschikt voor het vinden van verschillen in verteringskarakteristieken. Dit is een beperking van de proefopzet en inherent aan het geringe aantal beschikbare pensgefistuleerde koeien.

De beweidingsproeven beschreven in de eerdere jaarrapportages (Klootwijk *et al.*, 2021; Koning *et al.*, 2022) en in deze rapportage tonen aan dat de CH₄ emissie tijdens onbeperkte weidegang lager is dan tijdens beperkte weidegang, (beperkte) zomerstalvoeding en graskuil. De gemeten CH₄ emissie van vers gras is structureel lager dan de berekende CH₄ emissie op basis van de huidige nationale emissiemodellen.

De vergelijking tussen onbeperkte en beperkte weidegang laat echter ook zien dat de emissiefactor van vers gras mogelijk afhankelijk is van het aandeel graskuil dat ernaast gevoerd wordt. Daarnaast is er niet één graskwaliteitskenmerk gevonden die de lagere emissie bij met name volledige weidegang tijdens de vegetatieve fase van het gras (d.w.z. vóór de bloeiperiode) grotendeels verklaart. Als tussenstap is het advies om de huidige emissiefactor van vers gras te verlagen, maar verdere verdieping is nodig voordat emissiefactoren van vers gras op basis van graskwaliteit of andere componenten in het rantsoen kunnen worden aangepast. Het aanpassen van de emissiefactor van vers gras zorgt ervoor dat vers gras een reductiepotentie voor de enterische CH₄ emissie heeft, omdat deze lager is dan de gemiddelde emissiefactor van graskuil. Tot slot komt er steeds meer aandacht in de melkveesector voor de inmenging van kruiden onder andere ten behoeve van het verbeteren van de biodiversiteit. Het effect van het toepassen van kruidenrijk grasland in combinatie met de rantsoencomponenten die naast beweiding gevoerd worden, zal nader moeten worden onderzocht.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

Wereldwijd zijn herkauwers verantwoordelijk voor ongeveer een derde van de antropogene methaan (CH₄) productie (Gerber *et al.*, 2013). Circa 80% hiervan is afkomstig uit de spijsvertering, ook wel enterische CH₄ emissie genoemd (Ruyssenaars *et al.*, 2020). Tegelijkertijd zijn herkauwers in staat om van gras melk en vlees te maken, wat hoogwaardige voedingsmiddelen zijn voor menselijke consumptie. Strategieën om de CH₄ emissie te reduceren zijn daarom van groot belang. In het Klimaatakkoord is een reductieopgave voor de Nederlandse veehouderij geformuleerd van 1,2-2,7 MT CO₂-eq. per 2030, waarvan 0,5-1,0 MT CO₂-eq. voor de reductie van enterisch CH₄ (Klimaatakkoord, 2019). Aangezien het grootste deel van de enterische CH₄ emissie afkomstig is van de melkkoeien, ligt daar de meeste reductiepotentie. Daarnaast zijn er ook doelen voor de reductie van ammoniak (NH₃). Volgens de NEMA-berekeningen was in 2021 de totale NH₃ emissie in Nederland 111,1 kiloton, waarvan 94% afkomstig uit de agrarische sector. Hiervan komt 56,2 kiloton NH₃ voor rekening van rundvee (Bruggen *et al.*, 2023). Een geïntegreerde aanpak waarbij voer- en diermaatregelen onderzocht worden, moet er toe leiden dat zowel de CH₄ als NH₃ emissie verlaagd worden, zonder negatieve afwentelingen op andere maatschappelijke doelen, zoals diergezondheid en -welzijn.

Gras is een hoofdbestanddeel in het rantsoen van melkkoeien, of het nu gevoerd wordt als vers gras op stal (zomerstalvoeding), als graskuil of aangeboden in de vorm van beweiding. Graslandmanagement heeft direct effect op de voeding en emissies van melkvee, maar wordt momenteel nog weinig gebruikt als sturingsmechanisme om emissies te verlagen. Een van de redenen hiervoor is dat er voor weidegras en zomerstalvoeding in de berekening van de CH₄ emissie op bedrijfsniveau vaste waarden worden gebruikt van respectievelijk 19,2 en 23,3 g CH₄/kg DS (Sebek *et al.*, 2016), ongeacht de kwaliteit van het gras. Deze rekenregels worden gebruikt in de KringloopWijzer (KLW), die elke veehouder in Nederland jaarlijks invult (Van Dijk *et al.* 2023). Voor graskuil wordt de emissiefactor gecorrigeerd voor het totaal gewicht aan celwanden (*i.e.* het neutral detergent fibre (NDF) gehalte), en voor maiskuil het NDF- en zetmeelgehalte; hoe hoger het NDF gehalte (en voor maiskuil hoe lager het zetmeelgehalte), hoe hoger de CH₄ emissie. Voor vers gras wordt geen correctie toegepast, met als een van de redenen dat er onvoldoende informatie beschikbaar is over de relatie tussen de CH₄ emissie en vers graskwaliteit. Om zowel de CH₄ als NH₃ emissie te reduceren is het essentieel te erkennen dat (vers) gras en graslandproducten in emissieberekeningen niet gezien moeten worden als een uniform product. Door verschillende groeiomstandigheden op basis van grondsoort, seizoen en weer, en verschillen in gebruik of management, zoals beweidingssystemen en maairegimes, ontstaat een range aan graskwaliteiten. Om te kunnen sturen op gelijktijdige reductie van emissies is het noodzakelijk om de mechanismes waarmee de graskwaliteit de CH₄ en NH₃ emissie beïnvloedt te doorgronden. De mechanismes rondom NH₃ in relatie tot (vers) gras zijn goed in beeld en zijn te sturen met een lager eiwitgehalte (en meer bestendig en minder onbestendig eiwit) en een hoger energiegehalte. Voor CH₄ emissie is de relatie minder direct en lijken er meer factoren een rol te spelen. Relaties en effecten van gelijktijdige reductie van CH₄ en NH₃ zijn bovendien nog niet integraal getoetst op bedrijfsniveau met specifieke focus op vers gras en weidegang.

In het tweejarige onderzoek in 2020 en 2021 werd de enterische CH₄ emissie gemeten bij melkkoeien op een volledig graskuilrantsoen, onbepaalde weidegang en volledig zomerstalvoeding. Beide jaren werd de laagste CH₄ emissie gemeten op onbepaalde weidegang in het voorjaar (Koning *et al.*, 2022). Gemiddeld over beide jaren en alle perioden was de CH₄ opbrengst per kg droge stof (DS) tijdens onbepaalde weidegang 17,2 g CH₄/kg DS, op zomerstalvoeding 18,3 g CH₄/kg DS en op graskuil 21,0 g CH₄/kg DS. De emissie op vers gras verschilde tussen perioden en groeistadium had ook een effect, de CH₄ emissie was iets lager op kort gras dan op lang gras.

Op basis van het meerjarige onderzoek van 2020 tot en met 2023 (zie Klootwijk *et al.* (2021), Koning *et al.* (2022) en deze rapportage) kunnen de rekenregels voor vers gras geëvalueerd worden en kan worden gekeken of deze mogelijk vragen om verdere verfijning.

1.2 Doel van het onderzoek

Het overkoepelende doel van dit meerjarige onderzoek is om de enterische CH₄ emissie van rantsoenen met vers gras bij weidegang en zomerstalvoeding te kwantificeren. In 2020 en 2021 werd de eerste stap gezet, waarbij de focus lag op onbeperkt weiden, zomerstalvoeren en graskuil, en beperkte weidegang op kort en lang gras. De variatie die gevonden werd op dag-, week- en seizoens-niveau geeft inzicht in de relatie tussen vers graskwaliteit en CH₄ productie, alsmede de mogelijke relatie met verterings- en afbraakkenmerken. Onder verteringskenmerken verstaan we de vluchtige vetzuren en de pH in de pens die het gevolg zijn van de pensfermentatie van het rantsoen. De afbraakkenmerken zijn de mate en snelheid van afbraak van verschillende nutriënten in de ruwvoerders (vers gras en graskuil). In 2020 en 2021 was het uitgangspunt een zo groot mogelijk contrast creëren tussen de behandelingsgroepen, met zoveel mogelijk vers gras in het rantsoen (onbeperkt weiden), om mogelijke effecten van vers gras goed te kunnen duiden. Uit analyses van deze data bleek dat voor vers gras de relaties tussen graskwaliteit, afbraak in de pens en de CH₄ emissie niet direct te voorspellen waren uit bekende relaties voor graskuil. Op basis van opgedane kennis uit 2020 en 2021 was het doel in 2022 en 2023 om de mechanismes verder te ontrafelen die bepalen hoe graslandgebruik en graskwaliteit de CH₄ emissie beïnvloeden. De resultaten van 2020 en 2021 leidde tot de vervolgvraag of de CH₄ emissie lager blijft op basis van beperkte vers gras rantsoenen in vergelijking met een graskuil. Is de emissiefactor van vers gras onafhankelijk van andere componenten in het rantsoen, of verandert het mogelijke effect van vers gras op de CH₄ emissie wanneer vers gras slechts beperkt in het rantsoen aanwezig is? En kan de kwaliteit van de graskuil hier nog een rol in spelen?

De onderzoeksvragen van het (deel)onderzoek van 2022 en 2023 waren:

1. Wat is de CH₄ emissie bij onbeperkte en beperkte weidegang, en bij beperkte zomerstalvoeding met graskuil?
2. Wat is het effect van periode (voorjaar, zomer, najaar) en jaar (2022, 2023) op de CH₄ emissie bij vers gras?
3. Is de CH₄ opbrengst per kg vers gras afhankelijk van andere componenten in het rantsoen?

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden, zijn tevens de volgende deelvragen gesteld:

- a. Welke graskwaliteitskenmerken van vers gras spelen een rol bij de CH₄ emissie?
- b. Wat is het effect van onbeperkte en beperkte weidegang, en beperkte zomerstalvoeding met graskuil op de verteringskenmerken? En verklaren de verschillen in verteringskenmerken de mogelijke verschillen in CH₄ emissie?

Een directe vergelijking tussen beperkt en onbeperkt weiden is noodzakelijk voor de vertaalslag richting de praktijk. De data van 2020 en 2021 kan hiervoor niet gebruikt worden, omdat daar andere onderzoeksvragen als uitgangspunt zijn genomen. Er is geen directe vergelijking gemaakt tussen beperkt (proef B) en onbeperkt (proef A) weiden, omdat deze behandelingen niet tegelijkertijd zijn uitgevoerd. Gezien de verschillen tussen (vers) graskwaliteit over de perioden, kunnen er geen conclusies getrokken worden tussen de verschillen in CH₄ productie niveau tussen de proeven. Ze gaven echter wel aanwijzingen om dit nader te onderzoeken, aangezien de CH₄ emissie van de koeien in de beperkt weiden behandelingen in proef B hoger lager dan verwacht naar aanleiding van de resultaten van onbeperkt weiden in proef A.

De beperking van de vergelijking tussen vers gras en graskuil is dat het niet mogelijk is om deze twee producten afkomstig van hetzelfde perceel op exact hetzelfde moment te voeren. Graskuil moet immers eerst ingekuuld worden, wat automatisch zorgt voor een vertraging in tijd. In 2020 en 2021 werd niet gericht gestuurd op de kwaliteit van de graskuil die naast het verse gras werd gevoerd. In 2022 en 2023 is hier wel op gestuurd. In 2022 is een graskuil gevoerd met een hoog VEM gehalte (936 VEM/kg DS) en laag NDF gehalte (450 g/kg DS), waardoor deze graskuil een lage berekende emissiefactor voor CH₄ had (de laagste van de beschikbare kuilen op Dairy Campus). In 2023 is gekozen voor een kuil met een laag ruw eiwitgehalte (132 g/kg DS), om tevens de emissie van NH₃ zoveel mogelijk te beperken.

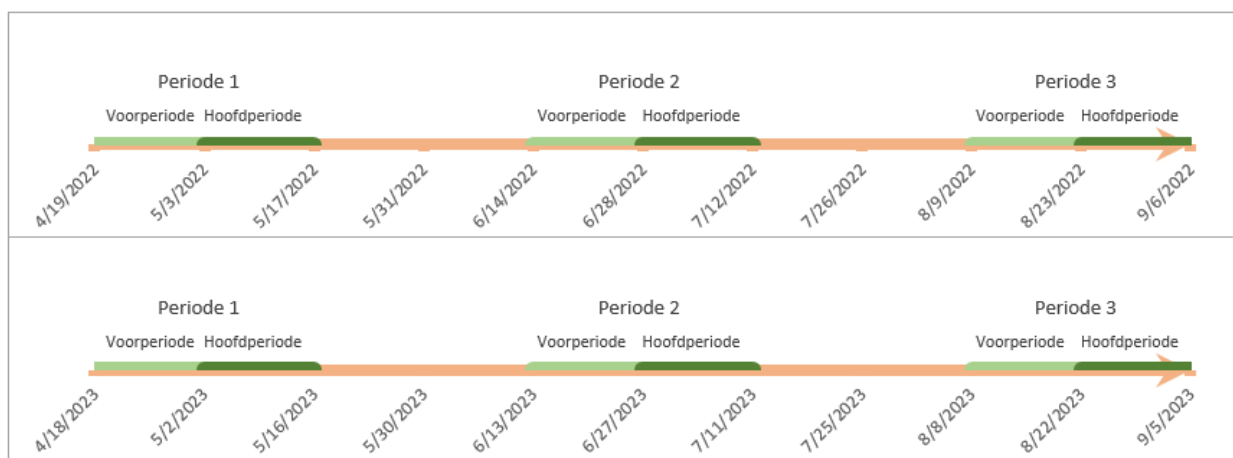
Hoofdstuk 2 beschrijft de proefopzet van de proeven van 2022 en 2023. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten, zowel per periode, per jaar als over beide jaren heen. Hoofdstuk 4 beschrijft een discussie van deze resultaten en hoofdstuk 5 geeft conclusies en aanbevelingen voor vervolg.

2 Materiaal en methode

2.1 Proefopzet

Zowel in 2022 als 2023 is een identieke proefopzet uitgevoerd waarbij een vergelijking is gemaakt tussen onbeperkte en beperkte weidegang, en beperkte zomerstalvoeding met graskuil in de nacht. In beide jaren is de proef uitgevoerd tussen 18 april en 6 september op Dairy Campus (Wageningen University & Research, Leeuwarden, Nederland). De proef heeft goedkeuring van de Instantie voor Dierenwelzijn (IvD) en is uitgevoerd onder vergunning AVD40100202115673 afgegeven door de Centrale Commissie Dierproeven (CCD).

Beide jaren is de proef uitgevoerd in drie proefperioden, namelijk voorjaar (periode 1, in april/mei), zomer (periode 2, in juni/juli) en najaar (periode 3, in augustus/september; **Figuur 2.1**). Elke proefperiode bestond uit twee weken voorperiode (adaptatie) gevolgd door twee weken hoofdperiode (meetperiode). In elke periode werden 48 koeien ingedeeld in één van de drie behandelingen (16 melkgevende koeien per behandeling). De proefbehandelingen bestonden uit onbeperkte weidegang (WEI), beperkte weidegang (BW) en beperkte zomerstalvoeding (BZSV) en worden in hoofdstuk 2.3 beschreven. De behandelingen BW en BZSV werden tussen de middag melking en ochtend melking bijgevoerd met dezelfde graskuil, zodat ze op DS basis ongeveer 50:50 vers gras en graskuil hadden. In 2023 heeft er in periode 2 nog een extra behandelingsgroep meegelopen op een onbeperkt graskuilrantsoen (dezelfde graskuil als BW en BZSV kregen), om een beeld te krijgen welk deel van de CH₄ emissie veroorzaakt werd door de graskuil. Voor alle koeien bij alle behandelingen werd beide jaren naast het basisrantsoen maximaal 5,5 kg krachtvoer per koe verstrekt.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de proefuitvoering in de tijd in 2022 (boven) en 2023 (onder). Elke proefperiode bestond uit twee weken voorperiode (lichtgroen) gevolgd door twee weken hoofdperiode (donkergroen). Tussen elke periode zat 4 weken voordat de volgende periode begon.

2.2 Diergegevens

Voor aanvang van elke proefperiode werden 48 koeien geselecteerd die tussen de 25 en 50 kg melk gaven (gemiddeld circa 30 kg) en tussen de 80 en 200 dagen in lactatie waren (gemiddeld circa 150 dagen in lactatie). Verder werden er maximaal 5 vaarzen per behandelingsgroep ingedeeld.

Elke proefperiode vormde een zelfstandig experiment dat werd uitgevoerd als een volledig gewarde blokkenproef met in totaal 16 melkkoeien per behandeling. De 48 koeien werden ingedeeld in 16 blokken van drie zo homogeen mogelijke dieren. De indeling in blokken gebeurde op basis van lactatienummer, dagen in lactatie, melkproductie en meetmelkproductie (melkproductie voor vet en eiwit gecorrigeerd). Binnen elk blok werden de drie dieren willekeurig toegewezen aan een behandeling (één koe per blok per behandeling). Elke periode werden de koeien opnieuw in blokken ingedeeld en aan de behandelingen toegewezen. Na indeling van de koeien en verloting over de behandelingen is door middel van een variantieanalyse (ANOVA, Genstat 19th Edition) gecontroleerd of er systematische verschillen in productiekenmerken, lactatienummer en lactatiestadium aanwezig waren tussen de proefbehandelingen bij de start van elke periode (**Tabel 2.1** voor 2022 en **Tabel 2.2** voor 2023). Na elke proefperiode stroomden koeien later in lactatie (meer dan 200 dagen in lactatie) uit en nieuwe koeien vroeger in lactatie (vanaf 80 dagen in lactatie) in. Dit werd gedaan om ervoor te zorgen dat in alle proefperioden de dieren in een vergelijkbaar lactatiestadium verkeerden, zodat de resultaten tussen perioden vergeleken konden worden. Blok 16 bestond uit drie pensgefistuleerde koeien (dus één pensgefistuleerde koe per behandeling). Deze koeien zijn ingedeeld in een Latijns vierkant proefopzet en zijn onderdeel van een aparte analyse om gedurende de meetweken de pensfermentatie in kaart te kunnen brengen (zie hoofdstuk 2.7 en 2.9).

De koeien zijn tweemaal daags gewogen na het melken in de terugloopgang vanuit de melkstal. Per proefperiode is het gemiddeld individueel diergewicht bepaald op basis van de aanwezige metingen in de 2 meetweken (hoofdperiode). De koeien zijn tweemaal daags gemolken in een carrousel melkstal. De melkgiften zijn automatisch gemeten en opgeslagen. Eén keer per week zijn melkmonsters genomen om het vet- en eiwitgehalte van de melk te bepalen. De monsters zijn genomen volgens de AO methode (avond-ochtend methode) die via de reguliere melkproductieregistratie (MPR) zijn geanalyseerd door Qlip (Zutphen, Nederland). De meetmelkproductie (vet-eiwit gecorrigeerde melk, FPCM) is berekend volgens de volgende formule (CVB, 2016):

$$\text{Meetmelkproductie (kg FPCM)} = \text{melkproductie (kg)} \times (0,337 + \text{vet\%} \times 0,116 + \text{eiwit\%} \times 0,06)$$

Tabel 2.1 Overzicht van de melk- en diergegevens per behandelingsgroep bij aanvang van elke proefperiode (1, 2 en 3) in 2022. De behandelingen bestonden uit onbeperkte weidegang (WEI), beperkte weidegang (BW) en beperkte zomerstalvoeding (BZSV). De resultaten van de ANOVA analyse (least significant difference (LSD) en p-waarden van de F-testen) staan ook weergegeven.

Behandeling	Periode 1: 19-4-2022 t/m 16-5-2022					Periode 2: 14-6-2022 t/m 11-7-2022					Periode 3: 9-8-2022 t/m 5-9-2022				
	WEI	BW	BZSV	LSD	P	WEI	BW	BZSV	LSD	P	WEI	BW	BZSV	LSD	p
Aantal koeien totaal	16	16	16	-	-	16	16	16	-	-	16	16	17 ^a	-	-
Aantal vaarzen	5	5	5	-	-	4	4	4	-	-	3	3	3	-	-
Meetmelkproductie (kg/d)	34,6	34,4	34,3	1,1	0,823	31,1	31,0	31,3	1,0	0,755	33,5	33,3	33,6	1.1	0,856
Melkproductie (kg/d)	32,3	31,9	31,8	1,6	0,745	29,9	29,6	30,3	1,2	0,540	33,5	33,3	33,3	0.9	0,884
Vetgehalte (%)	4,53	4,56	4,58	0,29	0,930	4,26	4,29	4,22	0,21	0,823	4,05	4,07	4,13	0.23	0,806
Eiwitgehalte (%)	3,51	3,56	3,56	0,17	0,798	3,46	3,53	3,49	0,16	0,706	3,31	3,30	3,37	0.17	0,692
Lactatiedagen	115	124	120	19	0,658	155	157	151	16	0,746	125	130	128	15	0,785
Lactatienummer	2,3	2,3	2,4	0,5	0,801	2,7	2,2	2,5	0,5	0,143	2,8	3,1	2,8	0.8	0,752
Diergewicht (kg)	655	651	647	29	0,850	631	639	650	36	0,564	659	653	626	38	0,168

^a In verband met medische problemen met één van de pensgefistuleerde koeien in periode 2, is er een andere fistelkoe ingezet, om het incomplete Latijns vierkant meer power te geven, is besloten om in periode 3 beide fistelkoeien in te zetten in de behandeling BZSV, waardoor er in totaal 4 fistelkoeien in de proef zaten en dus 17 koeien in de behandeling BZSV, zie ook hoofdstuk 2.7. De fistelkoeien zijn niet meegenomen in de ANOVA analyse.

Tabel 2.2 Overzicht van de melk- en diergegevens per behandelingsgroep bij aanvang van elke proefperiode (1, 2 en 3) in 2023. De behandelingen bestonden uit onbeperkte weidegang (WEI), beperkte weidegang (BW) en beperkte zomerstalvoeding (BZSV). In periode twee was er een extra behandelingsgroep op onbeperkt graskuil (GK). De resultaten van de ANOVA analyse (least significant difference (LSD) en p-waarden van de F-testen) staan ook weergegeven.

Behandeling	Periode 1: 18-4-2023 t/m 15-5-2023					Periode 2: 13-6-2023 t/m 10-7-2023					Periode 3: 8-8-2023 t/m 4-9-2023					
	WEI	BW	BZSV	LSD	P	WEI	BW	BZSV	GK ^a	LSD	P	WEI	BW	BZSV	LSD	p
Aantal koeien totaal	16	16	16	-	-	16	16	16	16	-	-	16	16	16	-	-
Aantal vaarzen	4	4	4	-	-	4	4	4	5	-	-	4	4	4	-	-
Meetmelkproductie (kg/d)	36,4	36,5	37,0	2,3	0,862	33,6	34,0	33,6	32,9	2,0	0,881	32,1	31,5	31,3	1,86	0,559
Melkproductie (kg/d)	35,0	35,3	35,1	2,3	0,984	32,1	31,4	32,0	31,3	2,0	0,772	30,1	30,0	29,3	2,49	0,944
Vetgehalte (%)	4,27	4,32	4,36	0,32	0,833	4,31	4,57	4,31	4,40	0,27	0,087	4,52	4,33	4,47	0,339	0,612
Eiwitgehalte (%)	3,50	3,45	3,49	0,19	0,819	3,52	3,61	3,58	3,50	0,17	0,524	3,48	3,57	3,58	0,224	0,474
Lactatiedagen	136	119	119	25	0,283	155	158	143	139	29	0,545	176	157	176	49,5	0,501
Lactatienummer	2,2	2,8	2,7	0,8	0,330	2,9	2,4	2,7	2,3	0,6	0,298	2,8	2,9	2,9	1,28	0,787
Diergewicht (kg)	680	645	641	36	0,066	639	651	640	595	38	0,794	613	630	624	62,6	0,975

^a In periode 2 heeft er eenmalig een behandelingsgroep meegelopen op een volledig graskuilraanstoel (dezelfde graskuil als BW en BZSV kregen), om een beeld te krijgen welk deel van de CH₄ productie van BW en BZSV veroorzaakt werd door de graskuil. Deze behandelingsgroep is niet meegenomen in de ANOVA analyse.

2.3 Behandelingen

De proeven werden beide jaren uitgevoerd in de voedingsstal en op de percelen A3 en A4 met een totale oppervlakte van 13.5 hectare (ha) (**Figuur 2.2**). Op perceel A3 zijn 28 stroken uitgezet voor WEI en op perceel A4 zijn 28 stroken uitgezet voor BW en is gemaaid voor de behandeling BZSV.



Figuur 2.2 Ligging van de percelen voor de A proef inclusief (een benadering van) de stroken die dagelijks aangeboden zijn voor beweiding (elke dag een nieuwe strook). Voor proef A vond dag en nacht beweiding (behandeling WEI) plaats op perceel A3 (groen) en vond alleen overdag beperkt weiden (BW) en het maaien van vers gras (behandeling ZSV) plaats op perceel A4 (geel). De stroken voor de behandeling WEI (perceel A3) waren 64 meter lang en 27 meter breed, de stroken voor de behandeling BW (perceel A4), waren 67 meter lang en 13 meter breed.

De behandeling WEI verbleef (buiten de melktijden) volledig in de wei met toegang tot vers gras (dag en nacht weiden). De koeien gingen elke ochtend na het melken naar een nieuwe strook; de koeien graasden dus één etmaal op één strook. De oppervlakte van de strook was afgestemd op een vers gras opname van circa 16 tot 20 kg DS per koe per dag (100% van het ruwvoer). Het grasaanbod werd dagelijks ingeschat door op 5 willekeurige locaties in de strook circa 5 meter stroken te maaien. Het gemaaide gras werd gewogen en bemonsterd voor het bepalen van het DS gehalte, waarna het restant achterbleef in het veld. Het tijdstip van in- en uitscharen is dagelijks genoteerd (ook rondom het melken).

De behandeling BW verbleef tussen de ochtend en middag melking (circa 8-10 uur) in de wei met toegang tot vers gras (dag weiden); de oppervlakte van de strook was afgestemd op een vers gras opname van ongeveer 8 kg DS per koe per dag (50% van het ruwvoer). Het grasaanbod werd op dezelfde manier bepaald als voor WEI. De koeien gingen elke ochtend na het melken naar een nieuwe strook en verbleven na de middag melking in de voedingsstal met toegang tot graskuil (circa 8 kg DS per koe per dag; 50% van het ruwvoer). Het tijdstip van in- en uitscharen is dagelijks genoteerd.

De behandeling BZSV kreeg tussen de ochtend en middag melking vers gras in 16 (2022) of 20 (2023) automatische weegbakken met individuele dierherkenning (*Roughage Intake Control bakken*, RIC-bakken, HOKOFARM, Marknesse, Nederland); ook hier was de hoeveelheid afgestemd op een opname van ongeveer 8 kg DS vers gras per koe per dag. Het gras werd op perceel A4 gemaaid rond 6:00 uur met een maai/opraapcombinatie en uitgespreid over de voergang (waar de koeien geen toegang tot hadden). Vanaf daar werden meerdere malen per dag (circa vier keer tussen de ochtend en middag melking) de RIC-bakken handmatig gevuld. De RIC-bakken registreren vervolgens de vers gras opname per vreetbeurt (per koe) in kg. Er werden dagelijks vers gras monsters verzameld om het DS gehalte te bepalen, zodat de DS opname van het verse gras berekend kon worden.

De graskuil voor de behandelingen BW en BZSV werd verstrekt tussen de middag en ochtend melking aan 32 koeien in 16 (2022) of 20 (2023) RIC-bakken die door middel van een geautomatiseerd voersysteem werden gevuld (Triomatic, Trioliet, Oldenzaal, Nederland). De behandelingen BW en BZSV waren fysiek gescheiden in de stal, dus 16 koeien hadden toegang tot 8 (2022) of 10 (2023) RIC-bakken. De RIC-bakken registreerde de graskuilopname per vreetbeurt (per koe) in kg. Er werden dagelijks graskuilmonsters verzameld om het DS gehalte te bepalen, zodat de DS opname van de graskuil berekend kon worden. Gedurende het hele jaar werd dezelfde kuil gevoerd.

Alle koeien hadden continue ruwvoer tot hun beschikking en gedurende de gehele proefperiode een maximale hoeveelheid krachtvoer van 5,5 kg per koe per dag, alle behandelingen kregen hetzelfde krachtvoer. Beide jaren werd hiervan maximaal 3,5 kg verstrekt via de GreenFeed (zie hoofdstuk 2.5). Alle koeien konden maximaal 3,5 kg via de GreenFeed ophalen, maar de werkelijk opname was afhankelijk van het aantal vrijwillige bezoeken aan de GreenFeed, wat verschilde per koe. De overige 2 kg werd in 2022 verstrekt in de melkstal verdeeld over twee melkmomenten. In 2023 werd 1 kg verstrekt in de melkstal verdeeld over twee melkmomenten en 1 kg verstrekt na melken in een aparte opstelling in een stal. De 1 kg krachtvoer die de koeien ontvingen in de aparte opstelling bevatte een supplement, maar was verder identiek aan de brok in de melkstal.

In 2023 is er een factorieel design uitgevoerd, waarbij de helft van elke behandeling (WEI, BW, BZSV) wel een supplement kreeg en de andere helft niet. Het supplement werd in een krachtvoerbrok geperst en zou moeten zorgen voor een verbeterde stikstofefficiëntie. De opzet is zo gekozen zodat het supplement geen invloed heeft op de betrouwbaarheid van de vergelijking tussen de hoofdbehandelingen WEI, BW en BZSV. Het effect van het supplement was een separate deelproef die in een aparte paper is beschreven (Burgers *et al.*, 2024).

In 2023 heeft er tevens in periode 2 een behandelingsgroep meegelopen op een volledig graskuilrantsoen (GK, dezelfde graskuil als BW en BZSV kregen, zonder supplement), om een beeld te krijgen welk deel van de CH₄ emissie veroorzaakt werd door de graskuil. De 16 koeien in deze behandelingsgroep ontvingen graskuil via 8 RIC-bakken en de koeien kregen 3,5 kg krachtvoer via de GreenFeed en 2 kg krachtvoer in de melkstal verdeeld over twee melkmomenten. De data van deze koeien is gebruikt voor de modelberekeningen.

2.4 Graslandmanagement

Het graslandmanagement was in 2022 en 2023 identiek en beide jaren zijn op exact dezelfde percelen uitgevoerd. Voor de behandeling WEI was het weidesysteem op basis van stripgrazen, waarbij de koeien dagelijks een nieuwe strook kregen met een vaste grootte. Op perceel A3 zijn hiervoor 28 stroken ingericht van 1728 m² per strook (64 bij 27 meter, **Figuur 2.2**). In theorie was deze oppervlakte toereikend voor een koppel van 16 dieren voor één dag per strook, bij een geschatte bruto behoefte van 16 tot 20 kg DS/koe/dag en een aanbod van 1700 kg DS/ha/dag.

Voor de behandeling BW was het weidesysteem gelijk aan WEI, met als enige verschil dat de hoeveelheid aangeboden gras per dag ongeveer de helft was ten opzichte van de behandeling WEI, omdat de koeien alleen overdag graasden en 's nachts graskuil kregen op stal. Er is voor BW gestreefd naar een opname van ongeveer 8 kg DS uit weidegras.

Om dit te realiseren waren de 28 strips voor BW, aangelegd op perceel A4, 67 bij 13 meter (circa 871 m² per strook). Het overige deel van perceel A4 werd gebruikt om gras te maaien voor de behandeling BZSV.

Gedurende het seizoen is er steeds naar gestreefd om voor zowel WEI als BW elke dag gras aan te bieden in een gangbaar weidestadium (15-17 cm gras of ongeveer 1500-1700 kg DS/ha). Om dit te bereiken zijn de strips voorgemaaid om op het juiste moment het gras in een weidestadium aan te kunnen bieden. Hierbij is rekening gehouden met de, op de weersverwachting voor de komende week geschatte, (her)groeisnelheid en de situatie op het moment van schatten. Het grasaanbod was leidend voor de volgorde van de stroken. Om het praktisch te houden zijn steeds meerdere stroken in één keer voorgemaaid (5-7 stroken per keer). Ook voor de behandeling BZSV zijn op verschillende momenten delen van het perceel voorgemaaid, met als doel gras aan te kunnen bieden tussen 2000 en 2500 kg DS/ha of een gewaslengte tussen de 17 en 22 cm.

In het voorjaar is beide jaren eenmalig 30 m³/ha drijfmest toegediend met de sleepslang, aangevuld met 70 kg N/ha op A3 en met 80 kg N/ha op A4 uit Entec (24% N). Gedurende het seizoen is geen drijfmest meer gegeven, maar na elke maaibeurt (en één keer aanvullend; exclusief voormaaien) tussen de 50 en 80 kg N/ha met KAS gestrooid. Totaal is met kunstmest gemiddeld ongeveer 300 kg N/ha gegeven. Met de runderdrijfmest (N gehalte van 4,32% per ton) is nog 130 kg N-totaal/ha (organisch en anorganisch) toegediend. De bemesting heeft volledig in dienst gestaan van het optimaal aanbieden van voldoende aanbod van goede kwaliteit weidegras in de proefperioden en is daarom niet gelijk aan de praktijk.

2.5 Methaanmetingen

De enterische CH₄ productie is beide jaren non-invasief gemeten met behulp van de GreenFeed (C-lock Inc., Rapid City, USA). De GreenFeed is een aangepast krachtvoerstation dat de individuele CH₄ en CO₂ productie meet in de ademlucht van koeien wanneer een koe deze bezoekt (zogenoeten "spot sampling"). Hiervoor wordt zowel de kwantitatieve luchtstroom gemeten met behulp van een hot-film anemometer als de concentratie van de gassen (in ppm) met behulp van niet-dispersieve infrarood sensoren. De CO₂ productie wordt gemeten en geanalyseerd om de kwaliteit van de meting te waarborgen. De methode is exact gelijk aan de proef van 2020 en 2021, beschreven in Klootwijk *et al.* (2021) en Koning *et al.* (2022). Een uitgebreidere omschrijving van de werking van de GreenFeed en de berekeningen van de gasconcentraties staat beschreven in het manuscript van C-lock (C-lock Inc., 2017).

Elke behandelingsgroep had continue toegang tot minimaal één GreenFeed. Tijdens grazen hadden de koeien van de behandelingen WEI en BW ieder toegang tot een GreenFeed op een weidetrailer die aan de rand van de betreffende strook stond (de GreenFeed werd elke ochtend verplaatst met de koeien naar de nieuwe strook). In de stal had de behandeling BZSV overdag toegang tot twee GreenFeeds en 's nachts (tussen de middag en ochtend melking) toegang tot één GreenFeed. De andere GreenFeed was 's nachts toegankelijk voor de behandeling BW. Alle CH₄ metingen zijn gemiddeld tot een gemiddelde CH₄ productie per koe per dag over de meetperiode (veertien dagen) en per groep (behandeling) per dag. Voor de analyse is de CH₄ emissie uitgedrukt per koe per dag (CH₄ productie), per kg meetmelk (CH₄ intensiteit) en per kg DS opname (CH₄ opbrengst).

In de GreenFeeds werd zowel op stal als in de weide krachtvoer verstrekt. Alle koeien konden maximaal 3,5 kg krachtvoer per koe per dag via de GreenFeed ophalen. Om meerdere metingen per koe per dag te ontvangen, werd krachtvoer via de GreenFeed verstrekt in voerbeurten die elk circa vier minuten duurden en met minimaal drie uur tussen elke voerbeurt. Krachtvoer via de GreenFeed werd verstrekt in vier (behandeling WEI) of zes (overige behandelingen) voerbeurten per dag van respectievelijk circa 875 of 580 gram per voerbeurt. De behandeling WEI had meer krachtvoer per voerbeurt en minder voerbeurten totaal, omdat het aantal bezoeken aan de GreenFeed tijdens beweiding in eerder onderzoek lager was ten opzichte van in de stal (Klootwijk *et al.*, 2021). Om te waarborgen dat de krachtvoeropname tussen alle groepen

gemiddeld gelijk was, is de verdeling van de krachtvoergift voor de behandeling WEI zo aangepast dat dezelfde hoeveelheid krachtvoer werd verdeeld over vier bezoeken.

2.6 Graskwaliteit en -opname metingen

2.6.1 Grasmonsternamen en analyse

In de hoofdperiode zijn dagelijks vers grasmonsters genomen om de graskwaliteit te bepalen op exact dezelfde methode als in de proef van 2020, beschreven in Klootwijk *et al.* (2021). In het kort werd voor de behandeling WEI tweemaal per dag (kort na het inscharen na melken in de ochtend en kort na het uitscharen voor melken in de middag) een representatief monster verkregen door op ten minste 15 verschillende plaatsen per strook een plukmonster te verzamelen. Voor de behandeling BW werd dit eenmaal per dag gedaan (kort na het inscharen in de ochtend). Hierbij werd rekening gehouden met de graasdiepte (stoppelhoogte) van de koeien. Voor BZSV werd eenmaal per dag een representatief vers gras monster verkregen door willekeurige plukmonsters te verzamelen uit de op de voergang gestorte grasvoorraad. Van de graskuil is, in tegenstelling tot de voorgaande jaren (2020 en 2021, beschreven in Koning *et al.* (2022)), dagelijks een monster genomen voor analyse.

De vers grasmonsters en de graskuilmonsters zijn voorgedroogd bij 70°C en geanalyseerd door Eurofins (Eurofins Agro, Wageningen, Nederland). Alle monsters zijn met nabij infrarood spectroscopie (NIRS) geanalyseerd op ruw eiwit (RE), ruwe celstof (RC), ruw as (RAS), NDF, acid detergent fibre (ADF), acid detergent lignine (ADL), suiker, vet en de verteringscoëfficiënt organische stof (VCOS), en het DS gehalte wordt bepaald. Op de dagen waarop additionele bemonstering is uitgevoerd aan pensfermentatie (zie hoofdstuk 2.7 en 2.8) zijn de vers grasmonsters tevens geanalyseerd volgens de nat-chemische methode.

2.6.2 Vers gras opname in de wei

Voor de behandelingen WEI en BW is de vers grasopname tijdens beweiding op individueel dierniveau geschat op basis van de VEM dekking (Voeder Eenheid Melk). Met behulp van de VEM dekking kan de vers grasopname tijdens grazen op individueel dierniveau geschat worden volgens formule:

$$\text{Vers grasopname (kg DS/koe/dag)} = \frac{\text{VEM behoefte} - \text{VEM opname (graskuil + krachtvoer)}}{\text{VEM gehalte vers gras}}$$

De VEM behoefte (energiebehoefte) is op dierniveau berekend op basis van individuele dierkenmerken (lichaamsgewicht en FPCM, inclusief toeslagen voor groei en dracht) volgens de formule zoals beschreven in CVB (2016). Vervolgens is berekend in hoeverre aan de energiebehoefte voldaan wordt met de voedermiddelen waarvan de opname direct gemeten is. De energie die verstrekt is met graskuil en krachtvoer wordt afgetrokken van de totale VEM behoefte. Het verschil is de benodigde energie die een koe op zou hebben genomen met vers gras. Door dit verschil te delen door de VEM waarde van het gras, kan een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid opgenomen vers gras.

2.7 Verteringskarakteristieken

2.7.1 Proefopzet pensgefistuleerde koeien

Zowel in 2022 als in 2023 zijn pensvloei-stofmonsters genomen en pH metingen gedaan bij pensgefistuleerde koeien met exact dezelfde methode als in 2020 (Klootwijk *et al.*, 2021).² Per behandelingsgroep is één pensgefistuleerde koe ingezet die hetzelfde rantsoen kregen als de andere koeien van die behandeling. De koeien hebben gerouleerd over de behandelingen volgens een 3x3 Latijns vierkant opzet met 3 perioden en 3 behandelingen (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). In 2022 was koe 1695 niet inzetbaar in periode 2 e

² Dit onderzoek is uitgevoerd onder de proefdiervergunning 'Nutritional management to improve dairy cow health', met projectnummer: 2021.D-0028.001

n heeft koe 0442 deze koe vervangen. Om het incomplete Latijnse vierkant wel statistische te kunnen analyseren hebben beide koeien in periode 3 meegedaan.

Tabel 2.3 *Overzicht van de pensgefistuleerde koeien over de behandelingen (onbeperkte weidegang (WEI), beperkte weidegang (BW) en beperkte zomerstalvoeding (BZSV)) in de drie perioden.*

Jaar	Periode	WEI	BW	BZSV
2022	1	Koe 1695 (3)	Koe 0332 (2)	Koe 1964 (1)
	2	Koe 1964 (1)	Koe 0442 (3)	Koe 0332 (2)
	3	Koe 0332 (2)	Koe 1964 (1)	Koe 0442 en koe 1695 (3)
2023	1	Koe 1707 (1)	Koe 0442 (3)	Koe 0332 (2)
	2	Koe 0332 (2)	Koe 1707 (1)	Koe 0442 (3)
	3	Koe 0442 (3)	Koe 0332 (2)	Koe 1707 (1)

Elke periode bestond, evenals voor de andere koeien in de behandelingen, uit vier weken (twee weken voorperiode en twee weken hoofdperiode). In de tweede week van de hoofdperiode is de pH in de pens gemeten en zijn pensvloeistofmonsters verzameld. De pH is per periode minimaal vijf dagen continue gemeten (zie hoofdstuk 2.7.3) met de twee dagen van de pensvloeistof bemonstering altijd inbegrepen. De monsternamen van pensvloeistof vond plaats op twee opeenvolgende dagen (donderdag en vrijdag), rond 6:00, 10:00, 14:00, 17:00 en 21:00 uur. De pH metingen van deze twee dagen zijn gebruikt voor verdere analyse.

2.7.2 Monsternamen en analyse vluchtige vetzuren en ammoniak in de pens

Het vluchtige vetzuurpatroon in de pens is in kaart gebracht door op twee opeenvolgende dagen op vijf momenten over de dag (6:00, 10:00, 14:00, 17:00 en 21:00 uur) pensvloeistofmonsters te verzamelen van de pensgefistuleerde koeien. De monsternamen van pensvloeistof heeft plaatsgevonden op de plaats waar de koeien zich op dat tijdstip bevonden. De koeien werden hiervoor kort vastgezet in een ligbox, de GreenFeed, tijdens/na melken of in een klauwbekapbox. De pensvloeistofmonsters zijn via het fistel genomen onderin de pens met behulp van een PVC buis en een zuiger met slang. Van de monsters zijn kleinere submonsters genomen (10 ml) in duplo die direct zijn ingevroren met behulp van droogijs (-80 °C). Vervolgens zijn de buizen bij een temperatuur van -20 °C bewaard tot het moment van analyse.

De monsters zijn geanalyseerd op het ammoniakgehalte (mg/L) en voor het vluchtige vetzuurpatroon (mmol/L) op de volgende vetzuren: Azijnzuur (HAc), propionzuur (HProp), boterzuur (HBut), iso-boterzuur (H isoBut), valeriaanzuur (HVal), iso-valeriaanzuur (H isoVal), capronzuur (HCapr) en iso-capronzuur (H isoCapr). De som van de concentraties van de geanalyseerde vluchtige vetzuren is aangeduid als totaal vetzuurgehalte. Dit totale vetzuurgehalte is gebruikt om het percentage van elk van de genoemde vetzuren te berekenen. Zowel de berekende percentages als de gemeten gehalten in mmol/L zijn gebruikt voor de analyse. Daarnaast is de ratio tussen niet-glycogene en glycogene vetzuren (NGR) berekend volgens formule:

$$\text{Non glycogen:glycogen ratio (NGR)} = \frac{\text{HAc} + 2 \times \text{HBut} + 2 \times \text{H isoBut} + \text{HVal} + \text{H isoVal}}{\text{HProp} + \text{HVal} + \text{H isoVal}}$$

2.7.3 Continue pH metingen in de pens

De zuurgraad (pH) in de pens is gemeten met apparatuur van Dascor (Dascor Inc, Oceanside, USA). De Dascor loggers bestaan uit een ronde waterdichte PVC buis van ongeveer 20 cm, met daarin een voeding (9V batterij) en een processor voor dataopslag. Aan de onderkant zit een pH electrode die continue de pH meet en elke minuut deze waarde vastlegt. Naast de pH registreert de logger met hetzelfde interval de temperatuur. De logger is met een touw bevestigd aan de dop van de pensfistel en is voorzien van twee gewichten om ervoor te zorgen dat deze onderin de pens blijft. Vóór het inbrengen van de Dascor loggers en na het uithalen zijn deze gekalibreerd met twee pH buffers met een pH van 4 en 7.

Voor de berekeningen en analyse zijn de pH gegevens gebruikt van de twee etmalen (1440 waarnemingen totaal) waarop de pensvloestofmonsters zijn genomen. Het gemiddelde, de standaarddeviatie, de minimale en maximale pH waarde zijn gebruikt voor de analyse.

2.8 Afbraakkaracteristieken vers gras en graskuil

Om inzicht te krijgen van de relatie tussen vers gras en graskuil (met verschillende kwaliteiten en met of zonder conservering) in het rantsoen en de CH₄ emissie zijn de afbraakkaracteristieken van het rantsoen onderzocht in een nylonzakjes incubatie. In een nylonzakjes incubatie kan de mate en snelheid van afbraak van verschillende nutriënten worden bepaald. Deze proef is separaat uitgevoerd na het einde van de weideperiode met vers gras- en graskuilmonsters van de proeven uit 2022 en 2023. Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd met goedkeuring van de Instantie voor Dierwelzijn (IvD) onder vergunning 2017.D-0079.007 (in 2022) en 2021.D-0028.003 (in 2023).

Tijdens de proef zijn vers gras- en graskuilmonsters genomen voor het bepalen van de afbraakkaracteristieken van deze voedermiddelen. Per periode zijn voor elke behandeling op drie opeenvolgende dagen (woensdag, donderdag en vrijdag van de tweede week van de hoofdperiode) vers gras- en graskuilmonsters genomen voor het bepalen van de afbraakkaracteristieken van deze voedermiddelen. Monsters van de drie opeenvolgende dagen zijn gepoold tot één monster. Van elk monster zijn poreuze nylon zakjes gevuld met circa 5 gram DS van het te onderzoeken voedermiddel. De nylonzakjes zijn via het fistel in drie pensgefistuleerde koeien gehangen (elke fistelkoe heeft evenveel zakjes met hetzelfde voedermiddel, dus er is een herhaling uitgevoerd met n=3). De incubatietijden van de zakjes waren 0, 3, 6, 9, 16, 32, 72 en 336 uur. Doordat pensvloestof door de poriën in het zakje komt ondergaat het voedermiddel afbraak door bacteriën en andere micro-organismen. De bestanddelen van het voedermiddel die oplossen of kleiner zijn dan de poriën van het zakje worden als gefermenteerd gezien. Door meerdere zakjes op verschillende tijdstippen te incuberen ontstaat een tijdreeks en kan met de hoeveelheid residu die in de zakjes is achtergebleven een curve worden gemaakt met een iteratief model. De vorm van de curve geeft informatie over de snelheid van fermentatie. De curve brengt het niet-afgebroken residu in beeld waarbij de richtingscoëfficiënt van de raaklijn een maat is voor de afbraaksnelheid van het voedermiddel. Het gehalte DS, RAS, RE en NDF van zowel het voedermiddel als de residuen uit de zakjes van bovengenoemde incubatietijden zijn geanalyseerd door NutriControl (NutriControl BV., Veghel, Nederland) op basis van de nat-chemische analyse.

2.9 Statistische analyse

2.9.1 Melkproductie, voeropname en methaanemissie

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.2, kan elke periode gezien worden als een zelfstandig experiment, aangezien de koeien elke periode opnieuw ingedeeld zijn. De analyse is daarom uitgevoerd per periode en er is een meta-analyse uitgevoerd met de data van beide jaren (2022 en 2023). De resultaten van alle analyses zijn weergegeven als geschatte marginale gemiddelden per behandeling, inclusief Fisher's LSD (*Least significant difference*, kleinste significante verschil) en de p-waarden. Resultaten werden als significant beschouwd wanneer de p-waarde lager of gelijk was aan 0,05 en er was sprake van een trend bij een p-waarde lager of gelijk aan 0,1.

Alle variabelen gerelateerd aan melkproductie, voeropname en CH₄ emissie zijn gemiddeld per koe per meetperiode (twee weken hoofdperiode). In 2022 zijn tijdens de proef twee koeien behandeld (in verband met darminfectie en vermoedelijk longworm, niet gerelateerd aan de behandelingsgroep), in 2023 drie koeien (diarree en kreupelheid). Voor deze koeien zijn de dagen dat de koeien behandeld zijn verwijderd voordat het gemiddelde werd berekend voor de analyse. Voor de CO₂ en CH₄ emissie is de data van de pensgefistuleerde koeien niet meegenomen (in verband met mogelijke lekkage van gassen via de fistel). Er waren 6 koeien met minder dan 20 metingen en slechts 3 koeien met minder dan 13 metingen. De koeien

met minder dan 13 metingen zijn verwijderd uit de analyse, omdat zij mogelijk te weinig metingen hebben gehaald om een betrouwbaar gemiddelde te berekenen.

De resultaten van de behandelingsgemiddelden van de meetmelkproductie (kg FPCM/dag), melkproductie (kg melk/dag), melksamenstelling (vet, eiwit en lactose, zowel in % als g/dag, en ureum in mg/100 g), DS opname (kg/dag), CH₄ productie (g CH₄/koe/dag), CH₄ intensiteit (g CH₄/kg FPCM) en de CH₄ opbrengst (g CH₄/kg DS) zijn per proefperiode geanalyseerd met een variantieanalyse (ANOVA, *Genstat 19th edition*) volgens model:

$$Y_{jk} = \mu + \tau_j + \beta_k + \varepsilon_{jk}$$

Met:

Y = (meet)melkproductie (kg/koe/dag), melksamenstelling (zowel in % als g/koe/dag), DS opname (kg/koe/dag), CH₄ productie (g CH₄/koe/dag), CH₄ intensiteit (g CH₄/kg FPCM) of CH₄ opbrengst (g CH₄/kg DS)

μ = constante

τ_j = behandelingseffect j (WEI, BW, BZSV)

β_k = blok effect k (1 t/m 16)

ε_{ijk} = restvariantie

Daarnaast is er een meta-analyse (*Multiple experiments REML, Genstat 19th edition*) uitgevoerd met de gezamenlijke dataset van 2022 en 2023. In het mixed model waren jaar, periode, behandeling en de interactie tussen periode en behandeling opgenomen als fixed effecten en blok binnen periode binnen jaar en periode binnen jaar als random effecten. Het bijbehorende model is:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_j + \alpha_i + v_l + \tau_j * \alpha_i + v_l \alpha_i \beta_k + v_l \alpha_i + \varepsilon_{ijkl}$$

Met:

Y = (meet)melkproductie (kg/koe/dag), melksamenstelling (zowel in % als g/koe/dag), DS opname (kg/koe/dag), CH₄ productie (g CH₄/koe/dag), CH₄ intensiteit (g CH₄/kg FPCM) of CH₄ opbrengst (g CH₄/kg DS).

μ = constante

τ_j = behandelingseffect j (WEI, BW, BZSV)

α_i = periode effect i (1, 2, 3)

υ_l = jaareffect l (2020, 2021)

υ_lα_iβ_k = random blok k binnen periode i binnen jaar l effect (1 t/m 16)

υ_lα_i = random periode i binnen jaar l effect (1, 2, 3)

ε_{ijk} = restvariantie

2.9.2 Graskwaliteit

Het effect van de ruwvoerkwaliteitskenmerken (gehalte NDF, RC, RE en suiker in g/kg DS, en VCOS in %) op de CH₄ opbrengst (g/kg DS) is met behulp van *REML* geanalyseerd. De analyse is uitgevoerd met de data per dag (voor CH₄ de gemiddelde emissie van 15 koeien per dag). Als fixed effecten zijn ruwvoerkwaliteitskenmerk, behandeling, periode, jaar, de interactie tussen ruwvoerkwaliteitskenmerk en behandeling, en de interactie tussen periode en behandeling opgenomen. Als random effect is dag binnen periode binnen jaar, en periode binnen jaar opgenomen in het model.

$$Y_{ijkn} = \mu + \eta_n + \tau_j + \alpha_i + v_l + \eta_n * \tau_j + \tau_j * \alpha_i + \beta_k + \varepsilon_{ijkn}$$

Met:

Y = CH₄ opbrengst (g/kg DS)

μ = constante

η_n = effect ruwvoerkwaliteitskenmerk n (NDF, RC, RE, suiker of VCOS)

τ_j = behandelingseffect j (BW, WEI, BZSV)

α_i = periode effect i (1, 2, 3)

υ_l = jaareffect l (2022, 2023)

β_k = random dag binnen periode binnen jaar, en periode binnen jaar effect k

ε_{ijk} = restvariantie

Verschillen in graskwaliteit tussen het aanbod in de ochtend en in de avond voor de behandeling WEI zijn getoetst met een *ANOVA* analyse, met dag binnen periode binnen jaar als blokeffect. Het effect van jaar, periode en moment (ochtend, avond) evenals alle interacties zijn getoetst.

2.9.3 Verteringskarakteristieken

De resultaten van de pensvloeiostofmonsters en pH metingen zijn geanalyseerd met een *REML* analyse. In het model was behandeling (WEI, BW, BZSV) het fixed effect, en periode en koe werden als random effect in het model opgenomen.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_j + \alpha_i + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Met:

Y = vluchtige vetzuurpatroon of pH kengetallen

μ = constante

τ_j = behandelingseffect j (WEI, BW, BZSV)

α_i = random periode effect i (periode 1, 2, 3)

β_k = random koe effect k (koe 1, 2, 3, 4)

ε_{ijk} = restvariantie

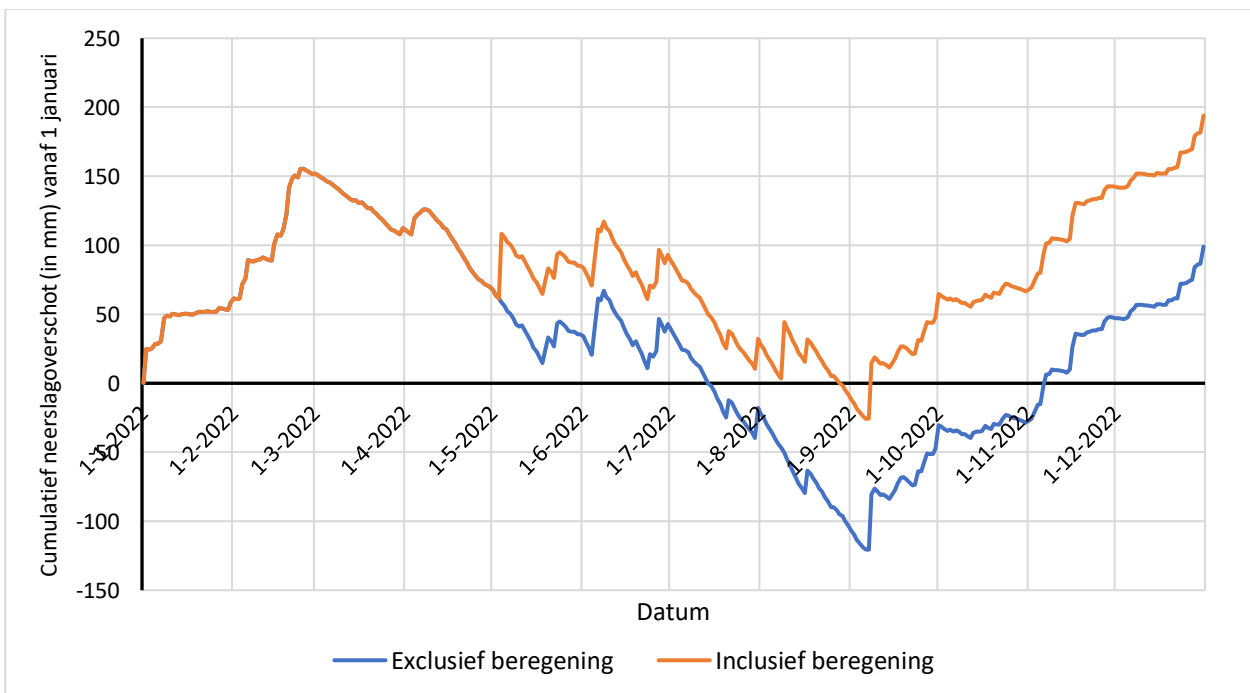
3 Resultaten

3.1 Weersomstandigheden en uitvoering beweiding

Beide jaren is de proef in 3 perioden uitgevoerd, waarbij de omstandigheden voor grasgroei verschillend waren (o.a. daglengte, temperatuur, neerslag, gewasstadium en schietdatum), zowel tussen als binnen de perioden. De weersomstandigheden zijn bepalend voor de grasgroei, en daarmee de planning en de graskwaliteit. Beide jaren worden in de volgende paragrafen apart besproken; elk seizoen is anders.

3.1.1 2022

De winter en het vroege voorjaar van 2022 waren relatief zacht. Vanaf 1 januari is de gemiddelde etmaaltemperatuur niet onder nul geweest. Op 7 maart is 28 m³ drijfmest per ha toegediend met de sleepslang zonder rijshade, ondanks de relatief natte februari. Maart en april verliepen vrij koud waardoor de grasgroei traag op gang kwam. Het temperatuurverloop en de hoeveelheid neerslag is weergegeven in Bijlage 1. Vanaf de start van de proef (in de voorperiode van periode 1) was het behoorlijk droog en de verwachting was dat er zonder ingrijpen begin mei een tekort aan vers gras zou ontstaan. Er is daarom op 4 mei berekend op de stroken die nodig waren in de hoofdperiode (50 mm/ha). In augustus dreigde weer een stagnerende groei als gevolg van droogte en is opnieuw berekend (45 mm/ha). Het cumulatieve neerslagoverschot, berekend vanaf 1 januari 2022 als neerslag minus verdamping is weergegeven in **Figuur 3.1**.

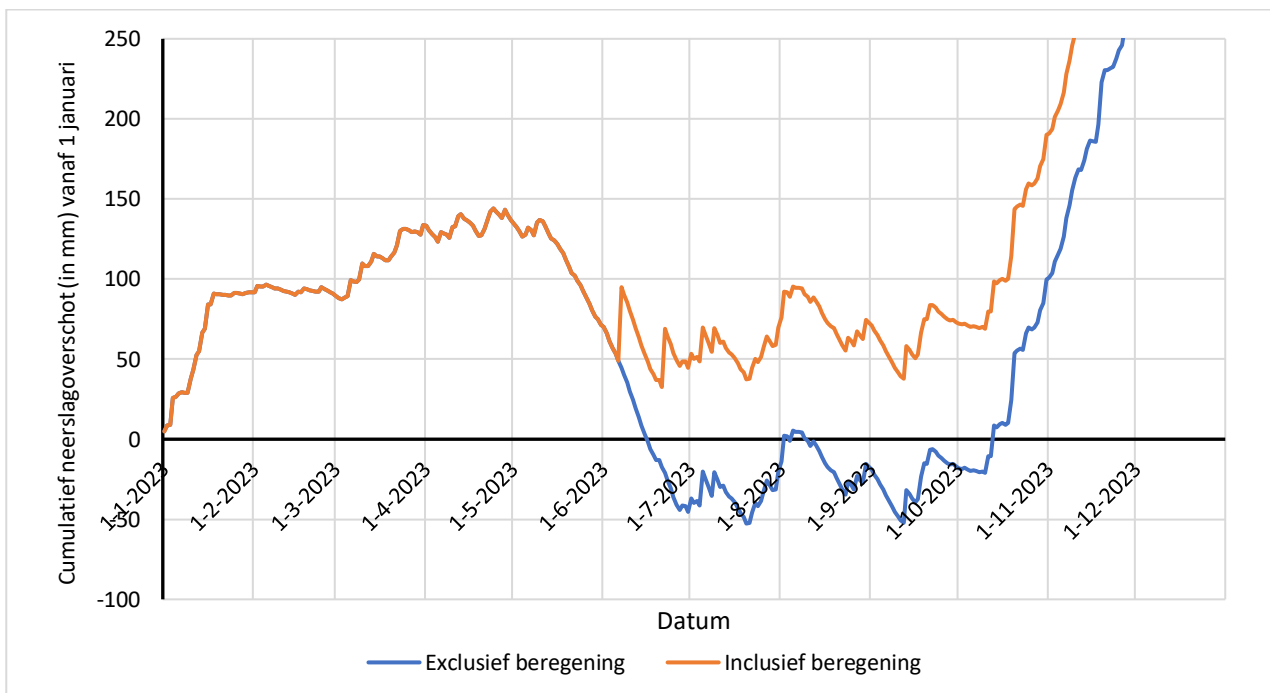


Figuur 3.1 Cumulatief neerslagoverschot (in mm) in 2022 berekend als neerslag minus verdamping (zonder ingrijpen, dus exclusief berekening, blauwe lijn) en het neerslagoverschot na twee keer berekenen in mei en augustus (oranje lijn), gemeten vanaf 1 januari 2022 (data afkomstig van het KNMI station Leeuwarden).

In 2022 zijn de koeien in alle perioden elke dag van de hoofdperiode geweid volgens plan, enkel in de voorperiode van periode 3 hebben de koeien enkele dagen overdag binnen gestaan in verband met extreem warm weer (hitteprotocol; behandeling WEI kreeg die dagen overdag vers gras op stal, 's nachts beweiding, behandeling BW weidde die dagen 's nachts). Op 7 juli is er op de percelen gespoten tegen ridderzuring, maar niet op de stroken die binnen 10 dagen zouden worden beweid.

3.1.2 2023

Ook in 2023 was er sprake van een zachte winter. Wel was het voorjaar nat en aan de koude kant. Op 1 maart is ongeveer 30 m³ drijfmest zonder schade met de sleepslang toegediend. In tegenstelling tot 2022, kende de zomer van 2023 meer extreem warme dagen, waardoor het hitteprotocol in gang werd gezet. Er moest in verband met de warmte en droogte in juni tevens beregend worden om een neerslagtekort te voorkomen. Op 7 juni en op 22 juni is respectievelijk 50 en 40 mm per ha beregend. Het temperatuurverloop en de hoeveelheid neerslag is weergegeven in Bijlage 1. Het cumulatieve neerslagoverschot, berekend vanaf 1 januari 2023 als neerslag minus verdamping is weergegeven in **Figuur 3.2**.



Figuur 3.2 Cumulatief neerslagoverschot (in mm) in 2023 berekend als neerslag minus verdamping (exclusief berekening, blauwe lijn) en het neerslagoverschot na twee keer berekenen (oranje lijn), gemeten vanaf 1 januari 2023 (data afkomstig van het KNMI station Leeuwarden).

In periode 2 is in verband met extreem warm weer het hitteprotocol toegepast. In de voorperiode op 18 en 25 juni en in de hoofdperiode op 8 juli verbleven de koeien van de behandeling WEI en BW overdag (tussen 10.00 en 16.00 uur) in de stal en kregen daar vers gras.

Door een communicatiefout met de loonwerker is eind juni teveel gras van perceel A4 weggemaaid voor inkuilen, waardoor voor de behandeling BZSV in periode 2 een grastekort ontstond. De twee laatste dagen van de voorperiode is vers gras van buiten het bedrijf gevoerd en in de hoofdperiode van periode 2 is gras van perceel D1 gebruikt.

3.2 Melkproductie en voeropname

Dit hoofdstuk beschrijft de analyse van de melkproductie en voeropname. Een volledig overzicht van de kwaliteitskenmerken per voedermiddel staat in Bijlage 2. De ingestelde krachtvoergift was voor alle behandelingen en koeien 5,5 kg. De gemiddelde krachtvoeropname was in alle gevallen lager dan de maximaal ingestelde krachtvoergift, doordat niet alle koeien alle porties uit de GreenFeed opnamen.

3.2.1 2022

De analyse per periode liet zien dat in alle perioden de (meet)melkproductie significant verschillend was tussen de behandelingen (**Tabel 3.1**). De melkproductie (zowel per kg melk als kg FPCM) was significant het hoogst voor BZSV en het laagst voor WEI ($p < 0,019$). De behandeling BW zat ertussen in, en de (meet)melkproductie verschilde in periode 1 en 3 niet van WEI en in periode 2 niet van BZSV. Het vet-, eiwit- en lactosegehalte (in %) verschilde in geen van de perioden tussen de behandelingen, maar de totale productie in gram per dag verschilde wel in dezelfde richting als de melkproductie. In periode 1 was het ureumgehalte in de melk significant het laagst voor de behandeling WEI ($p < 0,001$). De verschillen in melkproductie worden deels verklaard door de verschillen in voeropname. In periode 1 en 2 heeft BZSV significant de hoogste voeropname (respectievelijk 22,5 en 22,0 kg DS/koe/dag) en WEI de laagste voeropname (respectievelijk 20,1 en 19,7 kg DS/koe/dag, $p < 0,001$). Er waren geen significante verschillen in voeropname in periode 3, waardoor in die periode de voerefficiëntie wel significant verschilde tussen de behandelingen, met de hoogste voerefficiëntie voor BZSV ($p < 0,001$).

3.2.2 2023

In tegenstelling tot 2022, werden in 2023 minder verschillen gevonden tussen de melkproductie en voeropname tussen de behandelingen. In periode 1 was de meetmelkproductie significant hoger voor BZSV (32,6 kg FPCM/koe/dag) dan voor BW (30,6 kg FPCM/koe/dag, $p = 0,047$, **Tabel 3.2**). De behandeling WEI zat er tussenin met 31,0 kg FPCM/koe/dag. In deze periode was ook de totale vet- en eiwitproductie het hoogst voor BZSV en het laagst ($p < 0,023$). Periode 2 laat vergelijkbare resultaten zien, met een trend voor een hogere meetmelkproductie voor BZSV ($p = 0,060$) en een significant hogere vet- en eiwitproductie voor deze groep ($p < 0,037$). In deze periode was tevens het ureumgehalte significant het hoogst voor BZSV (23,1 mg/100 g versus 19,4 en 17,9 mg/100 g voor respectievelijk WEI en BW, $p < 0,001$). In periode 3 was dit omgekeerd en was het ureumgehalte het significant het hoogst voor WEI (27,3 mg/100 g versus 20,8 en 22,5 mg/100 g voor respectievelijk BW en BZSV, $p < 0,001$). Geen van de andere melkproductieparameters verschilden tussen de behandelingen in alle perioden. De totale voeropname (in kg DS) verschilden niet tussen de behandelingen in alle perioden van 2023. De voerefficiëntie was wel hoger voor BZSV in periode 1 en 2 dan voor WEI en BW ($p < 0,030$).

Tabel 3.1 Overzicht van de melk- en voergegevens per behandeling (WEI = onbeperkte weidegang, BW = beperkte weidegang en BZSV = beperkte zomerstalvoeding) per periode in 2022, inclusief de resultaten van de ANOVA analyse (LSD en p-waarden). Superscripts geven significante verschillen aan en moeten gelezen worden binnen de periode per rij.

Behandeling	1					2					3				
	WEI	BW	BZSV	LSD	P ¹	WEI	BW	BZSV	LSD	P ¹	WEI	BW	BZSV	LSD	p ¹
Meetmelkproductie (kg/d)	29,2 ^b	30,2 ^b	32,2 ^a	1,46	<0,001	26,8 ^b	29,4 ^a	30,2 ^a	1,45	<0,001	28,7 ^b	29,5 ^b	31,4 ^a	1,60	0,005
Melkproductie (kg/d)	27,9 ^b	29,1 ^{ab}	30,6 ^a	1,84	0,019	26,6 ^b	28,5 ^a	29,4 ^a	1,43	0,001	28,2 ^b	29,0 ^b	30,5 ^a	1,32	0,005
Vetgehalte (%)	4,29	4,21	4,24	0,337	0,883	4,07	4,23	4,14	0,234	0,387	4,10	4,18	4,23	0,350	0,755
Eiwitgehalte (%)	3,52	3,58	3,68	0,163	0,168	3,35	3,43	3,50	0,150	0,134	3,40	3,29	3,42	0,178	0,269
Lactosegehalte (%)	4,59	4,59	4,58	0,090	0,969	4,52	4,53	4,55	0,089	0,812	4,49	4,46	4,54	0,071	0,085
Vetproductie (g/d)	1195 ^b	1217 ^b	1298 ^a	79,2	0,032	1268	1097	1212	162,0	0,106	1160	1206	1287	104,5	0,058
Eiwitproductie (g/d)	983 ^c	1037 ^b	1122 ^a	52,5	<0,001	1083 ^a	901 ^b	972 ^b	102,3	0,004	956 ^b	949 ^b	1039 ^a	57,5	0,006
Lactoseproductie (g/d)	1281 ^b	1335 ^{ab}	1403 ^a	85,1	0,022	1383	1198	1317	156,0	0,064	1263 ^b	1294 ^b	1384 ^a	59,6	<0,001
Ureum (mg/100g)	10,8 ^b	14,6 ^a	16,2 ^a	2,03	<0,001	25,3	24,8	25,0	2,35	0,926	27,1	29,8	28,7	2,42	0,095
Diergewicht (kg)	627	638	653	29,9	0,217	610 ^b	640 ^{ab}	660 ^a	33,3	0,017	634	649	659	31,0	0,250
Voeropname (kg DS/d)	20,1 ^b	20,7 ^b	22,5 ^a	0,73	<0,001	19,7 ^b	21,3 ^a	22,0 ^a	0,86	<0,001	21,7	21,8	21,0	1,06	0,278
Graskuil opname (kg DS/d) ²	0,0	4,6	4,9	-	-	0,0	7,6	6,7	-	-	0,0	6,9	6,4	-	-
Vers gras opname (kg DS/d) ²	16,1	11,2	12,5	-	-	14,7	8,6	10,2	-	-	16,4	10,0	9,4	-	-
Krachtvoeropname (kg DS/d) ²	3,9	4,9	5,1	-	-	5,0	5,1	5,1	-	-	5,3	4,9	5,1	-	-
Voerefficiëntie (kg FPCM/kg DS)	1,45	1,46	1,43	0,063	0,491	1,47	1,30	1,39	0,137	0,052	1,32 ^b	1,35 ^b	1,50 ^a	0,050	<0,001

¹ p waarden lager dan 0,05 geven een significant behandelingsverschil aan.

² De afzonderlijke opnames van de voercomponenten zijn niet statistisch geanalyseerd, omdat dat geen betekenis heeft (componenten verschilde tussen behandelingsgroepen en krachtvoergift was een vaste maximale gift). Vers gras opname voor BZSV is bepaald op basis van wat is gemeten in de RIC-bakken, voor WEI en BW is dit geschat o.b.v. VEM berekeningen.

Tabel 3.2 Overzicht van de koe- en voergegevens per behandeling (WEI = onbeperkte weidegang, BW = beperkte weidegang en BZSV = beperkte zomerstalvoeding) per periode in 2023, inclusief de resultaten van de REML analyse (LSD en p-waarde). Superscripts geven significante verschillen aan en moeten gelezen worden binnen de periode per rij.

Behandeling	1					2					3				
	WEI	BW	BZSV	LSD	P ¹	WEI	BW	BZSV	LSD	P ¹	WEI	BW	BZSV	LSD	p ¹
Meetmelkproductie (kg/d)	31,0 ^{ab}	30,6 ^b	32,6 ^a	1,70	0,047	28,6	29,5	30,8	1,78	0,060	26,4	26,1	26,3	1,24	0,865
Melkproductie (kg/d)	30,0	29,1	30,5	2,01	0,368	27,8	27,3	28,6	1,62	0,274	25,5	25,1	24,4	1,42	0,279
Vetgehalte (%)	4,20	4,43	4,53	0,342	0,163	4,24 ^b	4,70 ^a	4,57 ^a	0,292	0,008	4,26 ^b	4,31 ^b	4,59 ^a	0,287	0,050
Eiwitgehalte (%)	3,55	3,43	3,49	0,182	0,392	3,33	3,33	3,48	0,158	0,101	3,46	3,42	3,51	0,149	0,516
Lactosegehalte (%)	4,59	4,60	4,61	0,073	0,883	4,50	4,51	4,51	0,092	0,962	4,50	4,43	4,47	0,091	0,312
Vetproductie (g/d)	1253 ^b	1280 ^b	1377 ^a	91,7	0,023	1180 ^b	1282 ^a	1305 ^a	100,6	0,037	1080	1073	1114	62,6	0,371
Eiwitproductie (g/d)	1061 ^a	987 ^b	1059 ^a	52,0	0,010	923 ^b	906 ^b	993 ^a	52,4	0,004	881	859	853	54,9	0,552
Lactoseproductie (g/d)	1376	1339	1406	98,8	0,399	1253	1232	1289	78,8	0,335	1149	1112	1090	73,3	0,269
Ureum (mg/100g)	19,4	17,6	19,2	2,56	0,289	19,4 ^b	17,9 ^b	23,1 ^a	2,37	<0,001	27,3 ^a	20,8 ^b	22,5 ^b	2,45	<0,001
Diergewicht (kg)	589	598	625	41,0	0,195	615	591	620	38,2	0,270	576	589	597	38,6	0,564
Voeropname (kg DS/d)	21,2	21,3	21,0	0,96	0,802	21,7	22,0	22,2	0,96	0,533	19,3	19,4	19,3	0,85	0,979
Graskuil opname (kg DS/d) ²	0,0	5,9	6,2	-	-	0,0	6,8	6,9	-	-	0,0	7,0	6,8	-	-
Vers gras opname (kg DS/d) ²	17,2	10,9	10,3	-	-	16,9	10,3	10,2	-	-	14,0	7,9	7,9	-	-
Krachtvoeropname (kg DS/d) ²	3,9	4,6	4,6	-	-	4,9	5,0	4,8	-	-	5,3	4,6	4,7	-	-
Voerefficiëntie (kg FPCM/kg DS)	1,46 ^b	1,43 ^b	1,55 ^a	0,048	<0,001	1,31 ^b	1,34 ^{ab}	1,38 ^a	0,050	0,030	1,37	1,34	1,36	0,047	0,599

¹ p waarden lager dan 0,05 geven een significant behandelingsverschil aan

² De afzonderlijke opnames van de voercomponenten zijn niet statistisch geanalyseerd, omdat dat geen betekenis heeft (componenten verschilde tussen behandelingsgroepen en krachtvoergift was een vaste maximale gift). Vers gras opname voor BZSV is bepaald op basis van wat is gemeten in de RIC-bakken, voor WEI en BW is dit geschat o.b.v. VEM berekeningen.

3.3 Methaanemissie

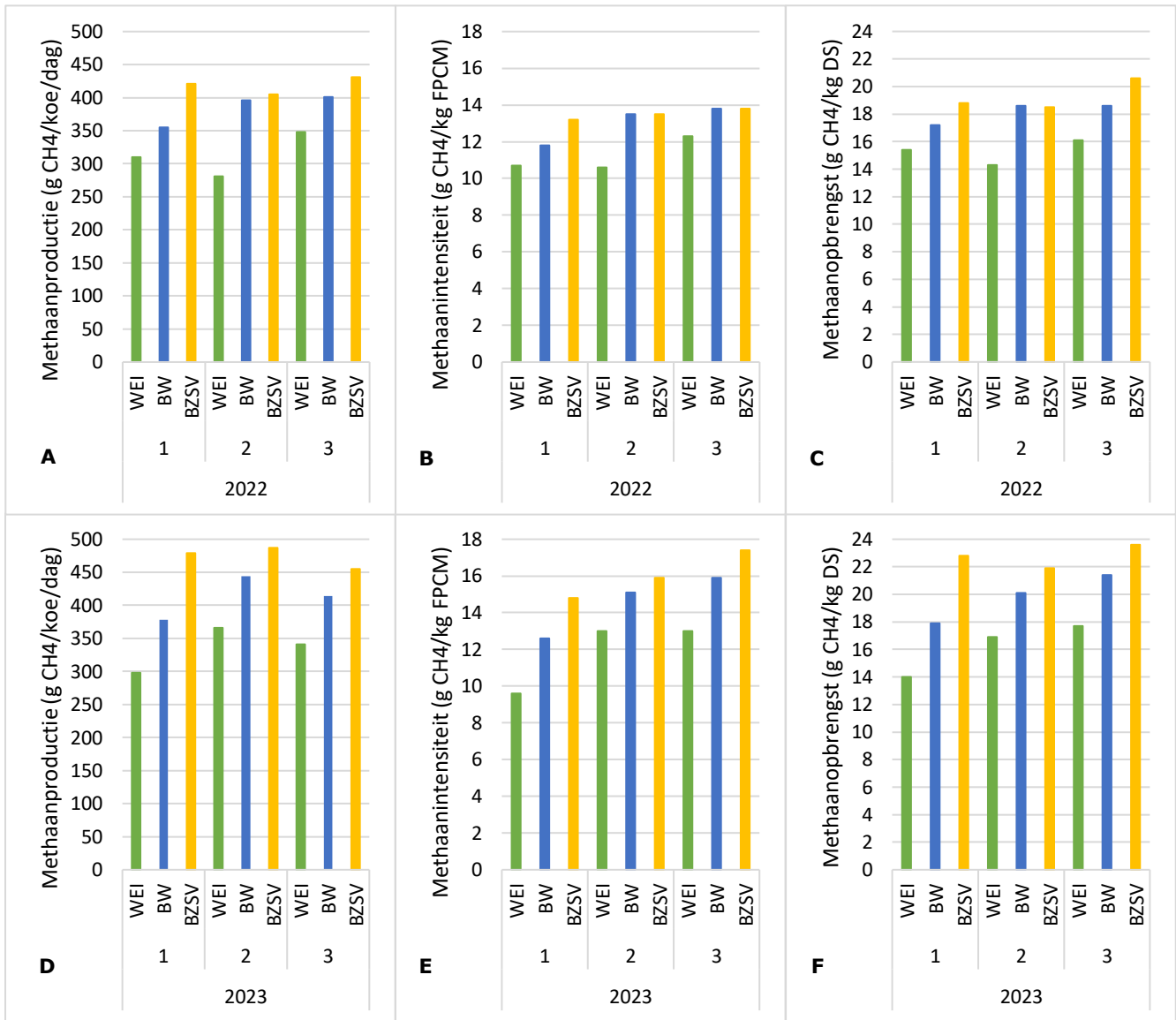
In totaal zijn er 18358 emissiemetingen verzameld, 9142 in 2022 en 9216 in 2023, met gemiddeld $60 \pm 17,5$ metingen per koe per hoofdperiode. Er waren 6 koeien met minder dan 20 metingen in een hoofdperiode, waarvan 3 koeien minder dan 13 metingen hadden (1 in 2022 en 2 in 2023, allen in periode 1, behandeling WEI). De CH₄ data van de koeien met minder dan 13 metingen zijn verwijderd voor de analyse en alle data van de pensgefistuleerde koeien zijn verwijderd, omdat zij geen blok vormden (voor de pensgefistuleerde koeien is een aparte analyse uitgevoerd voor een Latijns vierkant design, zie hoofdstuk 3.5). De analyse is per jaar per proefperiode uitgevoerd (enkel met de data van de hoofdperiode van elke proefperiode). Ten slotte is er een meta-analyse uitgevoerd over beide jaren en alle perioden.

3.3.1 2022

In 2022 was de CH₄ productie in alle perioden het laagst voor WEI en het hoogst voor BZSV (in periode 2 niet significant verschillend van BW, $p < 0,001$, **Tabel 3.3**). De CH₄ intensiteit was in periode 1 significant hoger voor BZSV (13,2 g CH₄/kg FPCM) dan voor WEI en BW (respectievelijk 10,7 en 11,8 g CH₄/kg FPCM, $p = 0,002$). In periode 2 en 3 was de CH₄ intensiteit gelijk tussen BW en BZSV (beide 13,5 g CH₄/kg FPCM in periode 2 en 13,8 g CH₄/kg FPCM in periode 3), wat significant hoger was dan WEI (10,6 g CH₄/kg FPCM in periode 2 en 12,3 g CH₄/kg FPCM in periode 3, $p < 0,007$). In alle perioden was de CH₄ opbrengst het significant het laagst voor WEI (15,4 g CH₄/kg DS in periode 1, 14,3 g CH₄/kg DS in periode 2 en 16,1 g CH₄/kg DS in periode 3, **Figuur 3.3**). In periode 3 was de CH₄ opbrengst tevens significant lager voor BW (18,6 g CH₄/kg DS) dan voor ZSV (20,6 g CH₄/kg DS, in alle perioden $p < 0,001$). In alle perioden was de CO₂ productie het laagst voor WEI, dan voor BW en het hoogst voor BZSV ($p < 0,001$). De CH₄:CO₂ ratio is enkel in periode 1 significant hoger voor BZSV dan de andere behandelingen ($p < 0,001$).

3.3.2 2023

De analyse van 2023 laat dezelfde resultaten zien als 2022, met opnieuw de laagste CH₄ productie, intensiteit en opbrengst voor WEI, dan voor BW en het hoogst voor BZSV ($p < 0,001$, de CH₄ intensiteit in periode 2 is niet significant verschillend tussen BW en BSZSV, **Tabel 3.4** en **Figuur 3.3**). De CO₂ productie was in periode 1 en 2 het significant het hoogst voor BZSV en in periode 2 significant het laagst voor WEI ($p < 0,001$). In alle perioden was de CH₄:CO₂ ratio het hoogst voor BZSV, maar in periode 2 en 3 was dit niet significant verschillend van BW ($p < 0,001$).



Figuur 3.3 Gemiddelde CH₄ emissie per behandeling (WEI in groen, BW in blauw en BZSV in geel) per periode (1, 2 en 3) per jaar (2022 en 2023) op basis van de REML analyse per periode. De CH₄ emissie is uitgedrukt als CH₄ productie per koe per dag (grafiek A voor 2022 en D voor 2023), CH₄ intensiteit per kg FPCM (grafiek B voor 2022 en E voor 2023) en CH₄ opbrengst per kg DS opname (grafiek C voor 2022 en F voor 2023).

Tabel 3.3 Resultaten van de ANOVA analyse van de CH₄ emissie per periode per behandeling in 2022. Met behandeling als fixed effect en koe binnen blok en blok als random effecten. Significante verschillen tussen behandelingen zijn weergegeven met superscripts.

Periode	1					2					3				
	WEI	BW	BZSV	LSD	P ¹	WEI	BW	BZSV	LSD	p	WEI	BW	BZSV	LSD	p
CH ₄ productie, g CH ₄ /koe/dag	310 ^c	355 ^b	421 ^a	33,9	<0,001	281 ^b	396 ^a	405 ^a	30,0	<0,001	348 ^c	401 ^b	431 ^a	28,5	<0,001
CH ₄ intensiteit, g CH ₄ /kg FPCM	10,7 ^b	11,8 ^b	13,2 ^a	1,29	0,002	10,6 ^b	13,5 ^a	13,5 ^a	1,15	<0,001	12,3 ^b	13,8 ^a	13,8 ^a	1,08	0,007
CH ₄ opbrengst, g CH ₄ /kg DS	15,4 ^b	17,2 ^a	18,8 ^a	1,63	0,001	14,3 ^b	18,6 ^a	18,5 ^a	1,45	<0,001	16,1 ^c	18,6 ^b	20,6 ^a	1,30	<0,001
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	12401 ^c	13416 ^b	14245 ^a	638,5	<0,001	10163 ^c	13381 ^b	13908 ^a	474,0	<0,001	11732 ^c	13138 ^b	13825 ^a	553,1	<0,001
CH ₄ :CO ₂ ratio	0,0250 ^b	0,0264 ^b	0,0294 ^a	0,00198	<0,001	0,0276	0,0296	0,0291	0,00181	0,086	0,0296	0,0305	0,0312	0,00165	0,178

¹ p waarden lager dan 0,05 geven een significant behandelingsverschil aan.

Tabel 3.4 Resultaten van de ANOVA analyse van de CH₄ emissie per periode per behandeling in 2023. Met behandeling als fixed effect en koe binnen blok en blok als random effecten. Significante verschillen tussen behandelingen zijn weergegeven met superscripts.

Periode	1					2					3				
	WEI	BW	BZSV	LSD	P ¹	WEI	BW	BZSV	LSD	p	WEI	BW	BZSV	LSD	p
CH ₄ productie, g CH ₄ /koe/dag	298 ^c	378 ^b	479 ^a	29,6	<0,001	366 ^c	444 ^b	487 ^a	29,9	<0,001	341 ^c	414 ^b	455 ^a	25,3	<0,001
CH ₄ intensiteit, g CH ₄ /kg FPCM	9,6 ^c	12,6 ^b	14,8 ^a	1,18	<0,001	13,0 ^b	15,1 ^a	15,9 ^a	1,29	<0,001	13,0 ^c	15,9 ^b	17,4 ^a	1,24	<0,001
CH ₄ opbrengst, g CH ₄ /kg DS	14,0 ^c	17,9 ^b	22,8 ^a	1,56	<0,001	16,9 ^c	20,1 ^b	21,9 ^a	1,33	<0,001	17,7 ^c	21,4 ^b	23,6 ^a	1,47	<0,001
CO ₂ productie (g CO ₂ /koe/dag)	12291 ^b	12483 ^b	13886 ^a	577,8	<0,001	11356 ^c	12230 ^b	13307 ^a	637,4	<0,001	12097	12574	12639	543,0	0,101
CH ₄ :CO ₂ ratio	0,0243 ^c	0,0303 ^b	0,0345 ^a	0,00186	<0,001	0,0323 ^b	0,0364 ^a	0,0366 ^a	0,00140	<0,001	0,0282 ^b	0,0330 ^a	0,0361 ^a	0,00138	<0,001

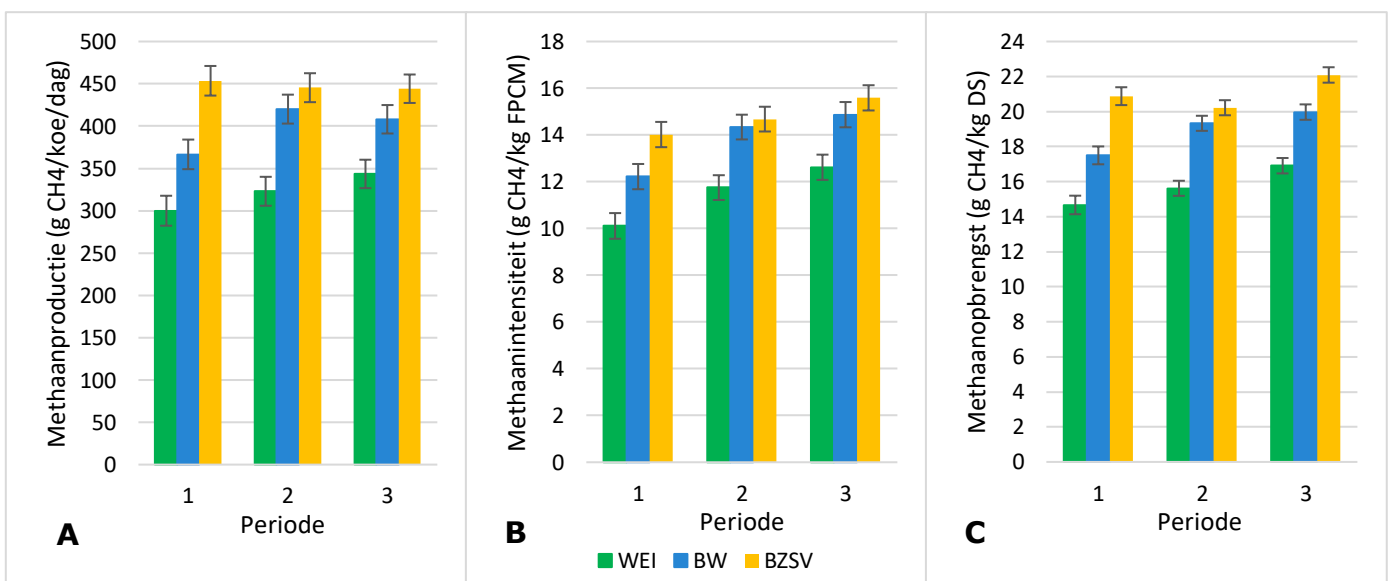
¹ p waarden lager dan 0,05 geven een significant behandelingsverschil aan.

3.3.3 Meta-analyse 2022 en 2023

De meta-analyse over beide jaren en alle perioden laat zien dat de CH₄ productie, intensiteit en opbrengst significant het laagst is voor WEI (322 g CH₄/koe/dag, 11,5 g CH₄/kg FPCM en 15,7 g CH₄/kg DS), daarna voor BW (398 g CH₄/koe/dag, 13,8 g CH₄/kg FPCM en 18,9 g CH₄/kg DS) en het hoogst voor BZSV (448 g CH₄/koe/dag, 14,8 g CH₄/kg FPCM en 21,1 g CH₄/kg DS, voor alle $p < 0,001$, **Tabel 3.5** en **Figuur 3.4**). De CO₂ productie en de CH₄:CO₂ ratio zijn ook significant verschillend in dezelfde richting, met de laagste productie en ratio voor WEI en hoogste voor BZSV ($p < 0,001$). Er werd enkel een significant effect van jaar gevonden op de CH₄ opbrengst ($p = 0,040$) en CO₂ productie ($p = 0,017$). De CH₄ opbrengst was in 2023 gemiddeld over alle behandelingen heen 2,1 g CH₄/kg DS hoger dan in 2022, terwijl de CO₂ productie juist 0,4 kg CO₂/koe/dag lager was. De CO₂ productie was tevens significant hoger in periode 1 (13,1 kg CO₂/koe/dag in periode 1 versus 12,4 en 12,7 kg CO₂/koe/dag in periode 2 en 3, $p = 0,002$).

Er was een interactie tussen behandeling en periode voor de CH₄ productie, CH₄ opbrengst, CO₂ productie en de CH₄:CO₂ ratio ($p < 0,035$). Voor WEI nam de CH₄ productie en opbrengst toe over de perioden, voor BW nam de CH₄ opbrengst ook toe over de perioden, maar de CH₄ productie was voor die behandeling het hoogst in periode 2. De behandeling BZSV liet geen verschillen zien in CH₄ productie tussen perioden, maar de CH₄ opbrengst was het hoogst in periode 3 en het laagst in periode 2 (**Figuur 3.4**). Voor BW en BZSV neemt de CO₂ productie af over de perioden, terwijl deze voor WEI het laagst was in periode 2. Ten slotte werd de hoogste CH₄:CO₂ ratio voor WEI en BW gevonden in periode 2, voor BZSV nam de ratio toe over de perioden.

Er werden geen significante verschillen gevonden in melkproductie en voeropname tussen de perioden en jaren. Wel verschilde de melkproductie en voeropname tussen de behandelingen, met de laagste meetmelkproductie en voeropname voor WEI ($p < 0,001$). De voerefficiëntie was het hoogst voor BZSV met 1,42 kg FPCM/kg DS versus 1,38 en 1,39 kg FPCM/kg DS voor respectievelijk WEI en BW ($p < 0,001$).



Figuur 3.4 Gemiddelde CH₄ emissie per behandeling (WEI in groen, BW in blauw en BZSV in geel) per periode (1, 2 en 3) op basis van de meta-analyse van de data van 2022 en 2023. De CH₄ emissie is uitgedrukt als CH₄ productie per koe per dag (grafiek A), CH₄ intensiteit per kg FPCM (grafiek B) en CH₄ opbrengst per kg DS opname (grafiek C), inclusief de standaard error (zwarte lijnen).

Tabel 3.5 Multiple Experiments Analysis (by REML) van proef A van 2022 en 2023, met in het fixed model behandeling, periode, jaar en de interactie tussen behandeling en periode, en in het random model blok binnen periode binnen jaar en periode binnen jaar. De geschatte behandelingsgemiddelden (WEI, BW en BZSV), periodegemiddelden (1 voorjaar, 2 zomer en 3 najaar) en jaargemiddelden (2022 en 2023) staan weergegeven, evenals de LSD en p-waarde. Significante verschillen tussen behandelingen zijn weergegeven met superscripts.

	Behandeling					Periode					Jaar				Periode x behandeling
	WEI	BW	BZSV	LSD ¹	p	1	2	3	LSD ¹	p	2022	2023	LSD	p	p
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	322 ^c	398 ^b	448 ^a	12,0	<0,001	373	396	399	97,2	0,746	372	407	79,3	0,193	<0,001
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	11,5 ^c	13,8 ^b	14,8 ^a	0,50	<0,001	12,1	13,6	14,4	2,93	0,161	12,6	14,1	2,37	0,169	0,104
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	15,7 ^c	18,9 ^b	21,1 ^a	0,62	<0,001	17,7	18,4	19,7	2,32	0,134	17,5 ^b	19,6 ^a	1,85	0,040	0,035
CO ₂ productie (kg CO ₂ /koe/dag)	11,6 ^c	12,9 ^b	13,7 ^a	0,24	<0,001	13,1 ^a	12,4 ^b	12,7 ^b	0,40	0,002	12,9 ^a	12,5 ^b	0,32	0,017	<0,001
CH ₄ :CO ₂ ratio (%)	2,76 ^c	3,11 ^b	3,30 ^a	0,073	<0,001	2,83	3,19	3,14	0,709	0,323	2,87	3,24	0,578	0,109	<0,001
Meetmelkproductie (kg/d)	28,5 ^c	29,3 ^b	30,6 ^a	0,63	<0,001	31,0	29,2	28,1	7,88	0,586	29,7	29,2	6,44	0,757	0,020
Melkproductie (kg/d)	27,5 ^b	28,1 ^b	29,1 ^a	0,69	<0,001	29,6	28,0	27,1	8,08	0,901	28,9	27,6	6,64	0,515	0,443
Ureum (mg/100g)	21,5 ^{ab}	20,0 ^b	22,5 ^a	1,03	0,005	16,4	22,6	26,0	17,22	0,745	22,5	20,8	14,08	0,661	0,005
Voeropname (kg DS/d) , o.b.v. VEM	20,5 ^b	21,1 ^a	21,5 ^a	0,37	<0,001	21,1	21,5	20,4	4,88	0,743	21,2	20,9	3,99	0,779	<0,001
Graskuilopname (kg DS/d), o.b.v. VEM	0,0	6,4	6,4	-	-	3,6	4,6	4,5	-	-	4,1	4,4	-	-	-
Weidegras opname (kg DS/d), o.b.v. VEM	15,9	9,8	10,1	-	-	13,0	11,8	11,3	-	-	12,1	11,9	-	-	-
Krachtvoeropname (kg DS/d)	4,7	4,8	4,9	-	-	4,6	5,0	5,0	-	-	4,9	4,7	-	-	-
Voerefficiëntie (kg FPCM/kg DS)	1,38 ^b	1,39 ^b	1,42 ^a	0,021	<0,001	1,46	1,36	1,37	0,120	0,102	1,40	1,39	0,096	0,790	0,241

3.4 Ruwvoer kwaliteit

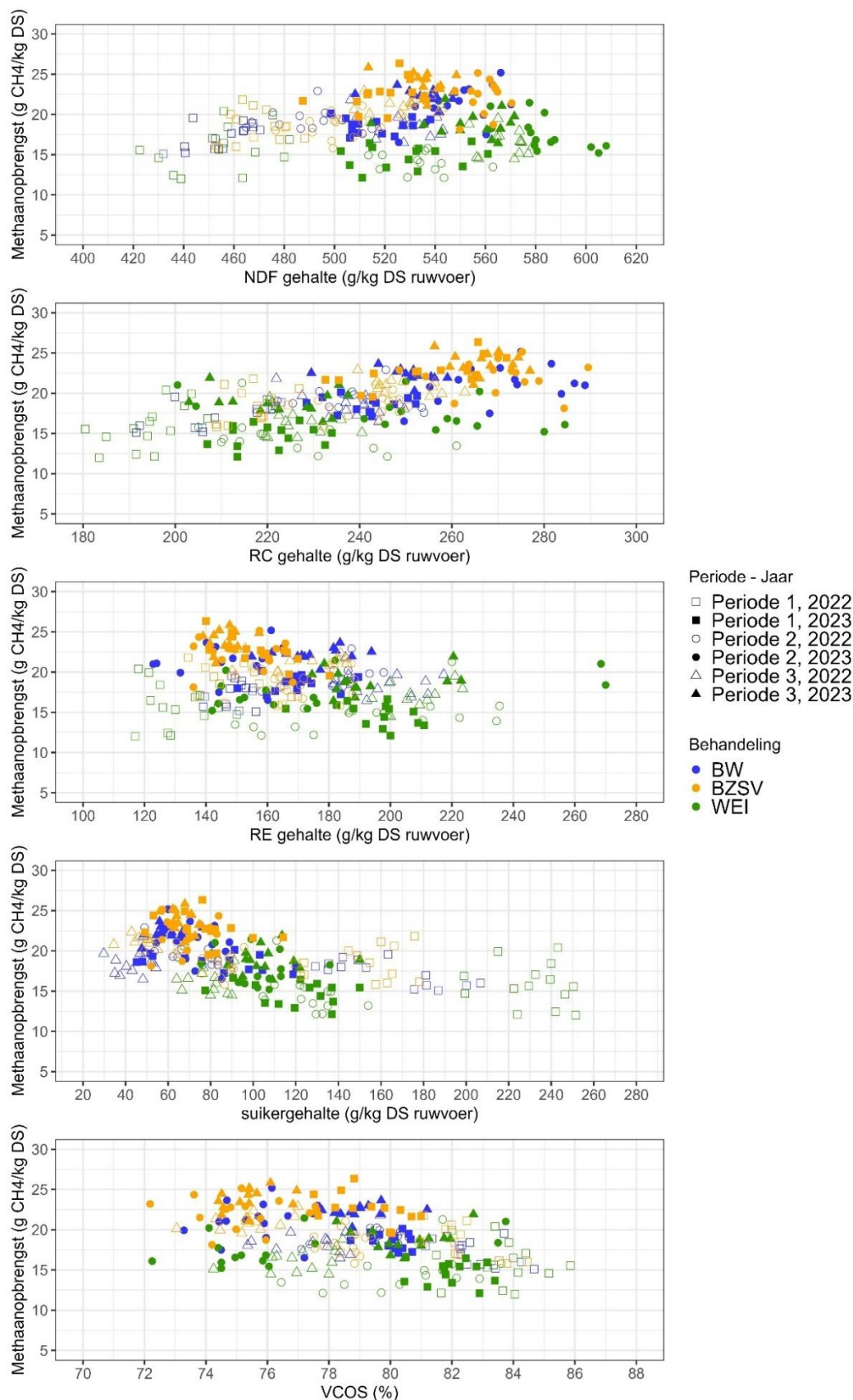
3.4.1 Ruwvoer kwaliteit en methaanemissie

Om de verschillen in CH₄ emissie tussen de behandelingen, perioden en jaren te kunnen verklaren, richt deze vervolganalyse zich op de ruwvoer kwaliteit. De focus van deze analyse ligt op de kwaliteitskenmerken NDF, RC, RE en suiker (allen in g/kg DS) en de verteerbaarheid van de organische stof (VCOS, in %). De ruwvoer kwaliteit in deze analyse is een gemiddelde van de kwaliteit van het opgenomen vers gras en graskuil. Bij de statistische analyse is gekeken naar het effect van ruwvoer kwaliteit (voor de kwaliteitskenmerken NDF, RE, RC, Suiker en VCOS) op de CH₄ opbrengst, waarbij tevens behandeling (WEI, BW en BZSV), periode (1, 2 en 3) en jaar (2022 versus 2023) en de interacties tussen ruwvoer kwaliteit, behandeling en periode zijn meegenomen in het model. De analyse is uitgevoerd per ruwvoer kwaliteitskenmerk.

Het effect van de ruwvoer kwaliteit (voor de kwaliteitskenmerken NDF, RE, RC, Suiker en VCOS) op de CH₄ opbrengst van beide jaren is grafisch weergegeven in **Figuur 3.5**. Bij alle kwaliteitskenmerken was sprake van een grote spreiding, waardoor de effecten (hoewel significant) klein zijn.

Er werd een significant effect van NDF en RC gevonden op de CH₄ opbrengst, maar dit effect was afhankelijk van behandeling. Voor BW en BZSV leidde een hoger NDF en RC gehalte voor een hogere CH₄ opbrengst, terwijl dat voor WEI niet zo was (beide $p < 0,001$). Het effect was het grootst in periode 1. Een hoger RE gehalte leidde voor alle behandelingen tot een lagere CH₄ opbrengst ($p < 0,001$), vooral in periode 1. Er werd een significant effect van suiker gevonden op de CH₄ opbrengst ($p < 0,001$), maar ook dit effect was afhankelijk van behandeling en periode. Een hoger suikergehalte leidde tot een lagere CH₄ opbrengst voor BZSV in alle perioden, voor de behandelingen met weidegang werd dat enkel in periode 2 gevonden. In periode 1 was er voor WEI en BW juist een positief verband; een hoger suikergehalte zorgde voor een hogere CH₄ opbrengst. Tot slot werd er voor BW en BZSV in periode 1 een negatief effect gevonden van de VCOS op de CH₄ opbrengst ($p < 0,001$); hogere VCOS zorgde voor die behandelingen voor een lagere CH₄ opbrengst. In periode 2 en 3 was dit echter andersom en dit effect was tevens omgekeerd voor de behandeling WEI.

Opvallend is dat het effect van het NDF gehalte, RC gehalte en de VCOS voor BW en BZSV in dezelfde richting is, terwijl dat voor WEI niet het geval is. Het effect van RE is wel voor alle behandelingen vergelijkbaar. Het effect van suiker lijkt voor de behandelingen met weidegang vergelijkbaarder dan voor BZSV.



Figuur 3.5 De kwaliteitskenmerken NDF , RC, RE, suiker (allen in g/kg DS van het ruwvoerdeel) en VCOS (in %) van het totale ruwvoerrantsoen uitgezet tegen de CH₄ opbrengst (in g CH₄/kg DS) op groepsniveau per dag voor de behandelingen BW (blauw), BZSV (geel) en WEI (groen) in periode 1 (vierkant), 2 (cirkel) en 3 (driehoek) van 2022 (open symbolen) en 2023 (dichte symbolen).

3.4.2 Vers graskwaliteit in de ochtend en in de avond

De behandeling WEI heeft gedurende een volledig etmaal op één strook gelopen. Omdat bekend is dat koeien selectief grazen, kan er verschil ontstaan in vers graskwaliteit tussen het gras dat in de ochtend na inscharen wordt opgenomen en het gras dat gedurende de nacht wordt opgenomen. Om dit te toetsen zijn de dagelijkse monsters van de ochtend (bij inscharen) en in de avond (rond melken) vergeleken. De resultaten zijn per periode per jaar als gemiddelde van veertien monsters weergegeven in Bijlage 3. Er werd een significant verschil gevonden tussen de graskwaliteit in de ochtend en avond voor de het gehalte NDF, RE en suiker ($p < 0,001$). Voor alle kwaliteitskenmerken was ook sprake van een significant verschil tussen de perioden ($p < 0,001$). De RE gehalten waren hoger in de ochtend dan in de avond en het NDF en suiker gehalte was hoger in de avond dan in de ochtend. De VEM, VCOS en het RC gehalte verschilde niet tussen de ochtend en avond. Bijna exact dezelfde resultaten werden gevonden in 2020 en 2021, echter werd toen een hoger NDF gehalte in de ochtend gevonden.

3.5 Verteringskarakteristieken

3.5.1 Vluchtige vetzuurpatroon en ammoniak in de pens

In 2022 zijn in totaal 100 pensvloeistofmonsters verzameld (10 extra monsters i.v.m. een extra fistelkoe in periode 3) en in 2023 in totaal 90 monsters. De gemiddelde concentraties ammoniak en vluchtige vetzuren en enkele kengetallen berekend uit de vetzuurconcentraties zijn weergegeven in **Tabel 3.6** (voor 2022) en **Tabel 3.7** (voor 2023).

De gemiddelde ammoniakconcentratie was in beide jaren niet significant verschillend tussen de behandelingen ($p = 0,888$ en $p = 0,106$), hoewel de verschillen in 2023 wel groter waren tussen de behandelingen. De ammoniakconcentratie was in 2023 voor de behandeling WEI hoger in vergelijking met de andere behandelingen.

De concentratie azijnzuur was in 2023 hoger ($p < 0,001$) voor WEI in vergelijking met de andere behandelingen. In 2022 was er sprake van een tendens ($p = 0,097$), waarbij de azijnzuurconcentratie hoger was voor WEI ten opzichte van BZSV. Het totale gehalte aan vluchtige vetzuren was echter ook hoger, waardoor het aandeel azijnzuur gelijk bleef. De propionzuur concentraties verschilden in beide jaren niet, maar in 2022 was de procentuele concentratie lager voor WEI in vergelijking met BZSV ($p = 0,032$). Voor boterzuur was in 2022 zowel de concentratie als procentuele verhouding hoger voor WEI (voor beide $p < 0,001$). De andere vetzuren verschilden niet tussen de behandelingen.

De verhouding aan 'niet-glucogene' en 'glucogene' vetzuren (NGR) was alleen in 2022 significant verschillend ($p < 0,001$), behandeling WEI had een hogere NGR ten opzichte van BW en BZSV (**Figuur 3.6**). Niet glucogene vetzuren of ketogene vetzuren (azijnzuur, (iso)boterzuur) zijn bouwstenen voor energie en voor de vorming van lichaams- of melkvet. Glucogene vetzuren zoals propionzuur zijn precursors voor glucose en essentieel voor de vorming van melksuiker (lactose). Een hogere NGR waarde voor WEI in 2022 betekent dat er relatief meer ketogene vetzuren werden gevormd ten opzichte van glucogene, door de hogere concentratie boterzuur en azijnzuur. De verhouding tussen azijnzuur en propionzuur wees in dezelfde richting als de NGR waarde, maar was in beide jaren niet significant verschillend.

Tabel 3.6 Verteringskarakteristieken in 2022: concentraties van ammoniak, vluchtige vetzuren en enkele kengetallen berekend uit de vetzuurconcentraties, inclusief de LSD en p-waarde van de analyse.

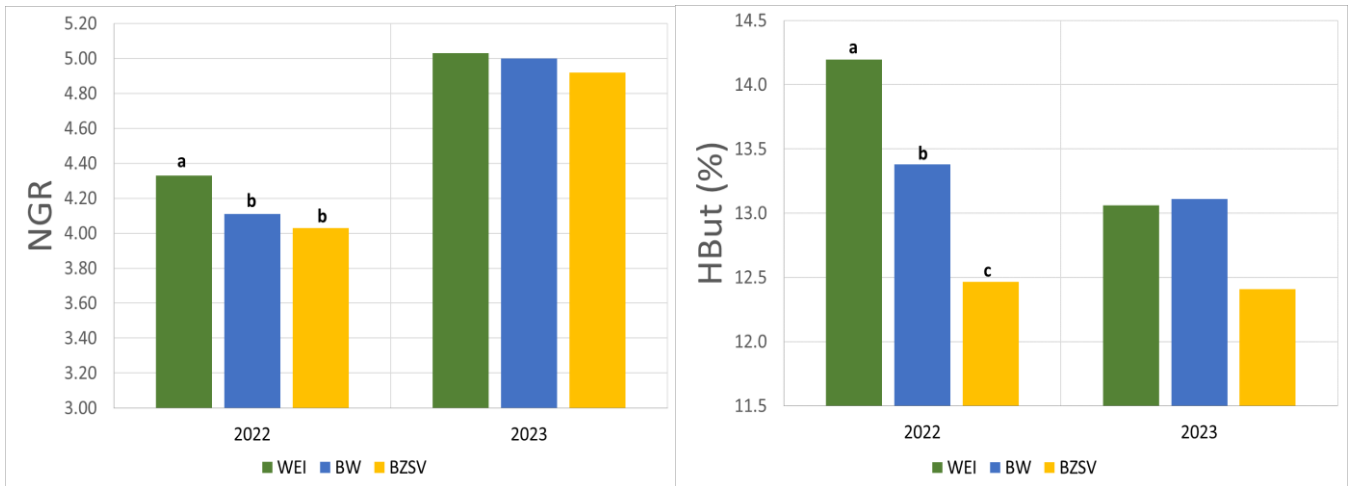
	WEI	BW	BZSV	LSD	p-waarde
Ammoniak:					
NH ₃ -N (mg/l)	90,9	86,0	92,1	27,6	0,888
NH ₃ (mg/l)	110,3	104,5	111,9	33,5	0,888
Spreiding NH ₃ (mg/l)	39,7	59,5	68,0	-	-
Vluchtige vetzuren:					
Azijnzuur (mmol HAC/l)	77,9	76,6	73,7	4,5	0,097
Propionzuur (mmol Hprop/l)	25,1	24,9	24,5	2,1	0,792
Boterzuur (mmol HBut/l)	18,0	16,3	14,8	1,7	<0,001
Iso boterzuur (mmol H isoBut/l)	0,94	0,96	0,91	0,21	0,663
Valeriaanzuur (mmol HVal/l)	1,50	1,61	1,74	0,72	0,639
Iso valeriaanzuur (mmol H isoVal/l)	1,33	1,44	1,34	0,22	0,541
Capronzuur (mmol HCapr/l)	0,30	0,45	0,52	0,40	0,357
Iso capronzuur (mmol H isoCapr/l)	0,02	0,02	0,02	0,01	0,562
Totaal vluchtige vetzuren (mmol/l)	125,0	122,4	117,7	8,1	0,110
Azijnzuur (%)	62,4	62,8	63,0	1,4	0,594
Propionzuur (%)	19,9	20,3	20,7	0,7	0,032
Boterzuur (%)	14,3	13,3	12,5	0,7	<0,001
iso boterzuur (%)	0,76	0,78	0,78	0,06	0,618
Valeriaanzuur (%)	1,21	1,30	1,44	0,49	0,429
iso valeriaanzuur (%)	1,09	1,13	1,13	0,40	0,878
Capronzuur (%)	0,24	0,38	0,43	0,29	0,281
iso capronzuur (%)	0,008	0,011	0,013	0,008	0,321
NGR ¹	4,33	4,11	4,03	0,15	<0,001
Verhouding HAC/HProp	3,18	3,10	3,11	0,16	0,521

¹ Non glucogenic/glucogenic ratio: verhouding tussen niet glucogene en glucogene vetzuren

Tabel 3.7 Verteringskarakteristieken in 2023: concentraties van ammoniak, vluchtige vetzuren en enkele kengetallen berekend uit de vetzuurconcentraties, inclusief de LSD en p-waarde van de analyse.

	WEI	BW	BZSV	LSD	p-waarde
Ammoniak:					
NH ₃ -N (mg/l)	150,1	92,7	93,0	63,9	0,106
NH ₃ (mg/l)	182,3	112,5	112,9	77,6	0,106
Spreiding NH ₃ (mg/l)	63,1	60,6	72,2	26,8	0,344
Vluchtige vetzuren:					
Azijnzuur (mmol HAC/l)	74,6	69,1	66,2	4,0	<0,001
Propionzuur (mmol Hprop/l)	19,3	18,3	17,7	1,9	0,235
Boterzuur (mmol HBut/l)	14,8	13,7	12,5	4,7	0,300
Iso boterzuur (mmol H isoBut/l)	1,00	0,79	0,71	0,32	0,132
Valeriaanzuur (mmol HVal/l)	1,24	1,17	1,10	0,26	0,453
Iso valeriaanzuur (mmol H isoVal/l)	1,34	0,94	0,89	0,47	0,102
Capronzuur (mmol HCapr/l)	0,38	0,42	0,40	0,08	0,557
Iso capronzuur (mmol H isoCapr/l)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,631
Totaal vluchtige vetzuren (mmol/l)	112,6	104,4	99,5	16,8	0,148
Azijnzuur (%)	66,4	66,3	66,9	2,3	0,799
Propionzuur (%)	17,0	17,4	17,6	2,8	0,713
Boterzuur (%)	13,1	13,1	12,4	1,4	0,371
iso boterzuur (%)	0,89	0,76	0,71	0,22	0,181
Valeriaanzuur (%)	1,09	1,11	1,08	0,14	0,830
iso valeriaanzuur (%)	1,19	0,89	0,88	0,39	0,159
Capronzuur (%)	0,34	0,40	0,39	0,06	0,083
iso capronzuur (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,591
NGR ¹	5,03	5,00	4,92	1,03	0,896
Verhouding HAC/HProp	3,93	3,84	3,85	0,48	0,869

¹ Non glucogenic/glucogenic ratio: verhouding tussen niet glucogene en glucogene vetzuren



Figuur 3.6 Niet-glucogene glucogene ratio (NGR, links) en het gehalte boterzuur (HBut, rechts) in de vluchtige vetzuren in pensvloeistof per behandeling (WEI, BW en BZSV) in 2022 en 2023.

3.5.2 Zuurgraad (pH) in de pens

Er zijn geen significante verschillen gevonden in pH van de pens tussen de behandelingen voor de weergegeven gemiddelden en overige kengetallen (**Tabel 3.8**). De pH is een resultante van diverse processen in de pens, zoals de vorming van vetzuren door micro-organismen, de absorptie van vetzuren door de penswand en de speekselvorming als gevolg van herkauwen. De pH is een belangrijke indicator voor microbiële fermentatie. De laagste en hoogste gemeten pH waarden waren eveneens niet verschillend tussen de behandelingen. Dat gold ook voor de standaarddeviatie, dat betekent dat de schommelingen in zuurgraad in de pens niet wezenlijk anders zijn voor de drie behandelingen.

Tabel 3.8 Zuurgraad (pH) in de pens met kengetallen over het verloop van de pH over de dag (gemiddelde van 2 dagen, gelijk aan de dagen van de pensvloeistof monsternamen).

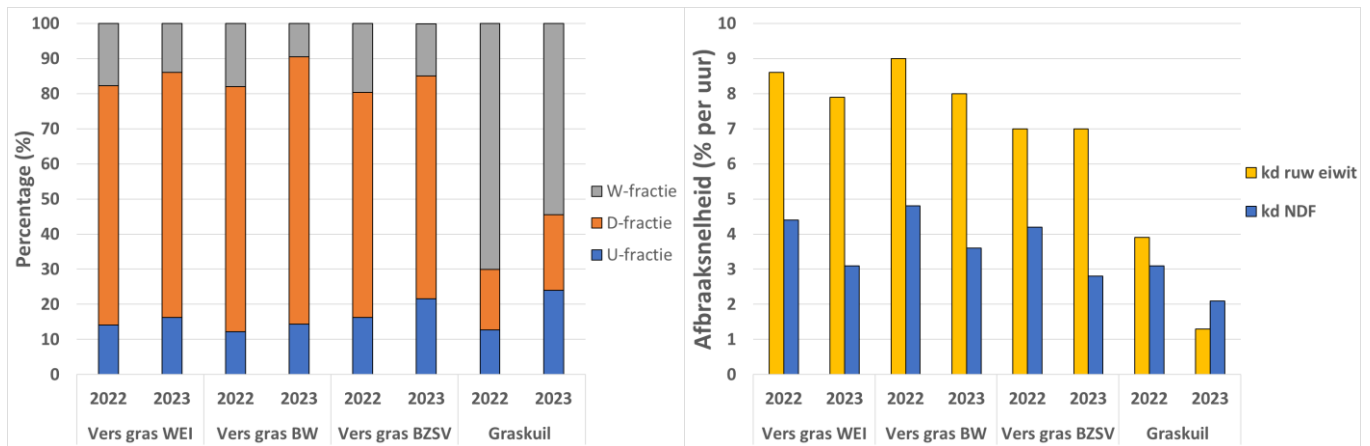
Jaar	2022					2023					
	Behandeling	WEI	BW	BZSV	LSD	p	WEI	BW	BZSV	LSD	p
Gemiddelde pH		6,25	6,14	6,07	0,44	0,486	6,30	6,41	6,28	0,22	0,335
Minimum pH ¹		5,85	5,73	5,73	0,75	0,835	6,05	6,18	5,97	0,27	0,198
Maximum pH ¹		6,55	6,45	6,56	-	-	6,58	6,71	6,52	0,44	0,524
Standaard deviatie pH		0,28	0,23	0,25	0,19	0,757	0,17	0,16	0,18	0,09	0,881
Pens temperatuur (°C)		39,3	39,4	39,6	0,7	0,461	39,4	39,4	39,1	0,3	0,080

¹ de minimum en maximum pH waarden in de tabel zijn gemiddelden, individuele pH waarden kunnen lager (of hoger) zijn.

3.6 Afbraakarakteristieken

In Bijlage 4 staan de afbraakarakteristieken van ruw eiwit en NDF voor de gras- en graskuilmonsters die bepaald zijn via de nylonzakjes incubatie in 2022 en 2023. De resultaten kunnen onder meer gebruikt worden in mathematische modellen die de fermentatie- en verteringsprocessen modelleren. Het eiwitgehalte van vers gras in 2022 varieerde van 126 tot 220 g/kg DS en in 2023 van 151 tot 212 g/kg DS. De graskuil die bijgevoerd werd aan de groepen BW en BZSV was per jaar afkomstig van één partij met een eiwitgehalte van circa 200 g/kg DS in 2022 en circa 146 g/kg DS in 2023. De grotere variatie bij vers gras kan een gevolg zijn van de grotere verschillen in het fysiologisch stadium van het gras bij de beweiding of bij het maaien voor zomerstalvoeding. Graskuil heeft een hoger aandeel uitwasbare eiwit fractie (W-fractie) in vergelijking met vers gras (**Figuur 3.7** links). De afbraaksnelheid van de afbreekbare eiwit fractie van graskuil is daarentegen lager in vergelijking met vers gras (gemiddeld 3,9% per uur in 2022 en 1,3% per uur in 2023, **Figuur 3.7** rechts). Bij vers gras varieerde de afbraaksnelheid beide jaren tussen 5,4% en 10,5% per uur. De berekende eiwitbestendigheid (BRE) was in 2022 circa 27% voor graskuil en varieerde bij vers gras van 35 tot 54%, in 2023 circa 44% voor graskuil en de variatie bij vers gras lag tussen 44% en 55%. Het NDF gehalte van graskuil was rond de 410 g/kg DS in 2022 en 470 g/kg DS in 2023, bij vers gras varieerde dat tussen de 370 en 470 g/kg DS in 2022. In 2023 was het NDF gehalte van vers gras net als

voor de graskuil iets hoger, variërend tussen de 441 en 530 g/kg DS. De gemiddelde afbraaksnelheid van NDF was lager voor graskuil (respectievelijk gemiddeld 3,1% en 2,1% per uur in 2022 en 2023) in vergelijking met vers gras waar het jaargemiddelde varieerde tussen de 2,8% en 4,8% per uur.



Figuur 3.7 Links de uitwasbare W-fractie (grijs), de potentieel verteerbare D-fractie (oranje) en de onverteerbare U-fractie (blauw, allen in %) van ruw eiwit in het verse gras van de behandelingen WEI, BW en BZSV en in de graskuil (die in de nacht gevoerd werd aan de behandelingen BW en BZSV), in 2022 en 2023. Rechts de afbraaksnelheid van de potentieel verteerbare D-fractie van ruw eiwit (geel) en NDF (blauw) van het verse gras van de behandelingen WEI, BW en BZSV, en de graskuil in 2022 en 2023.

4 Discussie

4.1 Methaanemissie 2020 tot en met 2023

Dit onderzoek is een vervolg op het tweejarige onderzoek van 2020 en 2021 (Klootwijk *et al.*, 2021; Koning *et al.*, 2022). Het onderzoek van 2020 en 2021 bestond uit de behandelingen onbeperkte weidegang, onbeperkte zomerstalvoeding en een onbeperkt graskuilrantsoen (allen aangevuld met 5,5 kg krachtvoer). De meta-analyse van 2020 en 2021 liet zien dat zowel de CH₄ productie (per koe per dag), CH₄ intensiteit (per kg meetmelk) als de CH₄ opbrengst (per kg DS) significant het laagst waren tijdens onbeperkte weidegang, gevolgd door zomerstalvoeding en het hoogst waren op het graskuilrantsoen. De verschillen waren in het voorjaar het grootst met opvallend lage CH₄ emissies voor de vers gras rantsoenen. De CH₄ opbrengst was gemiddeld 17,2 g CH₄/kg DS voor onbeperkte weidegang, 18,3 g CH₄/kg DS voor zomerstalvoeding en 21,0 g CH₄/kg DS voor graskuil. De graskuil waarmee de vers gras rantsoenen zijn vergeleken werd geoogst op een ander moment en op andere percelen, maar kwam wel van hetzelfde bedrijf, dus van een vergelijkbare locatie (e.g. dezelfde grondsoort) en met een vergelijkbaar bemestingsmanagement.

De huidige tweejarige studie laat opnieuw significant de laagste CH₄ emissie zien tijdens onbeperkte weidegang. De meta-analyse over beide jaren en alle perioden liet zien dat de CH₄ opbrengst 15,7 g CH₄/kg DS was voor onbeperkte weidegang, 18,9 g CH₄/kg DS voor beperkte weidegang en 21,1 g CH₄/kg DS voor beperkte zomerstalvoeding. In 2022 was de CH₄ opbrengst gemiddeld lager dan in 2023 voor de behandelingen met beperkt vers gras (BW en BZSV), wat mogelijk wordt veroorzaakt door het verschil in kwaliteit van het ingekuilde gras dat 's nachts is bijgevoerd. In 2022 is gekozen voor een graskuil met een hoge VEM waarde en lage NDF gehalte. Dit resulteerde in een relatief lage emissiefactor volgens de rekenregels van de KringloopWijzer (19,0 g CH₄/kg DS). In 2023 is gekozen voor een graskuil met een laag ruw eiwitgehalte. De emissiefactor van deze kuil was hoger, namelijk 20,4 g CH₄/kg DS. Er werden weinig periode-effecten gevonden op de CH₄ emissie, maar voor de behandelingen met vers gras werd wel de laagste CH₄ opbrengst gevonden in het voorjaar.

Bij de interpretatie van de resultaten in relatie tot voorjaar, zomer en najaar moet rekening gehouden worden dat de perioden bepaald in deze studie niet per definitie representatief zijn voor het betreffende seizoen. De variatie in graskwaliteit die veroorzaakt kan worden door weersomstandigheden is mogelijk onvoldoende representatief in de huidige tweejarige studie, bijvoorbeeld omdat beide jaren een relatief zachte winter hadden gevolgd door een koud voorjaar. Daarnaast is er beide jaren berekend om de gehele proefperiode vers gras aan te kunnen bieden van voldoende kwaliteit. Dit kan het effect van jaar en periode beïnvloeden. Desalniettemin komen de resultaten van alle vier de jaren overeen, evenals met recent beweidingsonderzoek uit Ierland, dat ook een lagere CH₄ opbrengst vond in het voorjaar (Lahart *et al.*, 2023). De CH₄ opbrengst tijdens beweiding was bij hen 15,6 g CH₄/kg DS in het voorjaar, 18,3 g CH₄/kg DS in de zomer en 19,8 g CH₄/kg DS in het najaar. Ondanks dat in de studie van Lahart *et al.* (2023) alle koeien in het voorjaar vroeg in lactatie waren en over de seizoenen het aantal dagen in lactatie toenam, zijn deze resultaten sterk in lijn met de gevonden resultaten in dit onderzoek met een jaarrond afkalkende melkveestapel. Dat er verder weinig periode-effecten werden gevonden in onze studie kan mogelijk worden verklaard doordat twee van de drie behandelingen een graskuil ontvingen die niet beïnvloed werd door periode (er werd immers het hele jaar dezelfde graskuil gevoerd) en deze graskuil een aanzienlijk deel van het rantsoen uitmaakte.

De resultaten van dit vierjarige onderzoek hebben betrekking op beweiding met overwegend Engels raaigras. Wat het effect is van het toepassen van kruidenrijk grasland op de resultaten, zal in vervolgonderzoek moeten worden onderzocht. Hiervoor is in 2022 een eerste stap gezet met een pilotstudie waarbij smalle weegbree is toegevoegd (Bijlage 5; Koning *et al.*, 2024). In deze pilot, met een laag aandeel smalle weegbree in het rantsoen, had smalle weegbree geen reductiepotentie voor enterische CH₄ productie.

Wat het effect van een hoger aandeel smalle weegbree is, evenals het effect van andere kruiden, zal komende jaren onderzocht gaan worden.

4.2 Beperkt weiden versus onbeperkt weiden

Een belangrijke onderzoeksvraag voor dit vervolgonderzoek ten opzichte van 2020 en 2021 heeft betrekking op beperkt weiden, de meest toegepaste vorm van beweiding in Nederland. De onderzoeksvraag was of de CH₄ opbrengst per kg vers gras onafhankelijk is van andere rantsoencomponenten, of dat deze wordt beïnvloed door bijvoorbeeld de aanwezigheid van het aandeel graskuil in het rantsoen. Het aangeboden vers gras van de behandelingen onbeperkte en beperkte weidegang (2022 en 2023) was van vergelijkbare kwaliteit (Bijlage 2). Het graslandmanagement was dan ook voor beide percelen gelijk.

Op basis van de gemeten CH₄ opbrengst is de geschatte emissiefactor van vers gras berekend met behulp van de KringloopWijzer rekenregels (Šebek *et al.*, 2016). De totale gemeten CH₄ opbrengst is gecorrigeerd door de berekende CH₄ opbrengst van graskuil en krachtvoer af te trekken, waarbij het resterende deel toegeschreven kan worden aan de emissie van het verse gras. Hierbij is aangenomen dat de rekenregels voor graskuil en krachtvoer betrouwbaar zijn voor de omstandigheden in deze studie. De op deze wijze berekende emissiefactor voor vers gras bij onbeperkte weidegang verschilde van die bij beperkte weidegang (**Tabel 4.1**).

Gemiddeld over beide jaren en alle periodes bedroeg de emissiefactor van vers gras bij onbeperkte weidegang 13,7 g CH₄/kg DS, terwijl dit bij beperkte weidegang 17,2 g CH₄/kg DS was. De emissiefactor voor vers gras bij beperkte zomerstalvoeding was nog hoger, gemiddeld 21,8 g CH₄/kg DS, wat verklaard kan worden door verschillen in snedezwaarte en bijbehorende vers graskwaliteit. In 2023 is ook de CH₄ opbrengst van een volledig graskuilrantsoen gemeten, waarbij de koeien dezelfde graskuil ontvingen als de andere behandelingen. De gemeten CH₄ opbrengst was 1 g CH₄/kg DS hoger dan wanneer deze modelmatig zou worden berekend op basis van de graskuilkwaliteit. Zelfs wanneer deze aangepaste emissiefactor van graskuil in 2023 wordt gehanteerd, blijft de emissiefactor van vers gras bij beperkte weidegang hoger dan bij onbeperkte weidegang.

Tabel 4.1 Modelmatig geschatte emissiefactor van het verse gras per behandeling per jaar, berekend vanuit de gemeten CH₄ opbrengst en op basis van KringloopWijzer rekenregels. Hierbij is aangenomen dat de berekende emissie voor graskuil en krachtvoer correct wordt berekend met de KringloopWijzer rekenregels.

Periode	2022			2023		
	WEI	BW	BZSV	WEI	BW ¹	BZSV ¹
1	13,9	14,5	17,5	11,7	14,8	25,2
2	11,9	16,4	16,5	15,2	19,3	22,9
3	13,6	16,5	21,1	15,9	22,0	27,7

¹ Indien de emissiefactor van de graskuil wordt gebruikt zoals deze gemeten is in periode 2 van 2023 (21,6 g CH₄/kg DS), wordt de geschatte emissiefactor van het verse gras voor BW 14,2, 18,4 en 21,1 g CH₄/kg DS en voor BZSV 24,5, 22,1 en 26,8 g CH₄/kg DS voor respectievelijk periode 1, 2 en 3.

Hieruit kunnen we concluderen dat in dit tweejarige onderzoek de CH₄ opbrengst van vers gras afhankelijk lijkt van het aandeel graskuil in het rantsoen. Een mogelijke hypothese is dat dit wordt veroorzaakt door de tragere passagesnelheid van graskuil in de pens. Literatuur focust vooral op de omgekeerde effecten. Zo zorgt het voeren van meer krachtvoer voor een afname van de NDF verteerbaarheid van het ruwvoer (Olijhoek *et al.*, 2018). Krachtvoer is licht verteerbaar, waardoor de passagesnelheid van het totale rantsoen toeneemt en de NDF verteerbaarheid in de pens afneemt. Wellicht is dit effect andersom ook mogelijk; wanneer er naast een makkelijk verteerbaar product (vers gras) een trager verteerbaar product wordt gevoerd (graskuil), neemt de passagesnelheid van het totale rantsoen af, en de NDF verteerbaarheid in de pens toe. Dit zou voor meer CH₄ productie kunnen zorgen voor elk van deze componenten. Een andere mogelijke verklaring is dat vers gras over een etmaal verschilt van kwaliteit. Hoewel het verse gras van de percelen voor onbeperkte en beperkte weidegang gemiddeld gelijk was, werden er wel verschillen gevonden tussen de ochtend en avond monsters, vooral in het ruw eiwit en suikergehalte (Bijlage 3).

Onbeperkte weidegang had ook toegang tot vers gras in de nacht, in tegenstelling tot beperkte weidegang die enkel overdag weidde. Het verschil in vers graskwaliteit over het etmaal kan er mogelijk voor zorgen dat de CH₄ emissie van vers gras afhankelijk is van wanneer er gedurende het etmaal wordt geweid. Naast het rantsoen zijn er echter meer factoren die het verschil in enterische CH₄ emissie tussen onbeperkt en beperkt weiden zouden kunnen beïnvloeden, bijvoorbeeld het diergedrag zoals eetpatroon, beweging en selectie tijdens beweiding. In een modelstudie op basis van een dataset met activiteitregistratie tijdens weidegang tonen het effect van activiteit en bijbehorende energiebehoefte door fysieke inspanning op berekende CH₄ emissie (Ricci *et al.*, 2014). Ondanks dat dit onderwerp nog weinig aandacht heeft gekregen in de internationale literatuur zijn er eerste aanwijzingen dat de genoemde factoren gelinkt aan diergedrag niet moeten worden vergeten.

4.3 Vergelijking met modelberekeningen

In de KringloopWijzer rekenregels worden voor weidegras en zomerstalvoeding vaste emissiefactoren gebruikt van respectievelijk 19,2 en 23,3 g CH₄/kg DS voor de berekening van de enterische CH₄ emissie op bedrijfsniveau (Šebek *et al.*, 2016). Deze emissiefactoren zijn niet afhankelijk van de kwaliteit van het gras of de andere componenten in het rantsoen. Wanneer de gemeten CH₄ opbrengst in vier jaar beweidingsonderzoek vergeleken wordt met de berekende CH₄ opbrengst op basis van deze rekenregels, blijkt dat in alle jaren de enterische CH₄ emissie tijdens onbeperkte weidegang te hoog werd ingeschat.

In 2020 en 2021 waren de berekeningen voor de rantsoenen met vers gras waren gemiddeld 14% hoger dan de gemeten CH₄ emissie, in het voorjaar zelfs 26% (Koning *et al.*, 2022). Voor graskuil was de afwijking minder dan 2,5%. In 2022 en 2023 werden opnieuw overschattingen geconstateerd, waarbij de modelberekeningen gemiddeld 20% hoger waren voor onbeperkte weidegang dan de gemeten emissie. Voor beperkte weidegang en zomerstalvoeding was de afwijking kleiner en niet consistent hoger, variërend van 9% lager tot 11% hoger. In eerder onderzoek werd een vergelijkbare uitkomst gevonden met een overschatting van de CH₄ productie bij zomerstalvoeding (Bannink *et al.*, 2016; Warner *et al.*, 2015). Tevens observeerde Lahart *et al.* (2023) in Ierland hetzelfde; de modelmatig berekende CH₄ productie was in hun beweidingsonderzoek gemiddeld 58 g CH₄/dag hoger dan de gemeten CH₄ productie en week significant het meeste af in het voorjaar. Deze consistentie tussen verschillende studies geeft aan dat de huidige emissiefactoren voor vers gras mogelijk onvoldoende rekening houden met variaties in graskwaliteit en rantsoen. Om de emissiefactor voor vers gras bij beweiding aan te passen op basis van graskwaliteit of andere componenten in het rantsoen, zal verdere verdieping nodig zijn.

4.4 Het effect van ruwvoer kwaliteit

Beide jaren werd de laagste CH₄ opbrengst gemeten tijdens volledige weidegang, dan beperkte weidegang en de hoogste CH₄ opbrengst tijdens beperkte zomerstalvoeding. In 2023 was de CH₄ opbrengst gemiddeld hoger dan in 2022, namelijk 19,6 g CH₄/kg DS ten opzichte van 17,5 g CH₄/kg DS in 2022. Dit verschil kan mogelijk worden verklaard door de variatie in graskuilkwaliteit tussen de jaren. In 2023 had de geselecteerde graskuil een hoger NDF en RC gehalte, en een lager VCOS en VEM gehalte, wat doorgaans gerelateerd is aan een hogere CH₄ opbrengst. De laagste CH₄ opbrengst werd gemeten in het voorjaar van 2023 tijdens onbeperkte weidegang (14,0 g CH₄/kg DS). Dat was lager dan in 2022 in de desbetreffende periode (15,4 g CH₄/kg DS). In 2022 werd een extreem lage CH₄ opbrengst gevonden in de zomer tijdens onbeperkte weidegang (14,3 g CH₄/kg DS). Opvallend is dat er niet één graskwaliteitskenmerk extreem hoog of laag is in die perioden, die het mogelijke verschil zou kunnen verklaren. In 2022 was het RE gehalte het laagst in het voorjaar voor al het verse gras, evenals het ruw vet, RC, NDF, ADF en ADL gehalte (zie Bijlage 2). De VCOS, VEM en het suikergehalte waren in het voorjaar van 2022 structureel het hoogst voor al het verse gras. In 2023 was het RE en ruw vetgehalte juist het hoogst in het voorjaar (en najaar). Het suikergehalte was in het voorjaar van 2023 wel het hoogst ten opzichte van de andere perioden (tussen de 117 en 120 g/kg DS, Bijlage 2), maar een stuk lager ten opzichte van 2022 (ruim boven de 200 g/kg DS).

De analyse van de ruwvoer kwaliteit (gemiddeld per kg DS van het totale ruwvoerdeel) laat verschillende verbanden zien tussen het effect van NDF, RC en VCOS op de CH₄ opbrengst tussen de verschillende behandelingen. Voor onbeperkte weidegang bestaat het ruwvoerdeel uitsluitend uit vers gras, voor de behandelingen met beperkte weidegang en zomerstalvoeding uit het gewogen gemiddelde van vers gras en graskuil. Waar een hoger NDF en RC gehalte voor de behandelingen met graskuil (BW en BZSV) verband hield met een hogere CH₄ opbrengst, werd er geen of een omgekeerd verband gevonden voor onbeperkte weidegang. Het vermoeden is dat het NDF gehalte van vers gras mogelijk te hoog wordt ingeschat, omdat er tijdens het droogproces van het grasmonster voorafgaand aan de analyse een reactie met stikstof kan optreden (Valk *et al.*, 1996). Voor de analyse van de chemische samenstelling (kwaliteitskenmerken) wordt elk monster namelijk gedroogd. Vers gras heeft een langere droogtijd dan bijvoorbeeld graskuil door het lage DS gehalte, waardoor er meer stikstof kan binden aan de NDF. Het effect van het NDF gehalte kan hierdoor moeilijk worden onderzocht, vooral tussen ruwvoerders met een verschil in RE of DS gehalte, zoals bijvoorbeeld vers gras en graskuil. De NDF-N vrije fractie zou moeten worden bepaald, maar die is in de huidige studie niet altijd bepaald. Desalniettemin liet het RC gehalte dezelfde effecten zien en die wordt niet of nauwelijks beïnvloed door de mogelijke binding van stikstof aan NDF. Tot slot leidde een hogere VCOS tot een lagere CH₄ opbrengst voor de behandelingen met graskuil, waar het effect het grootst was voor beperkte zomerstalvoeding, terwijl opnieuw het effect voor onbeperkte weidegang andersom was.

Uit de resultaten bleek dat er geen graskwaliteitskenmerk gevonden kon worden die een groot deel van de variatie in de CH₄ opbrengst verklaarde. De relatie tussen de opname van een bepaalde vers graskwaliteit en de bijbehorende CH₄ productie is lastig te duiden vanwege de vertraging die optreedt in het verteringsproces. Omdat de CH₄ productie pas enkele uren na grasopname plaatsvindt, kan het uitdagend zijn om de directe effecten van graskwaliteitskenmerken op de CH₄ emissie te identificeren. Daarnaast is de vers graskwaliteit niet op individueel dierniveau bepaald. Met name tijdens grazen is er sprake van selectief eten door de individuele koe. Zo kan de ene koe meer grasstengels consumeren en de andere vooral de toppen, wat leidt tot verschillen in de graskwaliteit die ze binnenkrijgen. Onderzoek heeft aangetoond dat temperament en individuele voorkeuren van koeien hierbij een rol spelen; sommige koeien grazen bijvoorbeeld dichter bij de kudde, terwijl anderen verder weg gaan en toegang hebben tot verser gras (Booij, 2014). Dit illustreert dat het karakter van een koe invloed kan hebben op de graskwaliteit die ze consumeert tijdens beweiding. Daarbij komt dat in het statistische model effecten als behandeling en periode zijn meegenomen. Het is mogelijk dat een deel van de variatie wordt toegekend aan deze effecten, terwijl ze het gevolg zijn van de bijbehorende ruwvoer kwaliteit. De variatie die verklaard wordt door de behandeling en periode kan echter ook veroorzaakt worden door andere oorzaken dan ruwvoer kwaliteit, zoals bijvoorbeeld het graasgedrag of de meetmethodiek van de CH₄ productie of de voeropname.

4.5 Verteringskarakteristieken

Om de gevonden verschillen in CH₄ emissie te kunnen verklaren, werden er van drie pensgefistuleerde koeien (één per behandeling) aanvullende verteringskarakteristieken verzameld. Deze pensgefistuleerde koeien hadden een eigen Latijns vierkant proefopzet. In deze proefopzet kan enkel gekeken worden naar het effect van behandeling, en niet van periode. De CH₄ emissie van de pensgefistuleerde koeien kan niet nauwkeurig gemeten worden met de GreenFeed, omdat er mogelijk lekkage van CH₄ via de fistel plaatsvindt. Het is onbekend hoeveel dat is en hoe de lekkage fluctueert over de dag en tussen koeien. Voor de vergelijking tussen de verteringskarakteristieken en de CH₄ emissie is daarom gebruik gemaakt van de resultaten van de gerandomiseerde blokkenproef, met de aanname dat de pensgefistuleerde koeien representatief zijn voor de betreffende behandelingsgroep.

Er werden beide jaren geen significante verschillen gevonden in de pH en ammoniak in de pens tussen de behandelingen. Er werd een hogere concentratie azijnzuur en in 2022 tevens een hogere verhouding niet-glucogene vetzuren ten opzichte van de glucogene vetzuren (NGR) gevonden tijdens volledige weidegang dan voor de andere behandelingen. Een hogere concentratie azijnzuur en hogere NGR is doorgaans geassocieerd met een hogere CH₄ productie, omdat er bij de vorming van azijnzuur waterstof vrijkomt, wat door methanogenen in de pens wordt gebruikt voor de productie van CH₄. Deze resultaten lijken tegenstrijdig met de gemeten CH₄ opbrengst in de gerandomiseerde blokkenproef, waar de CH₄ opbrengst juist lager was tijdens volledige weidegang.

De verschillen in het vluchtige vetzuurprofiel en pH waren kleiner dan verwacht op basis van de gevonden verschillen in CH₄ emissie van de behandelingsgroepen. De gemeten vetzuurconcentraties zijn echter afkomstig uit pensvloei-stofmonsters en weerspiegelen niet per definitie de absolute vetzuurproductie per dag. Dat de verteringskarakteristieken verder niet de verschillen in CH₄ emissie verklaarden, ondanks de directe invloed die deze karakteristieken hebben op de vorming van CH₄, kan mogelijk ook komen door de proefopzet. De statistische proefopzet van de pensgefistuleerde koeien was anders, waarbij de aanname is dat er geen (noemenswaardige) interacties zijn tussen de behandelingen en perioden, of koeien en perioden. In de gerandomiseerde blokkenproef werden wel behandeling × periode interacties gevonden, en het lactatiestadium van de pensgefistuleerde koeien veranderde langzaam over de perioden. Dit is een beperking van de gekozen proefopzet met pensgefistuleerde koeien en was inherent aan het geringe aantal beschikbare pensgefistuleerde koeien. In de beweidingproeven in 2020 en 2021 was het vetzuurpatroon in de pens meer in lijn met de gemeten CH₄ opbrengst, maar toen waren de contrasten tussen de behandelingsgroepen ook groter (Koning *et al.*, 2022). In tegenstelling tot de verteringskarakteristieken, zijn de afbraakkarakteristieken van het verse gras en de graskuil per periode geanalyseerd en laten verschillen zien tussen de perioden. Tussen vers gras en graskuil zijn de verschillen echter veel groter, met name voor de ruw eiwit fractie. Als gevolg van de conservering in de kuil is de uitwasbare fractie voor graskuil veel groter dan voor vers gras. Deze fractie komt sneller in de pens beschikbaar, wat grotere eiwitverliezen tot gevolg kan hebben bij graskuil. Om de relatie tussen vers gras en verteringskarakteristieken (en afbraakkarakteristieken) nader te onderzoeken, zal verdiepingsonderzoek met pensgefistuleerde koeien in een andere opzet nodig zijn.

4.6 Toetsing in de praktijk

De resultaten uit het beweidingsonderzoek van 2020 en 2021 (Koning *et al.*, 2022) zijn gebruikt in een verkennende analyse op praktijkbedrijven om te zien wat het effect in de praktijk is van het aanpassen van de emissiefactoren van vers gras (Veraart *et al.*, 2023). Hiervoor zijn nieuwe vaste emissiefactoren gebruikt voor vers gras in een onderzoeksversie van de KringloopWijzer die is toegepast op pilotbedrijven. Door de emissiefactor voor enterische CH₄ op basis van Koning *et al.* (2022) te verlagen van 19,2 naar 16,5 g CH₄/kg DS werd de berekende emissie uit de pens gemiddeld 2,9% lager (van 598 naar 580 g CO₂-equivalenten per kg FPCM). Door de emissiefactor van voorjaarsgras tot 1 juni extra te verlagen naar 14,5 werd de gemiddelde berekende emissie totaal 21 g CO₂-equivalenten per kg FPCM lager dan in de basissituatie, gelijk aan 3,5%. Deze verlaging op basis van het aanpassen van de emissiefactor varieerde van 1,6 tot 6,4% ten opzichte van de basissituatie en afhankelijk van het aandeel vers gras in het rantsoen. Daarnaast is de nieuwe emissiefactor van vers gras lager dan de gemiddelde emissiefactor van graskuil, waardoor weidegang ingezet zou kunnen worden als maatregel om de enterische CH₄ emissie te verlagen.

5 Conclusies en aanbevelingen

De beweidingsproeven beschreven in Klootwijk *et al.* (2021), Koning *et al.* (2022) en in deze rapportage tonen aan de CH₄ emissie tijdens onbeperkte weidegang lager is dan tijdens beperkte weidegang, (beperkte) zomerstalvoeding en graskuil. De CH₄ opbrengst van vers gras is structureel lager dan de emissiefactor die in de huidige nationale emissiemodellen wordt gebruikt, vooral in het voorjaar. De vergelijking tussen onbeperkte en beperkte weidegang laat echter ook zien dat de emissiefactor van vers gras mogelijk afhankelijk is van het aandeel graskuil dat ernaast gevoerd wordt.

Op basis van vier jaar onderzoek is het advies om huidige emissiefactoren van vers gras bij weidegang te herzien. Er is echter geen graskwaliteitskenmerk gevonden die de lagere emissie bij met name volledige weidegang tijdens de vegetatieve fase van het gras (d.w.z. vóór de bloeiperiode) grotendeels verklaart. Hierdoor is het nog niet mogelijk om voor bedrijfsspecifieke situaties de enterische CH₄ emissie bij weidegang te berekenen op basis van de graskwaliteit. Daarbij lijkt de emissiefactor van vers gras afhankelijk te zijn van andere componenten in het rantsoen. Verdere verdieping is nodig om deze interacties beter te begrijpen, voordat emissiefactoren van vers gras, net zoals bijvoorbeeld die van graskuil, op basis van graskwaliteit kunnen worden aangepast.

Op dit moment zou een tussenstap mogelijk zijn om de vaste waarde die momenteel gebruikt wordt aan te passen. Om de emissiefactor voor vers gras en weidegang af te kunnen stemmen op graskwaliteit en/of andere componenten in het rantsoen zal het mechanisme waarmee vers graskwaliteit de enterische CH₄ emissie beïnvloedt, volledig begrepen moeten worden. Vervolgonderzoek zal zich moeten richten op de interacties tussen graskwaliteit, afbraak- en verteringskarakteristieken, met name de afbraak van langketen suikers (zoals fructanen) in de pens en de doorstroom van voedingsstoffen naar de darm.

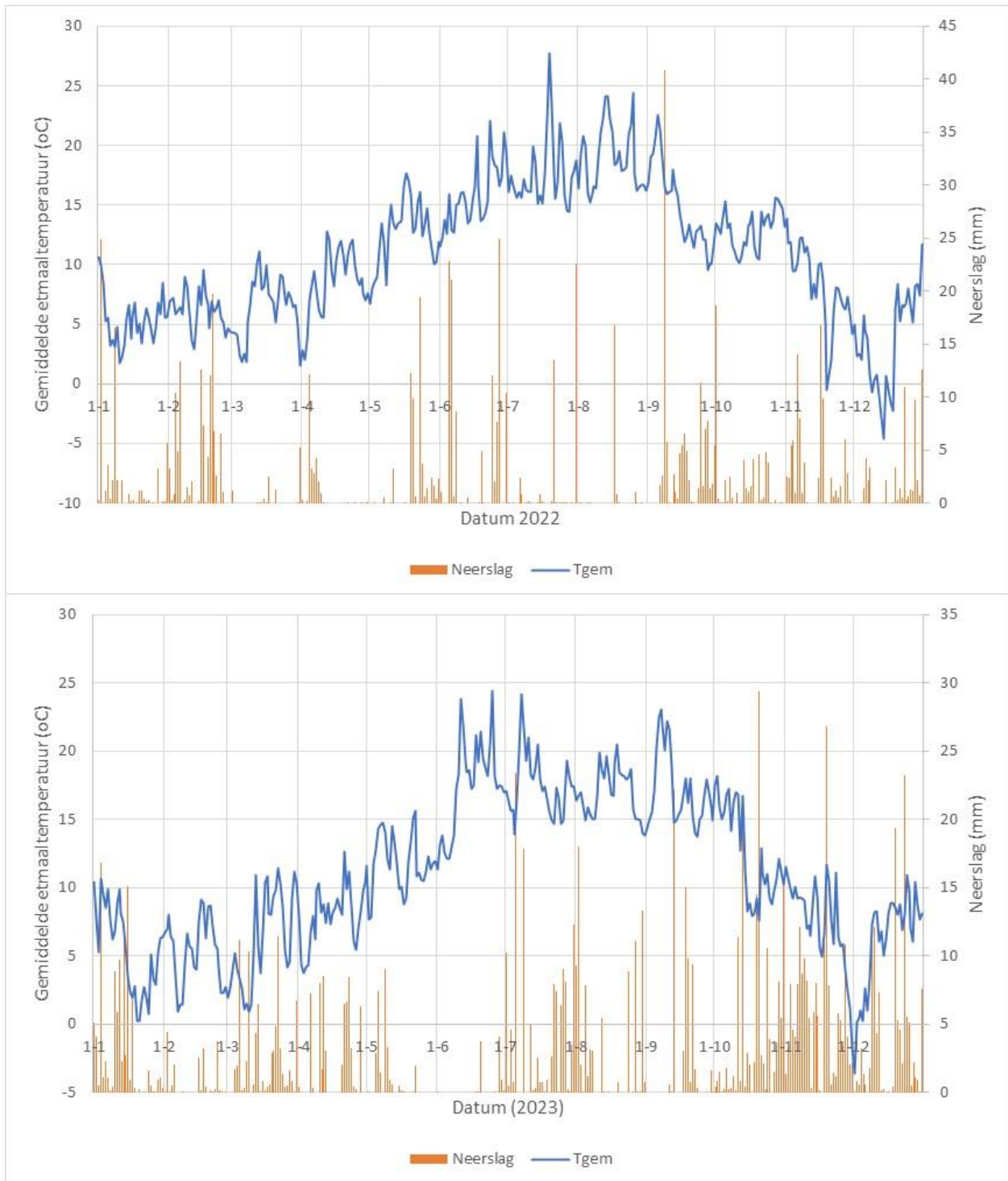
Tot slot komt er steeds meer aandacht in de melkveesector voor de inmenging van kruiden en klavers in de grasmat ten behoeve van de biodiversiteit en het verbeteren van de waterkwaliteit. Het effect van het toepassen van kruidenrijk grasland in combinatie met de rantsoencomponenten die naast beweiding gevoerd worden, zal nader moeten worden onderzocht. Hiervoor loopt een vervolgproject met klaver en weegbree in de grasmat. Daarnaast start er een groot onderzoeksproject van vier jaar waarin weidegang centraal staat, met als doel niet alleen de enterische CH₄ emissie te verminderen, maar ook andere emissies te onderzoeken en belangrijke duurzaamheidsindicatoren zoals biodiversiteit en eiwit van eigen land te verbeteren.

Literatuur

- Bannink, A., Warner, D., Hatew, B., Ellis, J. L., & Dijkstra, J. (2016). Quantifying effects of grassland management on enteric methane emission. *Animal Production Science*, 56(3), 409-416. <https://doi.org/10.1071/AN15594>
- Booij, A. (2014). Koeien zijn net mensen: agressie en competitie kunnen op kleine percelen een rol spelen in graasgedrag. *Veeteelt: Magazine van Het Koninklijk Nederlands Rundvee Syndicaat NRS 31 (Bijlage Gras September)*, 40 - 41. <https://edepot.wur.nl/316993>
- Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, L.A. Lagerwerf, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2023). *Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021*. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOT-technical report 242.
- Burgers, E. E. A., Klop, A., Koning, L., Holshof, G., & Klootwijk, C. W. (2024). Fresh grass diets supplemented with essential oils for dairy cows: effects on milk and urea. In C. W. Klootwijk, M. Bruinenberg, M. Cougnon, N. J. Hoekstra, R. Ripoll-Bosch, S. Schelfhout, R. L. M. Schils, T. V. Nest, N. v. Eekeren, W. Voskamp-Harkema, & A. v. d. P.-v. Dasselaar (Eds.), *Why grasslands?: Proceedings of the 30th General Meeting of the European Grassland Federation* (Vol. 29, pp. 728-730). Grassland Science in Europe. https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2024.pdf#page=759
- 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*. FDN, Wageningen
- Dove, H., & Mayes, R. W. (1996). Plant wax components: a new approach to estimating intake and diet composition in herbivores. *J Nutr*, 126(1), 13-26. <https://doi.org/10.1093/jn/126.1.13>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. F. a. A. O. o. t. U. N. (FAO).
- Klimaataakkoord. (2019). *Klimaataakkoord*. Den Haag <https://www.klimaataakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaataakkoord>
- Klootwijk, C. W., Zom, R. L. G., Van den Pol-Van Dasselaar, A., Van Middelaar, C. E., Holshof, G., & De Boer, I. J. M. (2018). Amazing Grazing; N use efficiency of 60 individual dairy cows under intensive grazing. In B. Horan, D. Hennessy, M. O'Donovan, E. Kennedy, B. McCarthy, J. A. Finn, & B. O'Brien (Eds.), *Sustainable meat and milk production from grasslands; Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation* (Vol. 23). Grassland Science in Europe.
- Klootwijk, C.W., Koning, L., Holshof, G., Klop, A., & Zom, R.L.G. (2021). *Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit, Jaarrapport 1: 2020*. Wageningen Livestock Research, Wageningen, Openbaar Rapport 1342.
- Koning, L., Holshof, G., Klop, A., & Klootwijk, C. (2022). *Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit Jaarrapport 2: 2021; Resultaten van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij weidegang, zomerstalvoeding en graskuil*. Wageningen Livestock Research, Wageningen, Openbaar Rapport 1402.
- Lahart, B., Buckley, F., Herron, J., Fitzgerald, R., Fitzpatrick, E., Galvin, N., & Shalloo, L. (2023). Evaluating enteric methane emissions within a herd of genetically divergent grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2022-22646>
- Mayes, R. W., Lamb, C. S., & Colgrove, P. M. (1986). The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *The Journal of Agricultural Science*, 107(1), 161-170. <https://doi.org/10.1017/s0021859600066910>
- Olijhoek, D. W., Lovendahl, P., Lassen, J., Hellwing, A. L. F., Hoglund, J. K., Weisbjerg, M. R., Noel, S. J., McLean, F., Hojberg, O., & Lund, P. (2018). Methane production, rumen fermentation, and diet digestibility of Holstein and Jersey dairy cows being divergent in residual feed intake and fed at 2 forage-to-concentrate ratios. *J Dairy Sci*, 101(11), 9926-9940. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14278>
- Ricci, P., Umstätter, C., Holland, J. P., & Waterhouse, A. (2014). Does diverse grazing behavior of suckler cows have an impact on predicted methane emissions? *Journal of Animal Science*, 92, 1239-1249. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7029>

-
- 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*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM report 2020-0031.
- 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*. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Lelystad, Livestock Research Rapport 976.
- Valk, H., Kappers, I. E., & Tamminga, S. (1996). In sacco degradation characteristics of organic matter, neutral detergent fibre and crude protein of fresh grass fertilized with different amounts of nitrogen. *Animal Feed Science Technology*, 63, 63-87.
- Van Dijk, W., De Boer, J.A., Schils, R.L.M., De Haan, M.H.A., Mostert, P., Oenema, J., & Verloop, J. (2023). *Rekenregels van de KringloopWijzer 2023; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2022-versie*. Wageningen Research, Wageningen, Rapport WPR-1279.
- Veraart, M., van Schooten, H., Bassa, B., Philipsen, B., & Klootwijk, C. (2023). *Graslandmanagement voor reductie van methaan en ammoniak: Resultaten analyse KringloopWijzer 2020 van 12 pilotbedrijven*. Wageningen Livestock Research, Wageningen, Openbaar Rapport 1465.
<https://doi.org/10.18174/644705>
- Warner, D., Podesta, S. C., Hatew, B., Klop, G., van Laar, H., Bannink, A., & Dijkstra, J. (2015). Effect of nitrogen fertilization rate and regrowth interval of grass herbage on methane emission of zero-grazing lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3383-3393.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-9068>

Bijlage 1 Dagtemperatuur en neerslag 2022 en 2023



Bijlage 1.1 Gemiddelde dagtemperatuur (blauwe lijn, in °C) en neerslag (oranje staafdiagram, in mm) in 2022 (bovenste grafiek) en 2023 (onderste grafiek) volgens het KNMI station in Leeuwarden (Nederland).

Bijlage 2 Kwaliteitskenmerken vers gras, graskuil en krachtvoer

Bijlage 2.1 Kwaliteitskenmerken van alle voercomponenten (vers gras, graskuil en krachtvoer) in 2022 (gemiddelden van veertien monsters).

Periode	Weidegras WEI				Weidegras BW				Vers gras op stal BZSV				Graskuil				Krachtvoer melkstal	Krachtvoer Greenfeed
	1	2	3	Gem.	1	2	3	Gem.	1	2	3	Gem.	1	2	3	Gem.	Gem.	Gem.
Ruw eiwit (RE) (g/kg DS)	130	193	205	176	140	195	217	184	146	173	171	163	172	171	169	170	145	135
Ruw vet (g/kg DS)	26	31	38	32	27	31	39	32	27	30	34	31	45	44	46	45		31
Ruwe celstof (RC) (g/kg DS)	194	225	226	215	194	220	228	214	204	235	248	229	252	255	254	254		160
Ruw anorganisch stof (RAS) (g/kg DS)	83	107	122	104	83	110	119	104	89	107	111	102	119	122	119	120	87	67
Suiker (g/kg ds)	231	125	80	145	224	126	67	139	202	131	80	138	16	14	12	14		128
VCOS (%)	83.6	80.6	77.3	80.5	83.9	80.3	76.4	80.2	83	78.4	72.6	78	79.6	78.7	79.4	79.3		
Neutral detergent fibre (NDF) (g/kg DS)	455	535	569	519	459	527	581	523	477	534	581	530	448	452	450	450	264	328
ADF (g/kg ds)	210	242	247	233	208	237	252	232	220	253	272	248	276	281	281	279		191
ADL (g/kg ds)	11	18	24	18	12	17	28	19	14	18	29	20	19	19	18	19		
VEM	1000	937	890	942	1006	930	882	939	986	903	829	906	942	925	941	936	960	993
DVE	78	87	83	82	81	87	85	84	80	78	67	75	104	102	103	103		89
OEB	-8	38	46	26	-1	40	53	31	4	24	22	16	4	2	-4	1	26	-9
FOS	581	572	555	569	581	569	562	571	573	554	524	550	568	557	562	563	569	555

Bijlage 2.2 Kwaliteitskenmerken van alle voercomponenten (vers gras, graskuil en krachtvoer) in 2023 (gemiddelden van veertien monsters).

Voersoort	Weidegras WEI				Weidegras BW				Vers gras op stal BZSV				Graskuil				Krachtvoer melkstal	Krachtvoer Greenfeed	Krachtvoer proefbrok
	1	2	3	Gem.	1	2	3	Gem.	1	2	3	Gem.	1	2	3	Gem.			
Ruw eiwit (RE) (g/kg DS)	195	175	192	187	192	160	212	188	173	166	156	165	132	129	135	132	145	134	151
Ruw vet (g/kg DS)	41	31	34	35	40	30	35	35	36	32	29	32	43	39	40	41		30	50
Ruwe celstof (RC) (g/kg DS)	221	251	223	231	223	264	225	237	242	264	257	254	275	281	279	278		160	87
Ruw anorganisch stof (RAS) (g/kg DS)	104	101	113	106	105	97	114	105	105	104	108	106	116	113	115	114	79	71	76
Suiker (g/kg ds)	120	102	108	110	117	106	92	105	113	93	104	103	21	27	24	24		109	74
VCOS (%)	82	76.4	80.4	79.6	81.6	74.7	80.7	79	80.2	74.1	74.1	76.1	77.3	76.5	76.9	76.9			
Neutral detergent fibre (NDF) (g/kg DS)	529	584	554	555	532	591	569	564	538	599	569	569	494	494	500	496	262	328	259
ADF (g/kg ds)	258	275	244	259	260	289	244	264	274	288	283	282	309	314	312	312		191	144
ADL (g/kg ds)	17	23	17	19	17	26	19	20	19	26	24	23	22	22	22	22			
VEM	978	883	936	932	971	858	940	923	942	849	838	876	907	891	896	898	972	970	998
DVE	89	76	85	83	87	69	92	82	79	69	66	71	54	53	54	54		87	100
OEB	42	25	39	36	40	14	52	35	28	18	12	19	23	21	26	23		-5	3
FOS	567	555	565	562	562	543	579	561	543	541	528	537	527	529	533	529		579	516

Bijlage 3 Vers graskwaliteit ochtend versus avond

Bijlage 3.1 Vers graskwaliteit in de ochtend en in de avond per periode voor de behandeling WEI in 2022 (gemiddelden van veertien monsters).

Moment	VEM	RE (g/kg DS)	VCOS (%)	NDF (g/kg DS)	RC (g/kg DS)	Suiker (g/kg DS)
Periode 1						
Ochtend	999	150	83,7	467	195	203
Avond	1001	110	83,5	443	193	259
Gem.	1000	130	83,6	455	194	231
Periode 2						
Ochtend	926	202	79,9	564	235	98
Avond	947	184	81,3	505	214	152
Gem.	937	193	80,6	535	225	125
Periode 3						
Ochtend	892	225	77,2	586	222	58
Avond	888	185	77,3	551	230	101
Gem.	890	205	77,3	569	226	80
Gem. Ochtend	909	214	79,0	575	229	78
Gem. avond	918	184	79,0	528	222	126
Totaal gemiddelde	942	176	80,5	519	215	145

Bijlage 3.2 Vers graskwaliteit in de ochtend en in de avond per periode voor de behandeling WEI in 2023 (gemiddelden van veertien monsters).

Moment	VEM	RE (g/kg DS)	VCOS (%)	NDF (g/kg DS)	RC (g/kg DS)	Suiker (g/kg DS)
Periode 1						
Ochtend	978	216	81,8	552	220	92
Avond	978	175	82,2	506	222	148
Gem.	978	195	82,0	529	221	120
Periode 2						
Ochtend	883	190	76,4	605	256	84
Avond	883	160	76,4	562	246	121
Gem.	883	175	76,4	584	251	102
Periode 3						
Ochtend	940	216	80,6	577	222	81
Avond	931	169	80,3	531	224	134
Gem.	936	192	80,4	554	223	108
Gem. ochtend	912	203	78,0	591	239	82
Gem. avond	907	164	78,0	547	235	128
Totaal gemiddelde	932	187	79,6	555	231	110

Bijlage 4 Afbraakkarakteristieken vers gras en graskuil

Bijlage 4.1 Afbraakkarakteristieken van ruw eiwit van graskuil en vers gras monsters in 2022.

	voedermiddel	ruw eiwit g/kg DS	W-fractie ¹ %	D-fractie ² %	U-fractie ³ %	afbraaksnelheid (k _d) ⁴ % per uur	% BRE ^{5,6} %
WEI p1	graskuil	126	14	71	15	9.4	43.0
WEI_p2	graskuil	160	22	64	14	8.5	40.6
WEI p3	graskuil	202	17	70	13	7.8	43.0
WEI gemiddeld	graskuil	163	18	68	14	8.6	42.2
BW p1	vers gras	128	18	68	14	9.3	40.3
BW p2	vers gras	182	21	69	10	10.5	35.1
BW p3	vers gras	220	15	73	13	7.1	46.2
BW gemiddeld	vers gras	177	18	70	12	9.0	40.5
ZSV p1	vers gras	149	22	65	13	7.6	41.6
ZSV p2	vers gras	163	19	68	14	8.0	42.8
ZSV p3	vers gras	173	18	59	23	5.4	53.7
ZSV gemiddeld	vers gras	162	20	64	16	7.0	46.0
GK p1	graskuil	200	70	18	12	3.2	27.4
GK p2	graskuil	202	70	16	13	4.5	26.1
GK p3	graskuil	203	70	17	13	4.1	26.5
GK gemiddeld	graskuil	202	70	17	13	3.9	26.7

Bijlage 4.2 Afbraakkarakteristieken van NDF van graskuil en vers gras monsters in 2022.

	voedermiddel	NDF g/kg DS	W-fractie ¹ %	D-fractie ² %	U-fractie ³ %	afbraaksnelheid (k _d) ⁴ % per uur
WEI p1	graskuil	383	0	92	8	3.9
WEI_p2	graskuil	439	0	89	11	4.0
WEI p3	graskuil	433	0	89	11	5.1
WEI gemiddeld	graskuil	418	0	90	10	4.4
BW p1	vers gras	378	0	93	7	4.8
BW p2	vers gras	373	0	91	9	5.0
BW p3	vers gras	404	0	88	12	4.7
BW gemiddeld	vers gras	385	0	91	9	4.8
ZSV p1	vers gras	405	0	93	7	4.6
ZSV p2	vers gras	467	0	90	10	4.3
ZSV p3	vers gras	470	0	85	15	3.6
ZSV gemiddeld	vers gras	447	0	89	11	4.2
GK p1	vers gras	409	0	91	9	3.3
GK p2	vers gras	420	0	89	11	2.9
GK p3	vers gras	401	0	91	9	3.1
GK gemiddeld	vers gras	410	0	90	10	3.1

Bijlage 4.3 Afbraakkarakteristieken van ruw eiwit van graskuil en vers gras monsters in 2023.

	voedermiddel	ruw eiwit	W-fractie ¹	D-fractie ²	U-fractie ³	afbraaksnelheid (k_d) ⁴	% BRE ^{5,6}
		g/kg DS	%	%	%	% per uur	%
WEI p1	graskuil	192	14	73	13	7.2	46.1
WEI_p2	graskuil	160	13	66	22	8.4	49.2
WEI p3	graskuil	201	15	70	14	8.1	44.1
WEI gemiddeld	graskuil	184	14	70	16	7.9	46.4
BW p1	vers gras	212	9	80	11	8.5	44.4
BW p2	vers gras	163	11	70	19	8.1	49.1
BW p3	vers gras	212	9	79	12	7.3	48.0
BW gemiddeld	vers gras	196	9	76	14	8.0	47.1
ZSV p1	vers gras	151	17	65	18	7.5	46.6
ZSV p2	vers gras	163	9	70	20	7.7	51.1
ZSV p3	vers gras	165	18	55	27	5.9	54.7
ZSV gemiddeld	vers gras	160	15	63	22	7.0	50.8
GK p1	graskuil	148	56	20	24	1.6	42.7
GK p2	graskuil	145	54	21	25	0.9	46.1
GK p3	graskuil	146	54	23	23	1.4	44.4
GK gemiddeld	graskuil	146	55	22	24	1.3	44.4

Bijlage 4.4 Afbraakkarakteristieken van NDF van graskuil en vers gras monsters in 2023.

	voedermiddel	NDF	W-fractie ¹	D-fractie ²	U-fractie ³	afbraaksnelheid (k_d) ⁴
		g/kg DS	%	%	%	% per uur
WEI p1	graskuil	462	0	91	9	4.0
WEI_p2	graskuil	530	0	83	17	2.1
WEI p3	graskuil	441	0	88	12	3.1
WEI gemiddeld	graskuil	478	0	87	13	3.1
BW p1	vers gras	447	0	92	8	4.3
BW p2	vers gras	526	0	84	16	2.3
BW p3	vers gras	441	0	90	10	4.2
BW gemiddeld	vers gras	471	0	89	11	3.6
ZSV p1	vers gras	482	0	89	11	3.1
ZSV p2	vers gras	498	0	81	19	3.1
ZSV p3	vers gras	481	0	82	18	2.3
ZSV gemiddeld	vers gras	487	0	84	16	2.8
GK p1	vers gras	473	0	84	16	1.9
GK p2	vers gras	478	0	83	17	2.2
GK p3	vers gras	468	0	85	15	2.1
GK gemiddeld	vers gras	473	0	84	16	2.1

¹) W-fractie: uitwasbare fractie

²) D-fractie: potentieel afbreekbare fractie in de pens

³) U-fractie: onverteerbare fractie

⁴) afbraaksnelheid (k_d): snelheid van afbraak van de D-fractie per uur

⁵) %BRE, voor GK: %BRE = U-fractie + (4.5/(4.5+ k_d) * D-fractie + 0.05 * W-fractie

⁶) %BRE, voor vers gras (WEI, ZSV, KORT, LANG): %BRE = U-fractie + (4.5/(4.5+ k_d) * D-fractie

Bijlage 5 Samenvatting pilot proef met smalle weegbree in 2022

Het effect van smalle weegbree (*Plantago lanceolata*) op de enterische methaanemissie van melkkoeien tijdens beweiding

Koning, L., Holshof, G., Klop, A. and Klootwijk, C.W.

Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, Nederland

Nederlandse samenvatting

Achtergrond Kruidenrijk grasland krijgt steeds meer aandacht in de melkveehouderij in verband met de mogelijke reductiepotentie voor onder andere de enterische methaan (CH₄) emissie. Het doel van deze studie was het onderzoeken van het effect van smalle weegbree (*Plantago lanceolata*, PL) op de CH₄ emissie van melkkoeien tijdens beweiding.

Methode Het onderzoek is uitgevoerd op twee percelen, elk perceel bestond voor de helft uit stroken met enkel Engels raaigras (*Lolium perenne*, LP) en voor de helft uit een combinatie van Engels raaigras met smalle weegbree (LP-PL). Het graslandmanagement van beide percelen was identiek qua bemesting, maaien en beregenen. Een gerandomiseerde blokkenproef is uitgevoerd in 2022 op Dairy Campus (Leeuwarden, Nederland) met 32 koeien en 3 perioden: mei-juni (periode 1), juli-aug (periode 2) en sept-okt (periode 3). Elke periode bestond uit twee weken adaptatie gevolgd door twee weken meetperiode. Elke periode werden 32 koeien geblok op melkproductie, pariteit en lactatiestadium en ingedeeld in één van de vier behandelingsgroepen: LP of LP-PL, op perceel 1 of 2. De enterische CH₄ emissie is gemeten met behulp van de GreenFeed. Melkproductie is geregistreerd en er zijn wekelijkse melkmonsters genomen voor de bepaling van de gehalten in de melk. Tijdens beweiding is de vers gras opname geschat op basis van de VEM behoefte en zijn twee keer per dag vers gras monsters verzameld voor het bepalen van de voederwaarde. Er liepen tevens 4 pensgefistuleerde koeien mee in een onvolledig Latijns vierkant design (4 behandelingsgroepen × 3 perioden) waarvan pensvloei-stofmonsters zijn verzameld voor het effect op het vluchtige vetzuurpatroon en pens pH. Er is een lineair mixed model (REML) analyse uitgevoerd met botanische samenstelling (LP versus LP-PL) en perceel als fixed effecten, en blok als random effect.

Resultaten In totaal zijn er 4412 CH₄ metingen verzameld van 96 koe × perioden combinaties, wat overeenkomt met gemiddeld 46 CH₄ metingen per koe. De CH₄ productie (g/d) en opbrengst (g/kg DS) waren significant hoger voor LP-PL vergeleken met LP (respectievelijk $P < 0,001$ en $P = 0,046$). Er waren geen significante verschillen in voeropname, melkproductie en -samenstelling tussen de behandelingsgroepen. Er was wel een effect van periode, met een hogere melkproductie en voeropname in periode 1. Ten slotte werden er geen verschillen gevonden tussen de behandelingen in ammoniakconcentratie, pH of het vluchtige vetzuurprofiel in de pens.

Conclusie Deze studie vond geen verlaging van enterische CH₄ emissie voor smalle weegbree tijdens beweiding van melkkoeien. De CH₄ productie en opbrengst waren zelfs iets hoger bij de koeien die graasden op de percelen met smalle weegbree. Het aandeel smalle weegbree op de percelen was echter laag, maximaal 25%. Daarnaast kunnen koeien selecteren tijdens het grazen, waardoor de inschatting van de werkelijke opname van smalle weegbree lastig is. Vervolgonderzoek zal zich moeten richten op verschillende (hogere) aandelen smalle weegbree in het rantsoen om de reductiepotentie van smalle weegbree op enterische CH₄ emissie verder te onderzoeken.

Zie voor meer informatie de Engelstalige 3 pagina's paper in de EGF2024 proceedings:

https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2024.pdf#page=245

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.

