



---

# Jong geleerd is oud gedaan: Reductie van de lange termijn methaan uitstoot van melkvee door interventie in het pensmicrobiom in het jonge leven

Een literatuurstudie

Openbaar  
Rapport 1450

Harmen van Laar, André Bannink, Sanne van Gastelen, Leon Sebek



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Jong geleerd is oud gedaan: Reductie van de lange termijn methaan uitstoot van melkvee door interventie in het pensmicrobioom in het jonge leven

Een literatuurstudie

Harmen van Laar, André Bannink, Sanne van Gastelen, Leon Sebek

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Emissiereductie methaan veehouderij' (projectnummer BO-43.10-002-011).

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, november 2023

---

Rapport 1450

---

Van Laar, H., Bannink, A., van Gastelen, S., S. Sebek, 2023. *Jong geleerd is oud gedaan: Reductie van de lange termijn methaan uitstoot van melkvee door interventie in het pensmicrobioom in het jonge leven.; een literatuurstudie*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1450.

Samenvatting NL Dit rapport is een verkenning naar de mogelijkheden de methaan emissie van melkvee te sturen door interventies in het vroege leven van de melkkoe. De interesse gaat hierbij vooral uit naar de rol van het microbiom in de pens van melkvee. De methaanproductie van melkvee vindt voor het grootste gedeelte plaats in de pens. In de pens zijn micro-organismen (het microbiom) aanwezig die het voer dat de koe vreet metaboliseren tot voor de koe benutbare voedingsstoffen. Tijdens dit proces komt methaan vrij wat een sterk broeikasgas is. Het is daarom gewenst de methaanemissie van melkvee te verminderen. Verschillen in microbiom samenstelling van de pens kunnen mogelijk resulteren in aan andere methaanproductie. Het microbiom in de pens ontwikkeld zich gedurende het leven van de koe, maar het grootste deel van de soorten micro-organismen die in het volwassen dier aanwezig zijn komen in de eerste weken van het leven de pens binnen. Dit rapport verkent de mogelijkheden de samenstelling van het microbiom in het vroege leven van de koe te sturen zodat er de koe een leven lang minder methaan produceert.

Summary UK This report is an exploration into the possibilities to reduce the methane emission of dairy cattle by interventions in the early life of the dairy cow. The focus is on the role of the microbiome in the rumen of the dairy cow. Methane production takes place mainly in the rumen of the cow. In the rumen there are micro-organisms (the microbiome) that metabolize the feed to cow eats to nutrients that the cow can use. During this process methane is produced and emitted, which is a strong greenhouse gas. Therefore it is desired to reduce the methane emission of dairy cows. Differences in the microbiome of the cows rumen could possibly result in a different methane emission. The microbiome of the rumen develops during the life of the cow, however the largest part of the species that inhabit the rumen of the adult cow have entered the rumen in the first weeks of life. This report explores the possibilities to alter the microbiome of the cow by interventions in the early life with the goal of producing less methane.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/641132> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

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

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

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

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1450

---

# Inhoud

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| <b>Woord vooraf</b> | <b>5</b>  |           |
| <b>Samenvatting</b> | <b>7</b>  |           |
| <b>1</b>            | <b>Introductie</b>  | <b>9</b>  |
| <b>2</b>            | <b>Achtergronden en kennisvragen</b>  | <b>10</b> |
|                     | 2.1 Principes van methaanvorming en -reductie in de pens  | 10        |
|                     | 2.2 Microbioom de basis van de pensfermentatie  | 10        |
|                     | 2.3 Reductie van de methaanproductie  | 11        |
|                     | 2.4 Jongveeopfok  | 11        |
|                     | 2.5 Kennisvragen  | 12        |
| <b>3</b>            | <b>Beschikbare informatie met betrekking tot de kennisvragen</b>  | <b>13</b> |
|                     | 3.1 Is het mogelijk het pensmicrobioom te sturen in een richting die minder methaanproductie oplevert?  | 13        |
|                     | 3.2 Is het mogelijk het pensmicrobioom te karakteriseren op basis van de methaanproductie? (KE-B5 project)  | 17        |
|                     | 3.2.1 Achtergronden   | 17        |
|                     | 3.2.2 Mogelijkheden voor karakterisering van een methaan verlagend pensmicrobioom   | 18        |
|                     | 3.3 Is het mogelijk om in het vroege leven de ontwikkeling van het pensmicrobioom van het kalf te sturen richting een structureel lage methaanproductie.  | 19        |
|                     | 3.3.1 Ontwikkeling van het pensmicrobioom gedurende het leven van de koe  | 19        |
|                     | 3.3.2 Effect van vroege interventie op latere methaanproductie en pensmicrobioom samenstelling  | 20        |
|                     | 3.4 Indien in het vroege leven het pensmicrobioom gestuurd kan worden richting een lage methaanproductie, kan dit altijd of zijn er specifieke perioden in het leven de koe waarin dit kan?                                 | 22        |
|                     | 3.5 Welke mogelijkheden zijn er om in het vroege leven het pensmicrobioom te sturen richting een lage methaanproductie en welke zijn het meest geschikt voor mogelijke toekomstige toepassing onder praktijkomstandigheden? | 23        |
|                     | 3.5.1 Voertoepassingen  | 23        |
|                     | 3.5.2 Inoculatie microbioom   | 24        |
| <b>4</b>            | <b>Conclusies</b>   | <b>25</b> |
| <b>Literatuur</b>   |   | <b>26</b> |
| <b>Bijlage 1</b>    | <b>Overzichtstabel uit het rapport van Bannink en Dijkstra (2020) met additieven die de methaanemissie kunnen verminderen</b>   | <b>30</b> |
| <b>Bijlage 2</b>    | <b>Beknopt chronologisch overzicht van enkele experimenten die de relatie tussen microbioom en methaan emissie bestuderen</b>   | <b>33</b> |



---

# Woord vooraf

Dit rapport is het startpunt voor het werk aan de vraag of het mogelijk is de methaanemissie van melkvee langdurig te verminderen door vroeg in het leven van de koe te sturen op de ontwikkeling van de pens. Dit project is onderdeel van de klimaat enveloppe en past in een bredere portfolio van projecten die werken aan emissie reductie van methaan.





---

# Samenvatting

Dit rapport is een verkenning naar de mogelijkheden de methaan emissie van melkvee te sturen door interventies in het vroege leven van de melkkoe. De interesse gaat hierbij vooral uit naar de rol van het microbiom in de pens van melkvee. De methaanproductie van melkvee vindt voor het grootste gedeelte plaats in de pens. In de pens zijn micro-organismen (het microbiom) aanwezig die het voer dat de koe vreet metaboliseren tot voor de koe benutbare voedingsstoffen. Tijdens dit proces komt methaan vrij wat een sterk broeikasgas is. Het is daarom gewenst de methaanemissie van melkvee te verminderen. Verschillen in microbiomsamenstelling van de pens kunnen mogelijk resulteren in aan andere methaanproductie. Het microbiom in de pens ontwikkeld zich gedurende het leven van de koe, maar het grootste deel van de soorten micro-organismen die in het volwassen dier aanwezig zijn komen in de eerste weken van het leven de pens binnen. Dit rapport verkent de mogelijkheden de samenstelling van het microbiom in het vroege leven van de koe te sturen zodat er de koe een leven lang minder methaan produceert. Deze verkenning vindt plaats via de kennisvragen:

1. Is het mogelijk het pensmicrobiom te sturen in een richting die minder methaanproductie oplevert?
2. Is het mogelijk het pensmicrobiom te karakteriseren op basis van de methaanproductie? (KE-B5 project)
3. Is het mogelijk om in het vroege leven de ontwikkeling van het pensmicrobiom van het kalf te sturen richting een structureel lage methaanproductie.
4. Indien in het vroege leven het pensmicrobiom gestuurd kan worden richting een lage methaanproductie, kan dit altijd of zijn er specifieke perioden in het leven de koe waarin dit kan?
5. Welke mogelijkheden zijn er om in het vroege leven het pensmicrobiom te sturen richting een lage methaanproductie en welke zijn het meest geschikt voor mogelijke toekomstige toepassingen onder praktijkomstandigheden?

Het blijkt voor de volwassen koe mogelijk de methaanemissie (per kg geproduceerde melk) te verlagen via verschillende voedingsingrepen. Een mooi overzicht van deze mogelijkheden worden gegeven in de publicatie van Beauchemin et. al. (2020). Een interventie in de voeding die de methaanemissie reduceert kan resulteren, of zelfs werken via een verandering van het microbiom in de pens van de koe (kennisvraag 1). Echter bij de volwassen koe zijn deze veranderingen in het microbiom na het stoppen van de interventie niet blijvend. Uit de literatuur blijkt dat er vaak wel relaties te leggen zijn tussen methaanproductie (en andere eigenschappen van de koe) en het microbiom (kennisvraag 2), echter de robuustheid van deze relaties over verschillende bedrijven en omstandigheden zijn nog niet duidelijk. Voor kennisvraag 3 is er nog niet heel veel informatie, maar op basis van de aanwezige informatie lijkt het mogelijk dat tijdelijke interventies in het vroege leven van de koe van langdurige invloed zijn op de samenstelling van het microbiom. Er is een publicatie die ook aangeeft dat methaan langdurig te veranderen is, echter dit dient verder onderzocht te worden. Het is waarschijnlijk dat microbiom veranderingen langer stand houden dan de functionele eigenschappen zoals methaanemissie. Het kalf wordt vrijwel steriel geboren en neemt gedurende en na geboorte micro-organismen uit de omgeving op uit biest, voer, likken (zelf en door de koe) etc. De micro-organismen die dan binnen komen spelen een rol be de ontwikkelingen van het pensmicrobiom. De micro-organismen die in de volwassen koe aanwezig zijn komen dan ook voor een groot deel in de eerste twee weken van het leven van de koe de pens binnen. Het is dan ook de verwachting dat als het mogelijk is de microbiom ontwikkeling langdurig te sturen dat dit in de eerste twee levensweken dient te gebeuren (kennisvraag 4). Uiteindelijk lijken voertoepassingen via additieven of het inoculeren van kalveren met een methaan verlagend microbiom de beste kandidaten voor vervolg onderzoek (kennisvraag 5).



---

# 1 Introductie

Gezien de ambitieuze carbon footprint reductiedoelen ten opzichte van 1990 van 49% in 2030 en 95% in 2050, op nationaal niveau (Agrimatie, 2022), is het noodzakelijk ook de methaanproductie van de melkveehouderij te verlagen. Dit rapport is een literatuur review van de mogelijkheden om met aanpassingen van de voeding of het management in het jonge leven van de koe een langdurige vermindering van de vorming/uitstoot van methaan de bewerkstellingen.

Een veelgehoord argument is dat door de verhoging van de melkproductie reeds een grote verbetering in efficiëntie behaald is. Dit is ten dele juist. Sinds halverwege de 20<sup>e</sup> eeuw is de melkproductie per koe in Nederland sterk gestegen (CBS, 2020; CRV, 2020). Bij een stijgende melkproductie per koe, stijgt de melkproductie veelal sneller dan de methaanproductie per koe, waardoor de methaanproductie per liter melk afneemt (Beauchemin et al., 2020). Deze relatieve daling van de methaanproductie resulteert echter alleen in een lagere totale carbon footprint bij een gelijkblijvende (of licht stijgende) melkproductie/consumptie. In de Nederlandse situatie is sinds 1990 de totale methaanproductie per koe gestegen en daalt de methaanproductie per kg voer en melk (berekend uit van Bruggen et al., 2023 en CBS cijfers). De reeds genoemde ambitieuze carbon footprint reductie doelstellingen vragen een verdere reductie van de methaanproductie, waardoor de totale methaanproductie per koe (bij gelijkblijvend aantal koeien) juist zal moeten dalen om vanuit de melkveehouderij aan deze doelen bij te dragen.

De methaanvorming in de pens is al meer dan 50 jaar (Beauchemin et al., 2020) onderwerp van onderzoek. In het begin vanuit het oogpunt dat methaan een verliespost van energie voor de koe is. De laatste decennia vooral met als doel de methaanproductie te verlagen vanwege de klimaatbelasting van methaan. Dit onderzoek heeft verschillende mogelijke oplossingsrichtingen opgeleverd, zoals voeding, fokkerij en huisvesting. Dit rapport richt zich vooral op mogelijkheden in de voeding. Deze mogelijkheden zijn direct toepasbaar maar zullen, eenmaal toegepast, volgehouden dienen te worden om een continue reductie te bewerkstellingen. Ze zullen op zichzelf niet voldoende zijn om de 2050 doelstellingen te halen (afgezien mogelijk van het gebruik van additieven). Een alternatief voor deze voedingsmaatregelen is dus nodig om op de lange termijn een lager basis niveau van methaanproductie van de koe te realiseren. Mogelijkheden hiervoor liggen in zowel de fokkerij alsook in aanpassingen in het jonge leven van de koe. Over deze laatste mogelijkheid gaat dit rapport.

---

## 2 Achtergronden en kennisvragen

### 2.1 Principes van methaanvorming en -reductie in de pens

In de pens van de melkkoe wordt het overgrote deel van de energie en het eiwit gevormd die de koe gebruikt voor de productie van melk en voor haar onderhoud. De pens is, in de basis, een fermentatievat waarin micro-organismen het binnenkomende voer deels fermenteren en daarmee omzetten in voor de koe opneembare voedingsstoffen. Een groot deel van het voer voor rundvee bestaat uit vezels, ook wel NDF (Neutral Detergent Fibre) genoemd. Voor bijvoorbeeld grassilage is dit gemiddeld ongeveer 50%. Deze vezels kunnen niet door diereigen enzymen verteerd kan worden, maar de micro-organismen in de pens stellen de koe in staat om deze vezels wel te verteren. Tijdens de fermentatie produceren de micro-organismen vluchtige vetzuren (o.a. azijnzuur, propionzuur en boterzuur), welke direct door de koe worden opgenomen en gebruikt als energiebron of voor de vorming van melk. Tijdens de vorming van vooral azijnzuur en boterzuur wordt als bijproduct waterstof geproduceerd. Dit waterstof wordt door methanogenen (een groep micro-organismen in de pens die methaan produceren), samen met kooldioxide, omgezet in methaan. De gevormde methaan heeft echter geen voedingswaarde voor de koe en wordt uitgestoten. Het nadeel hiervan is dat methaan een sterk broeikasgas is dat een belangrijke rol speelt in de opwarming van de aarde. Er is mondiaal dan ook veel aandacht voor het verlagen van de methaanproductie waarbij een aantal landen beloofd hebben de methaanemissie te verminderen (<https://www.globalmethanepledge.org/>).

### 2.2 Microbioom de basis van de pensfermentatie

De micro-organismen in de pens, die gezamenlijk ook wel het pens-microbioom genoemd worden, vormen de basis van de verteringsprocessen en dus ook de methaanvorming in de pens. Het pens-microbioom bestaat uit verschillende typen micro-organismen, zoals bacteriën, archaea, protozoën, en schimmels. De feitelijke methaanvorming vindt plaats door de methanogene micro-organismen, bestaande uit voornamelijk de groep van de archaea. In de methaanvorming wordt de waterstof en kooldioxide, geproduceerd door andere micro-organismen, door de methanogenen omgezet in methaan. De klassieke gedachte is dat het wegvangen van waterstof van belang is om de waterstofspanning in de pens laag te houden en daardoor de fermentatie door andere micro-organismen niet te belemmeren en te laten voortgaan. Wanneer dit niet zou gebeuren, zou de hoge waterstofspanning de pensfermentatie remmen (Choudhury et al. 2022). Duidelijk is dat accumulatie van waterstof verschillende processen in de pens beïnvloedt (Ungerfeld, 2020). Oudere maar ook meer recente resultaten laten zien dat bij het remmen van de enzymen betrokken bij de methaanvormende stap in methanogenen er ook meer waterstof vrij komt omdat die niet meer wordt weggevangen in de vorm van methaan (Czerkawski, 1969; van Gastelen et al., 2020), terwijl het niveau aan fermentatie wel op peil blijft. Waarschijnlijk zijn er meerdere routes om de waterstof in de pens te verwerken (Ungerfeld, 2020; Choudhury et al. 2022). Op dit moment is het niet helemaal duidelijk of de klassieke gedachte geheel herzien dient te worden, of slechts ten dele opgaat. Het gebruik van waterstof en kooldioxide door de methanogenen, terwijl het wordt geproduceerd door andere bacteriën in de pens, betekent dat de pens geen verzameling is van individuele soorten micro-organismen die onafhankelijk van elkaar hun functie uitoefenen en metabool actief zijn. Het geeft juist aan dat bestaan relaties tussen het functioneren van de verschillende typen en soorten micro-organismen die in het microbiom aanwezig zijn. Verder geven de nieuwe resultaten, waarbij de waterstof in de pens stijgt bij enzymatische remming van de methaanvorming, aan dat de kennis over methaanvorming door het microbiom nog niet uit-ontwikkeld is (Van Lingen et al., 2017). Het is daarom belangrijk deze samenhang tussen de micro-organismen uit het microbiom beter te begrijpen. Dit kan de sleutel zijn om methaanproductie van melkvee te verlagen, mogelijk zonder dit af te wentelen op gezondheid, melkproductie en stikstofverliezen.

De samenstelling van het microbiom vormt de schakel tussen de voeding van de koe en de hoeveelheid gevormde methaan. Deze schakel werkt twee kanten op, aan de ene kant bepaalt de samenstelling van het microbiom de methaanvorming, aan de andere kant is het rantsoen mede van invloed op de samenstelling van het microbiom. Voeding beïnvloedt dus, samen met het microbiom, de methaanvorming.

---

Wanneer het mogelijk zou zijn direct, ongeacht de voeding, het microbioom te beïnvloeden of te sturen in een richting die minder methaan oplevert (bijvoorbeeld in het jonge leven), dan zou dit extra handelingsperspectief geven om de methaanproductie te verminderen. Dit handelingsperspectief is dan aanvullen op voedingsmaatregelen bij volwassen melkvee.

## 2.3 Reductie van de methaanproductie

De laatste decennia zijn er verschillende methoden ontwikkeld om de methaanvorming in de pens te remmen (Beauchemin et al., 2020). Deze methoden richten zich vooral op het aanpassen van de rantsoensamenstelling, en op het gebruik van methaan remmende additieven. Remming van de methaanproductie via deze weg is goed mogelijk. Bijvoorbeeld doordat een meer zetmeel- en minder vezelgerichte voeding de methaanproductie zowel direct als indirect verlaagt. Direct door een ander fermentatiepatroon in de pens (meer propionzuur ten koste van azijnzuur) en indirect doordat zetmeel een meer verteerbare energiebron is dan vezels waardoor het de melkproductie stimuleert. Dit laatste levert dus een reductie van de methaanproductie per kg geproduceerde melk op. Ook vet kan de methaanproductie verminderen, zowel direct als indirect. Direct, doordat vet niet in de pens wordt gefermenteerd, waardoor er dus geen methaan gevormd wordt. Het indirecte effect is dat vet de melkproductie kan verhogen, waardoor de methaanproductie per kg melk afneemt. Verder zijn er verschillende additieven ontwikkeld die de methaanproductie direct verminderen. Deze additieven zijn ruwweg onder te verdelen in drie klassen met een verschillend werkingsmechanisme: (1) het wegvangen van waterstof zodat het niet omgezet wordt in methaan, (2) het remmen van de enzymen in de archaea die betrokken zijn bij de vorming van methaan en (3) het sturen van de samenstelling van de micro-organismen in de pens naar een samenstelling met een ander fermentatieprofiel waarbij een lagere methaanproductie hoort. De werking en toepassingsmogelijkheden van deze additieven zijn besproken in Bannink en Dijkstra (2020, intern rapport). Dat rapport geeft aan dat er een aantal additieven zijn met een goede onderbouwing voor de vermindering van de methaanproductie in de volwassen melkkoe of oudere vleeskoe (Bijlage 1). De meeste van deze maatregelen werken hoogstwaarschijnlijk in zowel het jonge als het oudere dier. Een nog onontgonnen terrein is de toepassing van additieven of voerstrategieën tijdens het jonge leven om daarmee een permanent effect bewerkstelligen in het latere leven. Onderzoek naar eventuele mogelijkheden om een interventie toe te passen tijdens het jonge leven, met als doel om de methaanproductie in het latere leven te verminderen, staat echter nog in de kinderschoenen.

## 2.4 Jongveeopfok

De laatste twee decennia is er meer interesse voor de effecten van voeding in het vroege leven van het kalf en de gevolgen daarvan op het latere leven als koe. Soberon et al. (2012) laat bijvoorbeeld zien dat de voeding van het kalf in de eerste acht levensweken de melkproductie in de eerste twee lactaties van de koe beïnvloedt. Een sterkere groei als kalf leidt tot een hogere melkproductie in het latere leven. De verwachting is dat dit effect veroorzaakt wordt door blijvende veranderingen in het metabolisme van het dier. Dit principe wordt "metabolic programming" genoemd. Aghakeshmiri et al. (2017) geeft aan dat ook de gezondheid van kalveren in het vroege leven van invloed is op de ontwikkeling tot volwassen koe. Wanneer kalveren meer gezondheidsproblemen hadden in het vroege leven, leidde dit tot een lagere reproductie als melkkoe. Deze ontdekkingen hebben geleid tot veel onderzoek naar hoe het jonge kalf gezond te laten groeien.

Hierbij werd naar verschillende aspecten gekeken zoals: de hoeveelheid kalvermelkpoeder (Soberon et al., 2012), de samenstelling van kalvermelkpoeder (Berends et al., 2020), de duur van het verstrekken van kalvermelkpoeder (Meale et al., 2015), de methode van "spenen" ofwel het afbouwen van kalvermelkpoeder en de overgang naar vast voer (Kahn et al., 2016) en de samenstelling van het vaste voer (Berends et al., 2018). Veel nadruk wordt gelegd op een goede pensontwikkeling in het vroege leven, zodat een kalf snel en zonder problemen de overschakeling van melk naar vast voer (ruwvoer en krachtvoer) kan maken. Hierbij wordt vaak gekeken naar aspecten zoals de ontwikkeling van de penswand/pens papillen alsook de totale massa en spiermassa van de pens.

---

Hoewel de ontwikkeling van het pensmicrobioom wel is beschreven (Jami et al., 2013; Dill-McFarland et al., 2017), is de mogelijkheid van bewuste sturing van het microbioom en een mogelijke voerstrategie om het microbioom in de pens te beïnvloeden relatief weinig onderzocht.

In een uitgebreid microbioom onderzoek van Henderson et al. (2015), werd geconcludeerd dat het microbioom van rundvee grotendeels beïnvloed wordt door de voeding. Echter, er zijn ook relaties tussen de genetica van de koe en het microbioom gevonden (Wallace et al., 2019). Een voorbeeld hiervan is het werk van Weimer (2015), die laat zien dat bij een vrijwel volledige uitwisseling van de pensinhoud van volwassen koeien, het microbioom van de individuele koe weer terugkeert naar de oorspronkelijke samenstelling van voor de uitwisseling. Oorzaken hiervoor zouden kunnen liggen in de algemene anatomie van de pens (grootte, doorstromingsnelheid etc.), maar ook in een actieve beïnvloeding door bijvoorbeeld het immuun systeem van de koe door middel van de uitscheiding van antilichamen in speeksel (Yáñez-Ruíz et al., 2015). Algemeen wordt geconcludeerd dat, buiten de effecten van voeding, het veranderen van het microbioom in een volgroeide koe lastig te realiseren is (Weimer, 2015). Echter, het microbioom in de pens van een volgroeide koe is het resultaat van de ontwikkeling van kalf tot koe. Een kalf wordt in principe geboren zonder een pensmicrobioom. De vestiging van het pensmicrobioom is het gevolg van blootstelling aan de verschillende maternale en omgevingsmicro-organismen rondom het dier. De eerste blootstelling gebeurt in het geboortekanaal van de koe, door vaginale micro-organismen (Diao et al, 2019). Er zijn zelfs aanwijzingen dat er reeds voor de geboorte micro-organismen in het maagdarm kanaal van het kalf aanwezig zijn (Nylund et al, 2014; Jeon et al., 2017). De wijze en snelheid van ontwikkeling van het microbioom na de geboorte wordt vervolgens beïnvloed door (orale) blootstelling aan micro-organismen, via omgeving en voeding. Resultaten van Furman et al. (2020) geven aan dat een meerderheid van de micro-organismen die tot het "kern-microbioom" behoren gedurende de eerste 2-3 weken van het leven van het kalf de pens zijn binnen gekomen. Er zijn aanwijzingen in de literatuur (Abecia et al., 2013; Meale et al., 2021) dat interventie in de ontwikkeling van het microbioom mogelijkheden biedt om het microbioom en de methaanproductie op de langere termijn (van 3 tot 11 maanden na de interventie) te beïnvloeden. Wanneer het mogelijk is om met een initiële, kortdurende interventie in de pens tijdens de gevoelige periode in het pasgeboren dier het microbioom persistent te laten ontwikkelen in een richting die minder methaanproductie oplevert, dan zou dit belangrijke mogelijkheden bieden om de methaanproductie via dit type interventies structureel te verlagen.

## 2.5 Kennisvragen

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat er in het jonge leven van de koe (als kalf) mogelijkheden liggen om het functioneren van de volwassen koe te beïnvloeden. Dit is reeds aangetoond voor het metabolisme van de koe en dat is een onderzoeksgebied dat veel aandacht krijgt. Er wordt echter minder aandacht besteed aan mogelijkheden om het microbioom in de pens te beïnvloeden. In de literatuur zijn er enkele aanwijzingen te vinden dat effecten van een behandeling in het vroege leven potentie hebben en dit verdient het om verder onderzocht te worden.

Het voorliggende rapport beschrijft de in de literatuur beschikbare kennis rondom de methaanproductie van de volwassen koe en hoe deze te verminderen door eenmalige, kortdurende interventies in het vroege leven van de koe. Eerst wordt op basis van een aantal kennisvragen geïnventariseerd wat de huidige stand van kennis is.

De volgende kennisvragen zijn onderzocht:

6. Is het mogelijk het pensmicrobioom te sturen in een richting die minder methaanproductie oplevert?
7. Is het mogelijk het pensmicrobioom te karakteriseren op basis van de methaanproductie? (KE-B5 project)
8. Is het mogelijk om in het vroege leven de ontwikkeling van het pensmicrobioom van het kalf te sturen richting een structureel lage methaanproductie.
9. Indien in het vroege leven het pensmicrobioom gestuurd kan worden richting een lage methaanproductie, kan dit altijd of zijn er specifieke perioden in het leven de koe waarin dit kan?
10. Welke mogelijkheden zijn er om in het vroege leven het pensmicrobioom te sturen richting een lage methaanproductie en welke zijn het meest geschikt voor mogelijke toekomstige toepassingen onder praktijkomstandigheden?

---

## 3 Beschikbare informatie met betrekking tot de kennisvragen

### 3.1 Is het mogelijk het pensmicrobioom te sturen in een richting die minder methaanproductie oplevert?

Het korte antwoord op deze vraag is ja. Er wordt al meer dan 50 jaar onderzoek gedaan naar de methaanproductie in de pens. In een recente review van Beauchemin et al. (2020), wordt een overzicht gegeven van verschillende methoden om de methaanproductie te reduceren. De overzichtstabel uit het werk van Beauchemin et al (2020) is te vinden in tabel 1 van het artikel in de link:

<https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>. In deze tabel wordt een inschatting gegeven van de potentie, beschikbaarheid, toepasbaarheid en beperkingen van de beschreven methoden. De methoden hebben betrekking op verschillende gebieden en zijn: a) management, b) fokkerij, c) reguliere voeding, d) directe beïnvloeding van de archaea in het pensmicrobioom (door: d1 vaccinatie; of d2 voer additieven) en e) programmering in het vroege leven. Afgezien van punt e), hebben al deze punten betrekking op de reductie van methaanproductie door middel van toepassing van de betreffende aanpak bij het volwassen dier. Het voorliggende rapport richt zich op het identificeren van mogelijkheden om door interventie in het vroege leven de methaanproductie op lange termijn te verminderen door veranderingen in het pensmicrobioom. Dit onderwerp valt onder kennisvraag 3. Wanneer kennisvragen 3 en 4 hieronder met ja worden beantwoord, is het mogelijk dat er directe interventies zijn die langdurig een reductie van de methaanproductie kunnen bewerkstelligen wanneer deze in een gevoelige periode (kennisvraag 4) worden toegepast. Daarom wordt het overzicht van Beauchemin et al. (2020) hier slechts kort besproken. Vervolgens wordt punt e) besproken bij kennisvragen 3 en 4. Er zijn interventies te bedenken die specifiek voor toepassing in het jonge leven zijn, zoals inoculatie met pens-microbioom en de voeding van het jonge dier of zelfs het moederdier. Deze interventies worden besproken onder kennisvraag 5.

#### a. Mogelijkheden om met bedrijfsmanagement de methaanproductie te verlagen

De management aanpak zoals beschreven door Beauchemin et al. (2020) betreft vooral een totale aanpak van voeding, genetica, gezondheid en algeheel dier- en voedingsmanagement. Het duidelijkste voorbeeld hiervan zijn de verschillen in carbon footprint, vooral per liter melk, tussen de veehouderij systemen in de wereld (Gerber et al., 2011). Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door een verschil in productieniveau per dier en voersamenstelling bij deze productieniveaus. Een hogere melkproductie per dier leidt tot een lagere methaanproductie per eenheid melk (methaanintensiteit), enerzijds doordat het niet productieve deel van het voer voor onderhoud relatief kleiner wordt, maar ook door het type voer dat nodig is om een hoge melkproductie te behalen. Wanneer door goed diermanagement het productieniveau per dier van laag productieve bedrijven wordt verhoogd, zal dit de methaanintensiteit verlagen. Bij een gelijkblijvende totale melkproductie op nationaal niveau leidt dit tot een lagere methaanproductie doordat er minder koeien nodig zijn voor die melkproductie. Voor Nederland zou dit gekarakteriseerd kunnen worden als "business as usual". Dit proces is reeds decennia bezig en zal dus geen additionele methaanreductie brengen bovenop de bestaande trends. Verder geeft Beauchemin et al. (2020) aan dat de daling van de methaanintensiteit curvi-lineair is, wat betekent dat bij een toenemende melkproductie (zonder aanvullende methaan verlagende maatregelen) de methaanproductie per liter melk steeds minder hard daalt. Dit vertaalt zich ook naar een dalende carbon footprint per liter melk bij hogere melk productie per koe (Dijkstra et al., 2013, te zien in Figuur 2.6 van de publicatie).

Voor de Nederlandse situatie zal extra handelingsperspectief nodig zijn bovenop de huidige dalende methaanintensiteit veroorzaakt door "business as usual".

#### b. Mogelijkheden om met fokkerij de methaanproductie te verlagen

Beauchemin et al. (2020) beschrijft de fokkerij gericht op een verbetering van de voerefficiëntie en fokkerij direct gericht op methaanproductie.

De eerste, fokkerij gericht op voerefficiëntie, kan bijna geschaard worden onder "business as usual".

---

De Nederlandse melkveefokkerij maakt gebruik van gecombineerde indexen waarin verschillende aspecten, zoals onder andere melkproductie, gezondheid en levensduur worden meegenomen. Meer recentelijk is ook de mogelijkheid om op voerefficiëntie te fokken aan deze indexen toegevoegd.

Direct fokken op een lagere methaanproductie per dier lijkt mogelijk (Lopez-Paredes et al., 2020), maar hiervoor moeten nog fokwaardes ontwikkeld worden. Bij het ontwikkelen van deze fokwaardes tot een fokindex moeten keuzes gemaakt worden om te bepalen hoeveel waarde aan methaanproductie toegekend dient te worden. Deze keuzes hebben een invloed op zowel economie, als ook de snelheid waarmee vooruitgang geboekt kan worden met fokkerij (González-Recio et al., 2020).

Fokkerij onderzoek is reeds deel van de klimaatvelop. De invloed van de fokkerij kan wellicht gaan via een beïnvloeding van het pensmicrobioom, maar lijkt bij schapen de voerefficiëntie te verlagen, de pens te verkleinen en magerder vlees aan te zetten (NZAGRC, 2019). In onderzoek in het kader van de klimaatvelop is gezien dat 19-33% van de fenotypische variatie in methaanproductie tussen koeien op hetzelfde rantsoen verklaard kon worden door de genetica van het dier (van Breukelen et al., 2023). Dit percentage ligt hoger dan de 11% die gevonden is in Lopez-Paredes et al. (2020), maar ligt goed op een lijn met resultaten van Manzanilla-Pech et al. (2021). Er liggen dus mogelijkheden om via fokkerij de methaanproductie te verlagen, wellicht via het pensmicrobioom. Echter dit betekent ook dat 65-80% van de fenotypische variatie door niet-genetische factoren zoals de gerealiseerde voeropname, vertering, of andere (toevallige) kenmerken van het functioneren van de koe. Het is ook mogelijk dat invloeden uit het vroege leven van de koe of via het moederdier bijdragen aan deze niet vanuit genetica verklaarde variatie.

c. Mogelijkheden om met (reguliere) voeding de methaanproductie te verlagen.

De mogelijkheden om met reguliere voeding de methaanproductie te verlagen zijn onder andere het gebruik en samenstelling van vetten, krachtvoer, een verbeterde ruwvoer kwaliteit of ander ruwvoer.

Er zijn 4 werkingsmechanismen hoe toevoeging van vetbronnen de methaanproductie kunnen verminderen. In de pens wordt vet niet gefermenteerd (mechanisme 1), maar de triglyceriden worden omgezet in vrije vetzuren en glycerol, waarna de vrije vetzuren deels worden gehydrogeneerd en het glycerol wordt omgezet in vluchtige vetzuren (Bauman et al., 2003). Doordat vet dus zelf niet gefermenteerd wordt, wordt er ten opzichte van gefermenteerde koolhydraten ook geen waterstof en dus geen methaan geproduceerd. Dit is vooral het geval wanneer pens fermenteerbare voedermiddelen op energiebasis vervangen worden door (pens bestendige) vetten. Vet kan echter ook de afbraak van andere potentieel fermenteerbare voedingscomponenten afremmen (mechanisme 2) doordat de gehydrogeneerde vetzuren zich als een laagje afzetten op vezels en zo een fysieke barrière vormen voor de pens micro-organismen (Jenkins, 1993). Hierdoor vermindert de fermentatie van vezels, met een lagere methaanproductie tot gevolg alsmede een vermindering van de energie die beschikbaar komt uit vezels. Daarnaast worden onverzadigde vetzuren in de pens gehydrogeneerd (mechanisme 3) waarvoor waterstof wordt gebruikt en niet beschikbaar komt voor de vorming van methaan. Zo functioneren onverzadigde vetzuren dus als een "sink" voor waterstof (Bannink en Dijkstra, 2020). Verder kunnen de voornamelijk onverzadigde vetzuren het functioneren van micro-organismen specifiek remmen (mechanisme 4). Het precieze mechanisme is niet volledig helder, alhoewel de remming van protozoën en de daarmee samenhangende methanogenen een rol speelt en resulteert in een verlaagde methaanproductie (Newbold et al., 2015). Dit 4<sup>e</sup> mechanisme is een potentiële kandidaat om via verandering van het pensmicrobioom de methaanproductie te verminderen, waarbij lange termijn effecten niet ondenkbaar zijn (zie kennisvraag 3).

Bij het verlagen van de methaanproductie via vetten is het wel van belang op de carbon footprint van de gebruikte vetten te letten. Afhankelijk van de vet bron kan het zo zijn dat de carbon footprint van het gebruikte vet hoger is dan de carbon footprint van bewerkstelligde methaan reductie. Zo laat van Dijk et al. (2022) zien dat vetten gemaakt uit palmolie een zeer hoge carbon footprint hebben, waardoor de carbon footprint van de melkproductie, ondanks de daling in methaanproductie bij deze producten toch stijgt. Vetten uit lijnzaadolie en raapzaadolie kunnen wel een netto daling van de carbon footprint laten zien. Echter voor de productie van deze producten zou veel extra landoppervlakte nodig zijn, waardoor het perspectief om door extra vet in het rantsoen de methaanproductie te verlagen gering is.

Mocht het zo zijn dat vetten, zoals lijnzaadolie, of andere producten met een relatief hoog vetgehalte zoals bierbostel, in het vroege leven een langdurig effect op het microbioom en methaan hebben, dan is mogelijk minder vet nodig.

Het via krachtvoer verlagen van de methaanproductie, vooral per kg melk, is een reeds lang bekende aanpak.



---

De laatste twee decennia varieert het krachtvoeraandeel in het rantsoen van melkvee (droogstaande en melkgevend samen) tussen de 21 en 27.5 % van de droge stof (berekend op basis van CBS cijfers: van Bruggen, 2019). In 2022 was het krachtvoer aandeel in melkveevoer 27.5% (droogstaande en melkgevend samen, berekend op basis van CBS cijfers: van Bruggen, 2023), het hoogste in 20 jaar.

Krachtvoer bevat veel fermenteerbare koolhydraten, zoals zetmeel en suikers, maar ook beter fermenteerbare vezels. In eerste instantie geeft deze hogere fermenteerbaarheid meer methaan per kg voer en soms ook per koe. Echter, enerzijds levert die hogere fermenteerbaarheid ook meer energie aan de koe waardoor minder van dat voer nodig is om dezelfde melkproductie te halen, of waardoor de melkproductie verhoogt. Hierdoor kan de methaanproductie per liter melk veelal alsnog verlaagd worden, ondanks een gelijkblijvende of zelfs hogere methaanproductie per koe (berekend uit van Bruggen et al., 2023 en CBS cijfers). Anderzijds kan ook de hoeveelheid methaan die uit het rantsoen ontstaat veranderen bij meer krachtvoer voeren. Het werkingsmechanisme is tweeledig. Aan de ene kant wordt er tijdens de fermentatie van snel afbrekende koolhydraten meer propionzuur gevormd en minder azijnzuur. Hierdoor ontstaat er minder waterstof wat dan dus ook niet weggevangen kan worden door methanogenen om methaan te vormen (Tamminga et al., 2007). Anderzijds, kan een grotere hoeveelheid gefermenteerd voer en een hogere fermentatiesnelheid in de pens leiden tot een ander (gemiddeld zuurder) pens milieu. Hierdoor kan de samenstelling van het pensmicrobioom wijzigen en het daaraan gekoppelde vluchtige vetzuurpatroon verschuiven in een richting die tot minder waterstofproductie leidt, en als gevolg daarvan een lagere methanogene activiteit. Ook is het mogelijk dat deze maatregel tot een verlaagde aanwezigheid van de protozoën leidt en daarmee van de met protozoën samenhangende methanogenen. Het voeren van meer en sneller fermenteerbaar krachtvoer is dus in principe een kandidaat maatregel voor het veranderen van het microbioom en de hoeveelheid gevormd methaan uit het gefermenteerde deel van het rantsoen. Echter deze maatregel is niet zonder risico's omdat een sneller rantsoen, wanneer dat niet goed gecontroleerd wordt toegepast, kan leiden tot pens en darmproblemen.

Bij het voeren van extra krachtvoer is het eveneens van belang rekening te houden met de carbon footprint van het krachtvoer. Recente berekeningen met de KringloopWijzer hebben namelijk laten zien dat de carbon footprint per kg melk toeneemt bij een groter aandeel krachtvoer (Mollenhorst en de Haan, 2021). Het is echter wel van belang deze gegevens zorgvuldig te interpreteren. Vooral eiwitrijke producten als sojaschroot en vetbronnen hebben een hoge carbon footprint door landgebruik verandering. Echter het reduceren van de methaanproductie zal juist plaatvinden bij het voeren van zetmeelrijke producten als mais en gerst die een aanzienlijk lagere carbon footprint hebben dan soja producten. Hierbij is het echter weer wel de vraag of het vanuit de humane consumptie wenselijk is deze grondstoffen aan rundvee te voeren en daarbij te concurreren met landgebruik voor voedselproductie.

#### d. Directe beïnvloeding van het pensmicrobioom

##### d1 vaccinatie tegen methanogenen

Het idee achter vaccinatie tegen methanogenen richt zich op het dier dat zelf antilichamen tegen methanogenen produceert en deze met het speeksel uitscheidt zodat deze in de pens terecht komen om daar de populatie methanogenen te remmen (Subharat et al., 2016). In een review van Baca-González et al. (2020) zijn de meest recente resultaten voor vaccinatie geïnventariseerd en wordt geconcludeerd dat het vanwege de zeer verschillende experimentuitvoeringen lastig is de huidige resultaten voor vaccinatie met elkaar te vergelijken en dat meer onderzoek nodig is voor een valide conclusie omtrent de effectiviteit van vaccinatie. In de onderzoeken die Baca-González et al. (2020) in tabellen weergeeft, wordt in vivo slechts in 1 van de 5 gevallen een reductie van de methaanproductie gemeten. Ook het onderzoek met schapen in Nieuw Zeeland (dat lopend is) lijkt nog geen in vivo methaan reductie op te leveren (NZAGRC, 2019). Tot nu toe lijkt vaccinatie, indien überhaupt succesvol in te zetten, op korte termijn geen kandidaat te zijn voor toepassing als interventie in het vroege leven.

De huidige toepassing wordt vooral gezocht in oudere, volwassen dieren. Wellicht geeft deze wijze van sturing van de methanogenen in het vroege leven van het jonge dier vergelijkbare effecten, maar daar staat tegenover dat de immuun respons van jonge dieren aanzienlijk minder antilichamen oplevert (Baca-González et al., 2020). Dus zelfs als vaccinatie in oudere dieren succesvol zou blijken, dan nog is het twijfelachtig of het ook in jongere dieren tot vergelijkbare resultaten leidt.

---

d2 effecten van additieven

Beauchemin et al. (2020) verdeelt de additieven onder in een chemische remming door 3-nitroxypropanol (3NOP), algen, nitraat en tannine. Deze volgorde is gelijk aan de door Beauchemin et al. (2020) ingeschatte ranking van effectiviteit van methaan reductie van hoog (3NOP), via medium (algen) naar laag (nitraat en tannine). De additieven 3NOP en nitraat zijn chemisch goed gedefinieerd. De categorieën algen en tannine zijn heel breed, waarbij het veelal een klein deel van de componenten uit deze categorieën zijn die een effect hebben.

Bannink en Dijkstra (2020), geven een klasseindeling gebaseerd op het werkingsmechanisme van additieven. Deze mechanismen betreffen : (1) het wegvangen van waterstof, (2) het direct remmen van de methaanproductie en (3) het verschuiven van het microbioom en het bijpassende fermentatiepatroon en de waterstofproductie. Bannink en Dijkstra (2020) concluderen dat het werkingsmechanisme en de effectiviteit van vooral de additieven in klasse 1 (nitraat, sulfaat) en klasse 2 (3NOP, BES (2-bromo-ethaansulfonaat), chloroform en bromoform) het beste onderbouwd zijn. Hierbij zijn er voor BES, chloroform en bromoform bezwaren met betrekking tot toxiciteit en potentieel effect op de ozonlaag. Bij welke doseringen en blootstelling deze bezwaren optreden is nog onbekend. In klasse 3 zijn er additieven die vooral gebaseerd zijn op het sturen van het microbioom en fermentatieprofiel. In deze klasse vallen verschillende commerciële producten zoals Agolin en Mootral, en het methaan reducerend effect van deze producten is enigszins onderbouwd. Bannink en Dijkstra (2020) verwachten echter dat voor met name deze producten het pensmicrobiom (van het volwassen dier) zich zodanig aanpast aan het product dat bij permanent voeren het methaan verlagende effect slechts van tijdelijke aard is in plaats van persistent. Voedingsstrategieën waarin additieven alternerend worden toegepast zouden wel gebruik kunnen maken van producten die bij permanent voeren slechts een tijdelijk verlaging van de methaanproductie geven. Echter, een dergelijke alternerende toepassing vraagt nog om meer onderzoek en het testen van verschillende combinaties van additieven uit deze klasse; momenteel is ons alleen de studie van Klop et al. (2017) bekend.

Samenvattend, werkingsmechanismen voor additieven die het meeste perspectief bieden zijn: het wegvangen van waterstof en het direct remmen van de methaanproductie. De beste kandidaat additieven lijken 3NOP (direct remmen) en in mindere mate nitraat (wegvangen) te zijn, welke bij een gecontroleerde inzet in de praktijk (bij melkgevende koeien) de methaanproductie substantieel kunnen verminderen. Remming van de methaanproductie via deze werkingsmechanismen veranderen niet alleen de methaanvorming zelf, maar kunnen ook de micro-organismen in de pens die verantwoordelijk zijn voor de methaanproductie, de methanogenen, in hun activiteit en aantal remmen (Duin et al., 2016). Door de samenhang tussen methaanproductie en het hele microbiom kan bij remming van de methaanproductie dus ook het microbiom verschuiven. Deze werkingsmechanismen, met de daaronder vallende additieven, zijn dan ook kandidaten voor toepassing in het jonge leven om de ontwikkeling van de methaan producerende micro-organismen, en dus het microbiom, te beïnvloeden tijdens de ontwikkeling van de pens. Dit wordt verder besproken bij kennisvraag 3.

---

## 3.2 Is het mogelijk het pensmicrobioom te karakteriseren op basis van de methaanproductie? (KE-B5 project)

### 3.2.1 Achtergronden

Het microbioom van de pens van koeien bevat duizenden verschillende soorten micro-organismen waarin vertegenwoordigers van alle drie de domeinen van het leven voorkomen, zijnde Bacteriën, Archaea en Eukaryoten. Dill-McFarland et al. (2017) analyseerde het microbioom van feces en pens van 15 koeien op verschillende leeftijden van 2 weken tot 2 jaar, en vond een totaal van 18244 soorten bacteriën, 1458 soorten schimmels (Eukaryoten) en 315 soorten Archaea. Deze soorten komen niet allemaal in 1 dier en op 1 tijdstip voor maar dit is het totaal aantal soorten wat gevonden werd in het experiment. Desalniettemin komen er bij 1 dier al snel meer dan 1000 soorten bacteriën, 20 soorten archaea en 15 soorten schimmels in de pens voor. Daarnaast zijn er nog de protozoën (ook Eukaryoten), welke voor wat betreft hoeveelheid biomassa in de pens op de tweede plaats staan, na de bacteriën (Baca-González et al., 2020). Om deze overvoed aan micro-organismen overzichtelijker weer te geven worden de verschillende soorten geclassificeerd in hogere taxonomische groepen. Na de rijken genaamd bacteriën, archaea en eukaryoten (schimmels en protozoën) is de eerste onderverdeling het fylum (de stam). Onder deze fylya vallen velen genera (geslachten) en daaronder species (soorten).

De meest voorkomende micro-organismen in de pens zijn de bacteriën, waarvan vervolgens de meest voorkomende fylya de Bacteroidetes, Firmicutes en Proteobacteria zijn. Echter de aandelen van deze fylya over de leeftijd van het dier zijn niet constant (Jami et al., 2013 (zie figuur 2 uit het artikel te vinden via: <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.2>) en Morgavi et al, 2020, (zie tabel 1 uit hun publicatie te vinden via: <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2020.0067.02>)). De bacteriën produceren geen methaan, maar verschillende soorten produceren wel in meer of mindere mate waterstof. Een hoge methaanproductie in de pens is dan ook in verband gebracht met grotere aantallen waterstof producerende bacteriën, terwijl lage methaanproductie in verband is gebracht met bacteriën die propionaat, succinaat en lactaat produceren waar minder/geen waterstof bij vrijkomt (Baca-González et al., 2020). Alhoewel indirect, is het dus mogelijk dat de samenstelling van de bacteriën in de pens een indicator voor methaanproductie zouden kunnen zijn. Factoren die hierbij van belang zijn, zijn: vezel-afbrekers versus niet-vezel afbrekers, bacteriën versus protozoën, het type substraat en het type gevormde vluchtige vetzuur.

De archaea zijn de enige methaan producerende micro-organismen in de pens en vertegenwoordigen 0.3-3% van het microbioom (Baca-González et al., 2020). Deze vallen allemaal in het fylum Euryarchaeota (Liu en Whatman, 2008). Ongeveer 90% van de soorten in dit fylum is verder te verdelen in een 10 tal genera (geslachten), veel minder dan het aantal genera van bacteriën (Patra et al., 2017).

Zoals vermeld zijn de protozoën qua aanwezige biomassa de tweede groep van micro-organismen in de pens en kunnen zelfs tot 50% van de microbiële biomassa in de pens uitmaken (Newbold et al., 2015). De pens protozoën kunnen onderverdeeld worden in 2 groepen, de entodinomorphs en de holotrichs (Patel en Ambalam, 2018). Er zijn ongeveer 15 genera van holotrichs die in de pens kunnen voorkomen. Onder de entodinomorphs vallen minstens 8 verschillende genera. De groep van protozoën heeft net als de bacteriën de enzymcapaciteit om vezels, eiwit, zetmeel en suikers af te breken. De herkauwer en meer specifiek de pensfunctie lijkt zich, wanneer geïsoleerd van andere dieren, zonder protozoën probleemloos te kunnen ontwikkelen (Pouden en Hibbs, 1950; Cersosimo et al., 2019) en protozoën zijn bij het opgroeiende kalf de laatste groep van micro-organismen die de pens koloniseren (Morgavi et al., 2020). Een belangrijk aspect van protozoën is dat de methanogenen in een nauwe symbiose met de protozoën leven. Ook "eten" protozoën pens bacteriën voor hun eigen eiwitvoorziening. Wanneer de protozoën in de pens geremd of verwijderd worden, ook wel defaunatie genoemd, dan neemt in veel gevallen de methaanproductie af en neemt de efficiëntie van microbiële eiwitsynthese inclusief de hoeveelheid eiwit die uitstroomt naar de darm toe (Newbold et al., 2015). In de protozoën ligt dan ook een mogelijke koppeling tussen de uitscheiding van methaan en stikstof, welke potentieel tegelijkertijd verminderd kunnen worden door defaunatie. Echter, praktische toepassingen van middelen met een reproduceerbare defaunatie als resultaat zijn er vrijwel niet (Newbold et al., 2015).

Het laatste rijk dat een vermelding behoeft zijn de schimmels. Over het aandeel schimmelbiomassa van de totale microbiële biomassa in de pens bestaat geen eenduidigheid, aandelen van zowel 10 (Baca-González et al., 2020) als 20% (Edwards et al., 2017) worden genoemd.

---

Alhoewel het duidelijk is dat schimmels een rol vervullen in de afbraak van vezelrijk materiaal, heeft dit rijk van micro-organismen historisch minder aandacht gekregen. Volgens Edwards et al. (2017) lijken de schimmels in de pens een niche rol te vervullen.

Net als met de protozoën lijken de methanogenen zich ook fysiek aan schimmels te kunnen binden om de door hen gevormde waterstof te benutten (Edwards et al., 2017). De aanwezigheid van methanogenen stimuleert dan ook de vezel afbrekende capaciteit van schimmels (en andere micro-organismen). Verder is er weinig bekend over de rol van schimmels en methaanproductie in de pens.

### 3.2.2 Mogelijkheden voor karakterisering van een methaan verlagend pensmicrobioom

De mogelijkheden voor karakterisering van een methaan verlagend pensmicrobioom zijn onderdeel van het huidige onderzoek in het kader van de klimaatvelop. In het voorliggende rapport zal op deze vraag daarom nog geen antwoord gegeven kunnen worden. Er wordt alleen een beknopt overzicht van de literatuur gegeven.

In een literatuuroverzicht geeft Weimer (2015) aan dat het pensmicrobioom binnen een individuele koe zeer persistent is. Wanneer de pens van koeien gelegeerd werd en vervolgens blootgesteld aan grote hoeveelheden van een specifiek micro-organisme, of aan de hele pensinhoud van een ander dier met een ander microbioom, dan keerde de samenstelling van het pensmicrobioom terug naar de toestand van vóór de blootstelling aan het diervreemde micro-organisme of microbioom. Interessant is wel dat de vluchtige vetzuursamenstelling van de pensvloeistof sneller naar de oorspronkelijke staat terug keerde dan de samenstelling van het microbioom. Dit is een indicatie van de directe invloed van de koe op haar pens milieu, aangezien de vluchtige vetzuren door de penswand geabsorbeerd worden en de concentratie van deze vetzuren in de pens dus niet alleen van productie, maar ook van absorptie, en dus koe-invloeden en penscondities, afhangt.

Verschillende literatuurbronnen hebben correlaties gevonden tussen karakteristieken van het microbioom en methaanproductie bij rundvee (Wallace et al., 2015; Roehe et al., 2016; Danielsson et al., 2017; Difford et al., 2018; Ramayo-Caldas et al., 2020; Wallace et al., 2019). In bijlage 2 staat een beknopt overzicht van deze literatuurbronnen. In al deze bronnen wordt een significante relatie tussen kenmerken van het microbioom en de methaanproductie gevonden. Op het eerste gezicht lijken er wel enkele kenmerken overeen te komen tussen de bronnen. Zo wordt de familie van de Succinivibrionaceae 4 keer genoemd in relatie tot een lage methaanproductie en wordt het genus *Methanobrevibacter* ook meerdere keren genoemd. Voor dit laatste genus worden zowel positieve als negatieve relaties met methaanproductie gevonden, afhankelijk van de soort *Methanobrevibacter*. De individuele literatuurbronnen lijken logische relaties te vinden (op basis van hun vluchtige vetzuur productie) tussen bepaalde micro-organismen en methaanproductie, maar een duidelijk beeld van op welke samenstelling het microbioom geselecteerd dient te worden voor een verandering van de methaanproductie is er nog niet. Dit variabele beeld tussen literatuurbronnen, komt ook naar voren in Wallace et al. (2019), waar data van 7 bedrijven uit 4 landen, met samen meer dan 1000 monsters, wordt gebruikt. Wallace et al. (2019) geeft de correlatie tussen verschillende kenmerken van de koe en het microbioom weer. De door het microbioom verklaarde variantie verschilt van ruwweg 45% voor rantsoenkenmerken, alsmede azijnzuur en propionzuur gehalten in pensvloeistof, ruwweg 20% voor methaanproductie en slechts rond de 10% voor melkproductie kenmerken. Dit zijn echter gemiddelden van bedrijven, terwijl voor de individuele bedrijven in de dataset de verklaarde variantie voor deze koe kenmerken kan verschillen van respectievelijk 0% tot 80% voor rantsoenkenmerken, 0% tot 40% voor methaan- en 0 tot 30% voor melkproductie. Dit geeft aan dat er mogelijk grote bedrijfsinvloeden zijn op de relatie tussen microbioom en koekenmerken, en daarom is het van belang deze relaties over meerdere bedrijven en of experimenten te testen. Op dit moment lijkt er in vrijwel elke dataset een relatie tussen het microbioom en de methaanproductie te vinden. Of dit over alle datasets heen een consistent beeld oplevert wat gebruikt kan worden als indicator voor methaanproductie en waarop gestuurd zou kunnen worden, behoeft verder onderzoek.

---

### 3.3 Is het mogelijk om in het vroege leven de ontwikkeling van het pensmicrobioom van het kalf te sturen richting een structureel lage methaanproductie.

Deze kennisvraag richt zich op de mogelijkheden om door interventie in het vroege leven van de koe (als pasgeboren kalf) de ontwikkeling van het pensmicrobioom te sturen zodat deze een verandering oplevert die persistent is op de langere termijn (meerdere jaren). Hiervoor is het van belang eerst de levenscyclus van de koe en de ontwikkeling van het pensmicrobioom te bespreken.

#### 3.3.1 Ontwikkeling van het pensmicrobioom gedurende het leven van de koe

De levenscyclus van de koe kan op verschillende manieren ingedeeld worden. Een logische indeling is gebaseerd op de voeding en de voortplanting, waarbij de eerste 3 maanden na geboorte gericht is op de voedingsovergang van functioneel éénmagig dier (welke vooral melk drinkt) naar functionele herkauwer (welke vooral vast voer vreet), terwijl in de periode na 1 jaar leeftijd vooral de reproductie en voorbereiding op de lactatie centraal staan. Meer fijnmazig bekeken vallen er 6 fasen te onderscheiden: (1) de biest periode (0-3 dagen), (2) de (kunst)melk periode (van 3 dagen tot 6-12 weken), (3) de speen periode (van start afbouwen op 6-12 weken tot volledige afbouw kunstmelk, duur: 0 – 3 weken), (4) de jongvee periode na volledige afbouw kunstmelk (spenen) tot succesvolle inseminatie (duur: 11-18 maanden), (5) van succesvolle inseminatie tot afkalven (duur 9 maanden) en (6) 1<sup>e</sup> lactatie (duur 10-12 maanden) en opvolgende lactaties (duur variabel). Een algemeen advies is de koeien gemiddeld op 24 maanden leeftijd voor de eerste keer te laten afkalven (Mourits et al., 2013). Op 24 maanden kan het dier voldoende ontwikkeld zijn om de lactatie te starten en worden de extra kosten van een langere opfok (en daarmee gepaard gaande extra methaanproductie) voorkomen. Om de koe op een gezonde en kostenefficiënte manier op 24 maanden te laten afkalven is in elk van de bovengenoemde fasen een bewuste en passende voerstrategie noodzakelijk.

Historisch wordt er vaak aangenomen dat een kalf steriel, dus zonder microbioom in de pens en de rest van het maagdarmkanaal geboren wordt. Er zijn echter met nieuwe analyse technieken in het meconium (eerste excreet na geboorte) micro-organismen aangetoond (Alipour et al., 2018, Nylund et al., 2014). Het is de vraag of deze populatie grote invloed heeft op het microbioom dat zich gaat ontwikkelen. Morgavi et al. (2020) concluderen, ondanks de mogelijke aanwezigheid van micro-organismen in het maagdarmkanaal van het kalf, dat het kalf toch effectief steriel geboren wordt. Er zijn ook aanwijzingen dat tijdens de dracht via het bloed en de placenta mogelijk micro-organismen in het maagdarmkanaal van het kalf (de foetus) kunnen koloniseren (Jeon et al., 2017). Deze aanwijzingen zijn nog hypothetisch en het is onwaarschijnlijk dat de drachtperiode (vóór de geboorte) reële mogelijkheden biedt voor interventie in het pensmicrobioom.

Voor de geboorte heeft het kalf dus (vrijwel) geen microbioom in het maagdarmkanaal en begint de kolonisatie van het maagdarmkanaal pas na de geboorte met elk oraal contact met de buitenwereld. Morgavi et al. (2020) (zie Figuur 1 uit de publicatie te vinden via: <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2020.0067.02>) geven een algemeen overzicht van de sequentiële kolonisatie van de pens door micro-organismen. Als eerste koloniseren de facultatief anaerobe micro-organismen, aangezien de pens nog niet volledig anaeroob is. Vervolgens wordt de pens over een periode van ongeveer 20 dagen gekoloniseerd door verschillende micro-organismen zijnde: de strikt anaerobe, de vezel afbrekende, de methaan producerende en de cellulytische schimmels. Als laatste, tussen de 20 en 50 dagen leeftijd, wordt de pens gekoloniseerd door protozoën, waarvoor contact met andere dieren van belang blijkt te zijn, aangezien dieren die geïsoleerd worden opgevoed wel een bacterie- en archaeapopulatie ontwikkelen, maar geen populatie protozoën. De ontwikkeling van de verschillende fyta van bacteriën wordt weergegeven door Jami et al. (2013) en Morgavi et al. (2020). Gedurende de eerste twee levensjaren bestaat de bacteriepopulatie in de pens vooral uit soorten in de fyta Bacteroidetes, Firmicutes en Proteobacteria. De eerste dagen van het leven zijn er relatief veel proteobacteriën en Firmicutes aanwezig, vervolgens ontwikkelen de soorten uit het fylum Bacteroidetes sterker en neemt het aandeel proteobacteriën sterk af.

Vanaf 6 maanden lijkt er een bacteriepopulatie te ontstaan die voor wat betreft fylum samenstelling al sterk lijkt op de populatie van de volwassen koe op een leeftijd van 2 jaar.

---

Gedurende deze ontwikkeling neemt het aantal soorten bacteriën in de pens toe, waarbij de bacteriepopulatie in de pens van verschillende koeien meer op elkaar gaat lijken (Dill-McFarland et al., 2017). Echter ondanks deze convergentie in bacteriepopulatie waargenomen bij individuele dieren blijft er een aanzienlijke variatie in de samenstelling van het pensmicrobioom aanwezig in de populatie dieren. De ontwikkeling van het pensmicrobioom kan het gevolg zijn van een toevallige kolonisatievolgorde van de pens (Furman et al., 2020). De voorgaande kolonisatie van micro-organismen kan de kolonisatiemogelijkheden van later komende micro-organismen beïnvloeden (Fukami, 2015). In het kort, micro-organismen kunnen op twee manieren de kolonisatie van laatkomers remmen, ook wel de "priority effects" genoemd. Als eerste kan de aanwezigheid van een reeds gekoloniseerde populatie ervoor zorgen dat laatkomers er niet meer "tussen" komen. Als tweede kunnen reeds gekoloniseerde micro-organismen het milieu in de pens zo veranderen dat dit voor andere micro-organismen minder aantrekkelijk is of zelf de kans verkleint. Naast deze "priority effects" wordt in Fukami (2015) ook beschreven hoe populaties van micro-organismen in meer of minder stabiele toestanden kunnen voorkomen in de pens. Daarnaast kunnen er microbiom populaties zijn waarvan de stabiliteit over de tijd lijkt te verschillen, maar deze wisselende populaties kunnen toch onderdeel van een stabiele cyclus zijn. Op basis van deze beschrijving is het dus ook denkbaar dat een "dier onafhankelijk" microbiom zichzelf in stand houdt op basis van "priority effects". Wanneer het mogelijk is deze "priority effects" te beïnvloeden is het wellicht mogelijk om gedurende de ontwikkeling de samenstelling van het pensmicrobioom te sturen. De stabiliteit van het pensmicrobioom gedurende de tijd kan verder te maken hebben met directe diereigenschappen, zoals pensgrootte, patroon en niveau van voeropname, zuurgraad en passagesnelheid (Bannink et al., 2016), of kan de uitkomst zijn van de ontwikkeling van het immuunsysteem en de relatie die dit heeft met het microbiom. Op basis van Furman (2020) en Morgavi et al. (2020) lijkt het sturen van de samenstelling van het pensmicrobioom voornamelijk mogelijk in het vroege leven (0-6 maanden leeftijd; zie kennisvraag 4).

De hierboven beschreven fasen in de opfok geven aan dat gedurende de eerste 6 maanden veel veranderingen optreden in het rantsoen en de pens en als gevolg daarvan ook in het pensmicrobioom. De overgangen zijn van voeding door de placenta naar opname van biest, van biest naar kunstmelk, en van kunstmelk naar vast voer. De eerste overgang van voeding door de placenta naar biest is vooral van belang voor het snel opbouwen van voldoende immuniteit. Het jonge kalf krijgt in de uterus vrijwel geen antilichamen mee zodat zij voor een goede immuniteit na afkalven volledig afhankelijk is van de antilichamen in de biest (eerste melk) van de moeder (Ferwerda-van Zonneveld et al., 2017). De rol van biest voor het opbouwen van het pensmicrobioom is niet duidelijk. De biest komt in principe niet of slechts gedeeltelijk in de pens terecht omdat de biest met behulp van de zogenaamde slokdarmsleuf reflex direct doorstroomt naar de lebmaag. Waarschijnlijk is deze sluiting echter niet volledig en komt er dus een kleine hoeveelheid biest in de pens terecht.

De laatste overgang van melk naar vast voer is zowel voor het maagdarmkanaal als voor het metabolisme erg groot. Het dier verandert niet alleen wat betreft plaats van absorptie van nutriënten, welke verschuift van dunne darm naar de pens. Maar ook het metabolisme van het dier schakelt over van een vooral glucose gestuurd naar een vluchtige vetzuur gestuurd metabolisme. Bij deze overgang is de pensontwikkeling en waarschijnlijk ook de ontwikkeling van het pensmicrobioom afhankelijk van factoren als de hoeveelheid, de samenstelling en het afbouwschema van de kunstmelk, alsook het begin van de verstrekking van vast voer en het type en de samenstelling van het geconsumeerde ruwvoer en krachtvoer (Meale et al., 2017, Kahn et al., 2016).

### 3.3.2 Effect van vroege interventie op latere methaanproductie en pensmicrobioom samenstelling

Het pensmicrobioom blijkt, naast voeding en genetica van het dier, verantwoordelijk voor een deel van de variatie in methaanproductie van volwassen dieren. Schattingen voor het deel van de variatie dat door het microbiom verklaard wordt variëren tussen de 15 en 25% (Difford et al., 2018; Ramayo-Caldas et al., 2020). Het lijkt niet mogelijk het microbiom van oudere koeien door éénmalige interventie blijvend te veranderen (Weimer, 2015).

Gedurende de eerste 6 maanden van het leven van de kalf ontwikkelt zich een, deels kalf specifiek, pensmicrobioom. Wanneer het mogelijk zou zijn door middel van tijdelijke interventie de ontwikkeling van het microbiom van het jonge dier te sturen naar een samenstelling met een lage methaanproductie, zou dit wellicht kunnen resulteren in langdurig, persistent lagere methaanproductie.

---

Het onderzoek naar interventies in de ontwikkeling van het pensmicrobioom in het vroege leven van het kalf, in relatie tot de methaanproductie en samenstelling van het microbioom op lange termijn, staat nog in de kinderschoenen. Wij hebben 5 studies geïdentificeerd die zich hierop gericht hebben bij jonge herkauwers (schapen, geiten en kalveren) (datum november 2020). Een samenvattend overzicht van deze studies wordt weergegeven in Tabel 1. De methoden waarmee is geprobeerd de methaanproductie te veranderen zijn zeer verschillend, namelijk: de hoeveelheid hooi versus krachtvoer, de hoeveelheid verstrekte melk in het vroege leven, verschillende vetbronnen, alsmede toevoeging van verschillende additieven aan het voer. Ondanks het kleine aantal studies komen de typen van interventies overeen met de interventies die veelal in volwassen melkvee de methaanproductie kunnen beïnvloeden, zoals beschreven in Beauchemin et al. (2020) en Bannink en Dijkstra, (2020). Kort samengevat zijn dit interventies op basis van voer en voerstrategie (bijv. krachtvoerhoeveelheid en het voeren van vetten) en op basis van additieven (klassen 1, 2 en 3 zoals eerder beschreven). De impliciete hypothese is, dat met dezelfde interventies waarmee in volwassen dieren de methaanproductie te verlagen is, ook de ontwikkeling van het pensmicrobioom in het jonge leven van de koe te sturen is richting minder methaanproductie. Omdat het diereigen pensmicrobioom in deze fase nog in ontwikkeling is, zou het kunnen dat een deel van deze verandering blijvend opgenomen wordt in het diereigen microbioom.

Yáñez-Ruiz et al. (2010), Saro et al. (2018) en Tummler et al. (2020) richtten zich vooral op voer en voerstrategie. Alhoewel gedurende de verschillende interventies de methaanproductie leek te verminderen, bleek deze daling niet blijvend na het stoppen van de interventie. De bacteriepopulatie bleek wel blijvend veranderd te zijn, maar dit had geen blijvend effect op de methanogenen.

Abecia et al. (2013) en Meale et al. (2021) gebruiken additieven, respectievelijk bromochloromethaan (BCM) en 3-nitrooxypropanol (3NOP). In Abecia et al. (2013) werden moedergeiten wel (M+) of geen (M-) BCM gevoerd en vervolgens werden de geiten lammeren die uit deze moeders geboren werden ook wel (G+) of geen (G-) BCM gevoerd, waardoor vier behandelingen ontstonden (M- G-, M- G+, M+ G-, M+ G+). De geitjes kregen 4 maanden BCM, waarna 3 maanden later nogmaals de methaanproductie gemeten en het pensmicrobioom geanalyseerd werd. Behandeling van BCM gaf tijdens de behandeling in de lammeren een methaanreductie van 50% voor alle geiten (M+ G+ en M- G+). Op drie maanden na stoppen van BCM werd alleen voor de lammeren waarvan zowel de moeders als de lammeren zelf BCM hadden gehad (M+ G+) nog een 30% lagere methaanproductie gemeten. De lammeren die wel BCM kregen maar de moeder niet, lieten geen methaanreductie zien na het stoppen van de behandeling. Het pensmicrobioom van de lammeren die niet alleen zelf maar waarvan ook de moeders BCM kregen (M+ G+) was op 3 maanden na stoppen verschillend van de andere lammeren, terwijl die van de andere 3 behandelingen aan elkaar gelijk waren (M- G-, M- G+, M+ G-). Dit experiment geeft aan het mogelijk is dat een behandeling een langdurig effect kan hebben, ook nadat deze gestopt is. Wel lijkt er ook een sterke invloed te zijn van het microbioom van de moedergeit op de lange termijn methaanproductie en samenstelling van het microbioom van het geitenjong. In de studie van Meale et al. (2021) is aan kalveren tot 14 weken leeftijd 3NOP gevoerd, waarbij zowel tijdens als na 46 weken na stoppen van de behandeling, methaanproductie werd gemeten en het pensmicrobioom werd geanalyseerd. Tijdens de behandelingsperiode (3 weken; na spenen) werd 10.4% daling in methaanproductie waargenomen voor de kalveren op de 3NOP behandeling t.o.v. niet behandelde kalveren. Dit verschil bleek persistent, er werd namelijk gemiddeld een 11.9% lagere methaanproductie 0 tot 9 weken na het stoppen van de handeling waargenomen, alsmede gemiddeld een 17.5% lagere methaanproductie 43 tot 46 weken na het stoppen van de behandeling. Tevens was er een minder diverse samenstelling van de methanogenen populatie in de pens bij de kalveren die 3NOP in het vroeg leven ontvangen hadden. De aanwezige methanogenen, bacteriën en schimmels in de pens leken een meer onderling afhankelijke samenstelling te hebben bij de 3NOP gevoerde dieren.

Er kan geconcludeerd worden dat er in tegenstelling tot de programmering van het metabolisme (Soberon et al., 2012), zeer weinig literatuur beschikbaar is over de mogelijkheden voor de "programmering" van het microbioom en methaanproductie in het jonge leven. De positieve resultaten die gevonden zijn, zijn behaald met additieven. De mogelijkheden om potentieel in de praktijk toepasbare interventies te ontwikkelen worden besproken bij kennisvraag 5.

**Tabel 1** Overzicht (chronologisch) van publicaties betreffende het effect van interventie in het jonge leven op methaanproductie en het microbioom van het dier in het latere leven.

| Studie                         | Diersoort                     | Beschrijving proef   | Resultaten   |
|--------------------------------|-------------------------------|--|--|
| <b>Yanez-Ruiz et al., 2010</b> | Lammeren<br>/Schapen          | Hooi versus krachtvoer in de 1 <sup>e</sup> 20 weken. Daarna zelfde voer voor 4 maanden.   | Methaan per kg droge stof voeropname sterk anders gedurende behandeling. Na behandeling geen effect meer op archaea of methaanproductie, nog wel op de bacteriepopulatie, indicatie dat microbioom langer te beïnvloeden is.   |
| <b>Abecia et al., 2013</b>     | Geiten en lammeren van geiten | Oudergeiten en geboren geiten wel of niet behandeld met Bromochloro-methane (BCM). Gestopt op 4 maanden, na 3 maanden weer gemeten | Op 3 maanden na stoppen van behandeling nog steeds lagere methaan, bij voeren meer dan 50% lager methaan, echter alleen BCM lammeren waarvan ook moedergeiten BCM gehad hadden bleven 30% lager, met betere groei. Pensmicrobioom blijvend anders, ook veranderde samenstelling archaea.   |
| <b>Saro et al., 2018</b>       | Lammeren                      | Lijnzaad olie en knoflook olie drench voor lammeren tot 10 weken. Ook lijnzaad olie en knoflook olie in het voer voor de moeders   | Methaanproductie werd op 8 weken (gedurende behandeling) in vitro gemeten en op 14 weken (4 weken na stoppen behandeling) in vivo. Treatment verlaagde methaanproductie (in vitro) maar effect was niet blijvend op 4 weken na stoppen treatment zoals in vivo gemeten. Bacterie populatie leek wel blijvend veranderd (op 4 weken na stoppen treatment), maar methanogenen dus niet veranderd. Verschil tussen in vitro op 8 weken en in vivo op 14 weken is een grote zwakte van deze opzet. |
| <b>Meale et al., 2021</b>      | Kalveren                      | 3NOP gevoerd aan kalveren tot 14 weken leeftijd  | Op 46 weken na stoppen van behandeling nog steeds een lagere methaanproductie (11%, hetzelfde als gedurende behandeling lijkt het). Ook een blijvende lagere diversiteit van de archaea samenstelling. Niet zozeer in hoeveelheid micro-organismen.  |
| <b>Tummler et al., 2020</b>    | Kalveren                      | Hoog versus lage hoeveelheid kalvermelkpoeder.   | Tijdens melkperiode had hoog kalvermelkpoeder minder methaan, doordat er minder vast voer opgenomen werd, echter na "spenen" was dit omgekeerd.  |

### 3.4 Indien in het vroege leven het pensmicrobiom gestuurd kan worden richting een lage methaanproductie, kan dit altijd of zijn er specifieke perioden in het leven de koe waarin dit kan?

Het is duidelijk dat een éénmalige interventie op het pensmicrobiom bij de volwassen koe geen blijvend effect heeft. Gezien de stabilisatie van het pensmicrobiom vanaf ongeveer 6 maanden, is het waarschijnlijk dat als er interventies zijn die de samenstelling en het functioneren van het microbiom kunnen beïnvloeden, deze vóór 6 maanden na geboorte van het kalf plaats dienen te vinden. Het lijkt logisch dat dit zo vroeg mogelijk dient te gebeuren (0-20 dagen; Morgavi et al., 2020), echter wellicht zijn er ook tijdens de ontwikkeling van de pens en het gehuisveste pensmicrobiom bij de overgang van melk naar vast voedsel (spenen, 6-12 weken leeftijd) mogelijkheden voor interventie. Op dit moment is dit echter niet duidelijk en moet de beste tijdperiode nog vastgesteld worden (Morgavi et al., 2020). Recente resultaten van Furman et al. (2020) geven aan dat het grootste deel van de micro-organismen die bij het oudere dier aangetroffen worden zich in de eerste twee tot drie weken van het leven bij kolonisatie van de pens gevestigd hebben. Er zijn veel minder micro-organismen in de pens aanwezig die pas na de eerste periode van 3 weken zich in de pens vestigden.

Een unieke situatie voor het net geboren kalf is dat ook de moeder een invloed op de ontwikkeling van het microbiom van het kalf kan hebben.



---

Bij de huidige opfokmethoden wordt het kalf echter kort na geboorte gescheiden van de moeder. Het is een openstaande vraag in hoeverre in deze korte periode er nog een invloed van het microbioom van de moeder is en, in hoeverre een grotere blootstelling aan de moederkoe en haar microbioom, de microbioomontwikkeling in pens van het kalf bepaalt, en of hierop te sturen valt.

### 3.5 Welke mogelijkheden zijn er om in het vroege leven het pensmicrobiom te sturen richting een lage methaanproductie en welke zijn het meest geschikt voor mogelijke toekomstige toepassing onder praktijkomstandigheden?

#### 3.5.1 Voertoepassingen

Uit voorgaande discussie blijkt dat er twee studies zijn die aangeven dat het tijdelijk voeren van een additief tijdens de ontwikkeling van het microbiom in het vroege leven van de herkauwer, langdurige effecten had op de methaanproductie en het pensmicrobiom (Albecia et al., 2013; Meale et al., 2021). In deze studies werden 3NOP en BCM als additieven toegepast bij jonge dieren, welke ook bij oudere dieren een zeer directe en sterke remming van het methanogenese proces geven. In twee andere studies (Yanez-Ruiz et al., 2010; Saro et al., 2018), één met een verschil in krachtvoer-ruwvoer verhouding en één met toevoeging van specifieke vetten, werden alleen langdurige effecten op de pensbacteriën gerapporteerd, maar niet op de methaanproductie zelf. Deze interventies hebben ook bij het oudere dier een lagere potentie (krachtvoer-ruwvoer verhouding) of een meer variabel effect (vetten) op methaanproductie dan beschreven is voor voornoemde additieven. Wegens gebrek aan onderzoek bij specifiek het jonge kalf, schatten wij in dat de potentie van de verschillende interventies om bij tijdelijke toepassing tijdens het jonge leven een langdurig effect op methaanproductie te veroorzaken hetzelfde is al voor oudere dieren. Dus het wordt ingeschat dat ook in het jonge dier het gebruik additieven een grotere potentie heeft dan het veranderen van de krachtvoer-ruwvoer verhouding of vettoevoeging. De gelijke potentie in het jonge dier en oude dier zal niet voor alle interventies kloppen. Er zijn interventies te bedenken, zoals het inbrengen van gewenste micro-organismen in de pens (inoculatie) die waarschijnlijk bij oudere dieren niet werken (zie eerder, pensmicrobiom oudere leeftijd niet langdurig aan te passen), maar mogelijk wel bij jongere dieren. Op basis van deze aanname geeft tabel 2 de evaluatie van de mogelijke maatregelen om methaanproductie te verlagen en de ontwikkeling van het pensmicrobiom van kalveren in het vroege leven te sturen richting een langdurig lagere methaanproductie. Deze evaluatie is gebaseerd op Beauchemin et al. (2020) en Bannink en Dijkstra (2020), aangevuld met resultaten uit de literatuur weergegeven in Tabel 1. De maatregelen zijn onderverdeeld in de categorieën voer en voerstrategie, additieven en jongvee specifieke maatregelen. Met het aantal '+' tekens is aangegeven wat de geschatte effectiviteit, de onderbouwing van de effectiviteit en de toepasbaarheid bij jonge kalveren is. De verwachte effectiviteit is gebaseerd op de effectiviteit van de toepassing bij volwassen dieren, voor zover deze bekend is.

De maatregelen met betrekking tot voer- en voerstrategie, meer specifiek de krachtvoerhoeveelheid (en samenstelling), de toepassing van vetten in het rantsoen en de verbetering van de ruwvoerverteerbaarheid hebben een goede wetenschappelijke onderbouwing. De inschatting is dat elk van deze effecten apart een relatief lage effectiviteit hebben in de range van 5-10% reductie per maatregel. Voor toepassing in melkvee zouden deze maatregelen additief kunnen zijn zodat ze tot een aanzienlijke methaan reductie zouden kunnen leiden. Echter, de toepassingsmogelijkheden vooral in het vroege leven van kalveren zijn laag, aangezien kalveren in het begin van hun leven vooral (kunst)melk drinken en de hoeveelheid krachtvoer en ruwvoer beperkt is. Voor interventies in het jonge leven van het kalf lijken de maatregelen voor voer en voersamenstelling minder geschikt, vooral omdat deze maatregelen minder toepasbaar zijn in de eerste levensweken met nog niet gespeende dieren.

In de groep additieven is er een groot verschil in effectiviteit en wetenschappelijke onderbouwing van de effectiviteit om methaan te reduceren. Nitraat, 3NOP, BES en chloroform hebben de hoogste effectiviteit en de beste onderbouwing. Voor de andere genoemde additieven is dit minder duidelijk.

---

Chloroform en BES zijn, afhankelijk van de dosering, mogelijk toxisch en krijgen daarom nu geen prioriteit in de toepassing in kalveren. Hetzelfde geldt voor nitraat: ondanks dat het product een goed onderbouwd methaan reducerend effect bij de volwassen melkkoe heeft, is op dit moment over de toepassing en veilige dosering bij jongvee minder bekend. Het additief 3NOP is reeds bij jongvee getest en heeft mogelijk langdurige effecten op de reductie van de methaanproductie (Meale et al., 2021).

Naast de additieven zijn er 3 andere maatregelen die specifiek op jongvee toepasbaar zijn: (1) het aanpassen van de melkhoeveelheid bij jonge kalveren, (2) interventies bij de moeder en (3) inoculatie met micro-organismen in het jonge leven. Interventies in de melkgift zijn onderzocht bij kalveren, echter hierbij is veelal naar de groei van de kalveren en de latere melkproductie van het kalf, als koe, gekeken. Het effect op methaanproductie is niet onderzocht. In principe kan een hogere melkproductie als volwassen koe op een indirecte wijze tot een lagere methaanproductie per kg melk leiden. Wanneer op nationale schaal de melkproductie dan gelijk blijft zorgt dat voor een lagere nationale methaanemissie. Voor het sturen in de ontwikkeling van het pensmicrobioom lijken er op dit moment nog niet veel aanwijzingen te liggen dat deze maatregel succesvol zou kunnen zijn.

Het is mogelijk dat tijdens en rondom afkalven de moeder haar (pens)microbioom overbrengt op het kalf. Het is gezien het geboorteproces en het drooglikken van het kalf door de koe na geboorte goed denkbaar dat een interventie bij de moeder ook een effect op het pasgeboren kalf kan hebben. Deze maatregel ligt in dezelfde lijn als het inoculeren van kalveren met een specifiek microbioom.

### 3.5.2 Inoculatie microbioom

Inoculatie van de pens met een extern microbioom heeft bij het oudere dier vrij weinig en bovendien geen persistent effect, aangezien, zoals hierboven beschreven, bij het oudere dier de oorspronkelijke samenstelling van het pensmicrobioom stand houdt. De vergelijking van de (tijdelijke) effectiviteit in het oudere dier met een reeds ontwikkelde pens en pensmicrobioom en de effectiviteit in het jongere dier met een pens in ontwikkeling gaat bij inoculatie daarom niet op. Er zijn in de literatuur geen experimenten beschreven waarbij men heeft geprobeerd de pens van het jonge dier te inoculeren met een specifiek laag methaan producerend microbioom. Wel zijn er experimenten beschreven waarbij door inoculatie met penssap van oudere dieren geprobeerd is de pens ontwikkeling bij jonge dieren te verbeteren/versnellen. Het idee om jonge dieren met pensinhoud van oudere dieren te inoculeren is al meer dan 70 jaar oud. De auteurs Pouden en Hibbs hebben in een serie van vroege studies (Pouden en Hibbs 1948a; 1948b; 1949) beschreven dat met pensinhoud geïnoculeerde dieren sneller een microbioom ontwikkelden wat leek op met hooi gevoerde oudere dieren en dat een hoog aandeel graan in het rantsoen deze snelle ontwikkeling remde. Het betrof hier vooral de hoeveelheid pens protozoën en bacteriën die met de microscopische technieken van toen te tellen waren. Dit onderzoek bevestigt het beeld dat het mogelijk is dieren een lange tijd zonder of met veel minder pensprotozoën te laten opgroeien. Meer recent bevestigde Cersosimo et al. (2019) dat dieren die geautoclaveerd penssap toegediend kregen, zonder protozoën, ook vrij van protozoën bleven. Echter de samenstelling van bacteriën was niet verschillend voor dieren die wel of geen bacterie verrijkt geautoclaveerd penssap kregen. Ook bleef de bacterie samenstelling van de kalveren maar erg kort vergelijkbaar met die van het toegediende inoculum. Dit beeld wordt versterkt door resultaten van Bu et al. (2020) die geen correlatie lieten zien tussen de samenstelling van het pensmicrobioom van geïnoculeerde kalveren en het donor inoculum. Inoculatie had geen effect op de groeikenmerken van de kalveren. Het enige positieve effect dat gerapporteerd werd was een verminderde incidentie van diarree bij de kalveren. Er zijn aanwijzingen dat een kortdurende interventie met 3NOP op jonge leeftijd ook effecten kan hebben op latere leeftijd, zowel wat betreft methaanproductie als pensmicrobioom. Daarom is er mogelijk ook perspectief voor het op een andere wijze sturen van het pensmicrobioom. Mogelijk heeft inoculatie op jonge leeftijd vergelijkbare, langdurige effecten en de potentie om het pensmicrobioom op lange termijn te sturen richting een lage methaanproductie. Furman et al. (2020) laat zien dat een groot deel van de micro-organismen die in de pens van een volwassen koe aanwezig zijn de eerste 2-3 weken van het leven van het kalf in de pens verschijnen.

Wellicht dat het op jonge leeftijd (tijdens de eerste 2-3 weken) inoculeren van kalveren met een inoculum van pensinhoud van volwassen dieren met een lage methaanproductie de ontwikkeling van het pensmicrobioom in het jonge dier ook in dezelfde richting van een lage methaanproductie kan sturen.

## 4 Conclusies

Op basis van de literatuur lijken er verschillende interessante maatregelen voorhanden te zijn om toe te passen in het jonge leven (de eerste levensweken) van het kalf waarmee de ontwikkeling van de pens en het aanwezige microbiom zodanig te sturen is dat de dieren een langdurig lagere methaanproductie houden. Toepassing van een additief, zoals 3NOP, lijkt hier een mogelijkheid maar zou verder onderzocht moeten worden. Ook inoculatie van een specifiek laag methaanproductie microbiom van volwassen dieren heeft wellicht potentie om de ontwikkeling van de pens met haar microbiom gericht te sturen maar is nog nooit onderzocht.

**Tabel 2** Prioriteiten voor het onderzoek voor interventies in het jonge leven van kalveren met potentiële effecten op de ontwikkeling van het microbiom en de methaanproductie op de lange termijn.

| Onderwerp                           | Maatregel                       |                                  |                            |                         | Opmerkingen   |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|---|
|                                     |                                 | Effectiviteit (volwassen dieren) | Onderbouwing effectiviteit | Toepasbaarheid kalveren |   |
| <b>Voer en voerstrategie</b>        | Krachtvoer hoeveelheid          | +                                | +++                        | +                       | Opname afhankelijk van melkschema   |
|                                     | Vetten                          | +                                | +++                        | 0                       | Toepasbaarheid bij kalf niet duidelijk  |
|                                     | Ruwvoer verteerbaarheid         | +                                | +++                        | 0                       | Jonge kalf eet weinig ruwvoer   |
| <b>Additieven</b>                   | Nitraat                         | ++                               | +++                        | ++                      | Mogelijk lastig toe te passen door toxiciteit   |
|                                     | 3NOP                            | +++                              | +++                        | +++                     | Nog niet in de markt verkrijgbaar, moet via DSM   |
|                                     | BES                             | +++                              | +++                        | 0                       | Geen prioriteit, meer basis onderzoek naar veilige dosis nodig.                                     |
|                                     | Choloroform                     | +++                              | +++                        | 0                       | Geen prioriteit, meer basis onderzoek naar veilige dosis nodig.                                     |
|                                     | Agolin                          | +/0                              | +                          | +                       | Aanpassing van pens waarschijnlijk.   |
|                                     | Mootral                         | +/0                              | +                          | +                       | Aanpassing van pens waarschijnlijk.   |
|                                     | Plant extracten                 | +/0                              | +                          | +                       | Extracten hebben mogelijk geen constante samenstelling wanneer ze direct uit planten komen.         |
| <b>Specifiek jongvee Inoculatie</b> | Melkhoeveelheid                 | + ?                              | n.v.t.                     | +++                     | Toepasbaarheid is hoog, maar verwachte effect op ontwikkeling microbiom is laag.                    |
|                                     | Inoculatie met micro-organismen | ?                                | geen                       | +++                     | Niet veel over bekend, maar toepassing bij kalveren zou mogelijk moeten zijn. Wellicht goede optie. |
|                                     | Interventie moeders             | ?                                | geen                       | ++                      | Mogelijk optie, maar transmissie van moeder naar kalf is niet duidelijk. Erg indirecte methode.     |

0/+/++/+++ Op basis van 'expertkennis' ingeschatte: 1) effectiviteit van methaan reductie (0 geen effectiviteit tot +++ hoogste effectiviteit (30-50% reductie); 2) onderbouwing van het effect (+ lage onderbouwing, ++ matige onderbouwing +++ goede onderbouwing) en 3) ingeschatte toepasbaarheid in de praktijk (0, geen toepasbaarheid, + lage toepasbaarheid, +++ hoge toepasbaarheid).

?: onbekend

---

# Literatuur

- Abecia, L., Martín-García, A.I., Martínez, G., Newbold, C.J. en D. Yáñez-Ruiz. 2013. Nutritional intervention in early life to manipulate rumen microbial colonization and methane output by kid goats postweaning. *J. Anim. Sci.* 91:4832-4840. doi:10.2527/jas2012-6142.
- Aghakeshmiri, F., Azizzadeh, M., en N. Farzaneh. 2017. Effects of neonatal diarrhea and other conditions on subsequent productive and reproductive performance of heifer calves. *Vet Res Commun.* 41:107-112. doi:10.1007/s11259-017-9678-9.
- Agrimatie 2022. Kleine daling broeikasgassen uit de land- en tuinbouw. <https://agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2279&indicatorID=2024> (bezoekt oktober 2023).
- Alipour, M.J., Jalanka, J., Pessa-Morikawa, T., Kokkonen, T., Satokari, R., Hynönen, U., Livanainen, A. en M. Niku, 2018. The composition of the perinatal intestinal microbiota in cattle. *Sci. Rep.* 8:10437. doi:10.1038/s41598-018-28733-y.
- Baca-González, V., Asensio-Calavia, P., González-Acosta, S., de la Lastra, J.M.P, en A.M. de la Nuez. 2020. Are vaccines the solution for methane emissions from ruminants? A systematic review. *Vaccines.* 8 (3), 460. <https://doi.org/10.3390/vaccines8030460>.
- Bannink, A., van Lingen, H.J., Ellis, J.L., France, J. en J. Dijkstra. 2016. The Contribution of Mathematical Modeling to Understanding Dynamic Aspects of Rumen Metabolism. *Front. Microbiol.* 7:1820. doi: 10.3389/fmicb.2016.01820
- Bannink, A. en J. Dijkstra. 2020. Mogelijkheden van additieven om de methaanproductie in runderen te verlagen. WLR rapport, in voorbereiding.
- Bauman, D. E., J. W. Perfield II, M. J. de Veth, en A. L. Lock. 2003. New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. *Proc. Cornell Nutr. Conf.* pp. 175-189.
- Beauchemin, K.A., Ungerfeld, E.M., Eckard, A.J. en M. Wang. 2020. Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Anim.* 14: s1. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- Berends, H., Vidal, M., Terré, M., Leal, L.N., Martín-Tereso, J. en A. Bach. 2018. Effects of fat inclusion in starter feeds for dairy calves by mixing increasing levels of a high-fat extruded pellet with a conventional highly fermentable pellet. *J. Dairy Sci.* 101:10962-10972. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15116>.
- Berends, H., van Laar, H., Leal, L.N., Gerrits, W.J.J. en J.M.T. Martín-Tereso. 2020. Effects of exchanging lactose for fat in milk replacer on ad libitum feed intake and growth performance in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 103:4275-4287. doi.org/10.3168/jds.2019-17382.
- Bu, D., Zhang, X., Ma, L., Park, T., Wang, L., Wang, M., Xu, J. en Z. Yu. 2020. Repeated Inoculation of Young Calves With Rumen Microbiota Does Not Significantly Modulate the Rumen Prokaryotic Microbiota Consistently but Decreases Diarrhea. *Front. Microbiol.* 11:1403. doi: 10.3389/fmicb.2020.01403.
- CBS, 2020. Meer melkvee, forse toename melkproductie website: [https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2015/44/meer-melkvee-forse-toename-melkproductie#:~:text=Rond%201910%20lag%20de%20jaarlijkse,000%20liter%20melk%20per%20jaar.\(geopend%20nov%202020\)](https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2015/44/meer-melkvee-forse-toename-melkproductie#:~:text=Rond%201910%20lag%20de%20jaarlijkse,000%20liter%20melk%20per%20jaar.(geopend%20nov%202020)).
- Cersosimo, L. M., Radloff, W., en G.I. Zanton. 2019. Microbial inoculum composition and pre-weaned dairy calf age alter the developing rumen microbial environment. *Front. Microbiol.* 10:1651. doi: 10.3389/fmicb.2019.01651.
- Choudhury, P.K., Jena, R., Tomar, S.K. en A.K. Puniya. 2022. Reducing enteric methanogenesis through alternate hydrogen sinks in the rumen. *Methane* 1: 320-341. <https://doi.org/10.3390/methane1040024>
- CRV, 2020. Bedrijven en koeien in cijfers-Nederland: <https://www.cooperatie-crv.nl/downloads/stamboek/bedrijven-en-koeien-in-cijfers/> (geopend nov 2020).
- Czerkawski, J.W., 1969. Methane production in ruminants ad sits significance. In *World Rev. Nutr. Diet.* 11:240-282. doi: 10.1159/000387580.
- Danielsson, R., Dickson, J., Sun, L., Gonda, H., Müller, B., Schnürer, A. en Jan Bertilsson. 2017. Methane production in dairy cows correlates with rumen methanogenic and bacterial community structure. *Front. Microbiol.* 8:226. doi: 10.3389/fmicb.2017.00226.

- Diao, Q., Zhang, R. en T. Fu. 2019. Review of strategies to promote rumen development in calves. *Animals* 2019, 9, 490; doi:10.3390/ani9080490 www.mdpi.
- Difford, G.F., Plichta, D.R., Løvendahl, P., Lassen, J., Noel, S.J., Højberg, O., Wright, A.D.G., Zu, Z., Kristensen, L., Nielsen, H.B., Guldbandsen, B. en G. Sahana. 2018. Host genetics and the rumen microbiome jointly associate with methane emissions in dairy cows. *PLoS Genet* 14(10): e1007580. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007580>.
- Dill-McFarland, K. A., Breaker, J.D. en G. Suen. 2017. Microbial succession in the gastrointestinal tract of dairy cows from 2 weeks to first lactation. *Sci. Rep.* 7:40864. doi: 10.1038/srep40864.
- Dijkstra, J., France, J., Ellis, J.L., Strathe, A.B., Kebreab, E. en A. Bannink. 2013. Production efficiency of ruminants: Feed, Nitrogen and Methane. In: Kebreab, A. (ed). *Sustainable animal agriculture*. CAB International.
- Duin, E.C., Wagner, T., Shima, S., Prakash, D., Cronin, B., Yáñez-Ruiz, D.R., Duval, S., Rumbeli, R., Stemmler, R.T., Thauer, R.K. en M. Kindermann. 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *PNAS* 2016: 6172-6177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600298113>.
- Edwards JE, Forster RJ, Callaghan TM, Dollhofer V, Dagar SS, Cheng Y, Chang J, Kittelmann S, Fliegerova K, Puniya AK, Henske JK, Gilmore SP, O'Malley MA, Griffith GW en H. Smidt. 2017. PCR and omics based techniques to study the diversity, ecology and biology of anaerobic fungi: Insights, challenges and opportunities. *Front. Microbiol.* 8:1657. doi: 10.3389/fmicb.2017.01657.
- Ferwerda-van Zonneveld, R., Bos, B., Plomp, M., van der Gaag, M. en A. Antonis. 2017. Kalversterfte kan minder als zorgvraag kalf centraal staat. Pleidooi voor een hernieuwde blik op kalveropfok. Wageningen livestock research report. <https://edepot.wur.nl/440991>.
- Fukami, T., 2015. Historical contingency in community assembly: integrating niches, species pools, and priority effects. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2015. 46:1–23. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110411-160340.
- Furman, O., Shenhav, L., Sasson, G., Kokou, F., Honig, H., Jacoby, S., Hertz, T., Cordero, O.X., Halperin, E., en I. Mizrahi. 2020. Stochasticity constrained by deterministic effects of diet and age drive rumen microbiome assembly dynamics. *Nat. Com.* 11:1904. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15652-8>.
- Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C. en H. Steinfeld. 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Liv. Sci.* 139: 100-108. doi:10.1016/j.livsci.2011.03.012.
- González-Recio, O., López-Paredes, J., Outahar, L., Charfeddine, N., Ugarte, E., Alenda, R. en J.A. Jiménez-Montero. 2020. Mitigation of greenhouse gases in dairy cattle via genetic selection: 2. Incorporating methane emissions into the breeding goal. *J. Dairy Sci.* 103:7210-7221. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17598>.
- Henderson, G., F. Cox, S. Ganesh, A. Jonker, W. Young, en P. H. Janssen. 2015. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Sci. Rep.* 5:14567. <http://dx.doi.org/10.1038/srep14567>.
- Jami, E., Israel, A., Kotser, A. en I. Mizrahi. 2013. Exploring the bovine rumen bacterial community from birth to adulthood. *The ISME Journal* (2013) 7, 1069–1079. doi:10.1038/ismej.2013.2.
- Jenkins, T.C., 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851-3863. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(93\)77727-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(93)77727-9)
- Jeon, S.J., Cunha, F., Vieira-Neto, A., Bicalho, R.C., Lima, S., Bicalho, M.L. en K.N. Galvão. 2017. Blood as a route of transmission of uterine pathogens from the gut to the uterus in cows. *Microbiome* 5:1-13. DOI 10.1186/s40168-017-0328-9.
- Khan, M.A., Bach, A., Weary, D.M. en M.A.G. von Keyserlingk. 2016. Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 99:885–902. doi.org/10.3168/jds.2015-9975.
- Klop, G., Dijkstra, J., Dieho, K., Hendriks, W.H. en A. Bannink. 2017. Enteric methane production in lactating dairy cows with continuous feeding of essential oils or rotational feeding of essential oils and lauric acid. *J. Dairy Sci.*, 100:3563-3575. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12033>.
- Liu, Y. en W.B. Whatman. 2008. Metabolic, Phylogenetic, and Ecological Diversity of the Methanogenic Archaea. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1125: 171–189. doi: 10.1196/annals.1419.01.
- López-Paredes, J., Goiri, I., Atxaerandio, R., García-Rodríguez, A., Ugarte, E., Jiménez-Montero, J.A., Alenda, R. en O. González-Recio. 2020. Mitigation of greenhouse gases in dairy cattle via genetic selection: 1. Genetic parameters of direct methane using noninvasive methods and proxies of methane. *J. Dairy Sci.* 103:7199-7209. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17597>.

- Manzanilla-Pech, C.I.V., Lovendahl, P., Mansan Gordo, D., Difford, G.F., Pryce, J.E., Schenkel, F., Wegmann, S., Miglior, F., Chud, T.C., Moate, P.J., Williams, S.R.O., Richardson, C.M., Stothard, P., en J. Lassen. 2021. Breeding for reduced methane emission and feed-efficient Holstein cows: An international response. *J. Dairy Sci.*, 104:8983-9001. <https://doi.org/10.3168/jds.2020.19889>.
- Meale, S.J., Leal, L.N., Martín-Tereso, J. en M.A. Steele. 2015. Delayed weaning of Holstein bull calves fed an elevated plane of nutrition impacts feed intake, growth and potential markers of gastrointestinal development. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2019: 268-273. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.008>.
- Meale, S.J., Chaucheyras-Durand, F., Berends, H., Guan, L.L. en M.A. Steele. 2017. From pre- to postweaning: Transformation of the young calf's gastrointestinal tract. *J. Dairy Sci.* 100:5984-5995. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12474>.
- Meale, S.J., Popova, M., Saro, C., Martin, C., Bernard, A., Lagree, M., Yáñez-Ruiz, D.R., Bouda, H., Duval, S. en D.P. Morgavi. 2021. Early life dietary intervention in dairy calves results in a long-term reduction in methane emissions. *Sci Rep.* 11:3003. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82084-9>
- Mollenhorst, H.E., en M.H.A. de Haan. 2021. Analyse kringloopwijzer data 2016-2018. WLR Rapport 1305. <https://doi.org/10.18174/544824>.
- Morgavi, D.P., Popova, M., Yáñez-Ruiz, D., en E. Forano. 2020. Colonization and establishment of the rumen microbiota – opportunities to influence productivity and methane emissions. In: McSweeney, C.S. en R.I. Mackie. *Improving rumen function*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK. <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2020.0067.02>.
- Mourits, M.C.M., Zom, R.L.G, Derks, A.J.J., Evers, A.G., de Haan, M.H.A, Steeneveld, W., en H. Hogeveen. 2013. Jongveeopfok in bedrijfsverband, faalkosten en winstkansen. Wageningen Livestock research, Rapport nr 705.
- Newbold, C.J., de la Fuente, G., Belanche, A., Ramos-Morales, E. en N.R. McEwan. 2015. The role of ciliate protozoa in the rumen. *Front. Microb.* 6:1313. doi: 10.3389/fmicb.2015.01313.
- Nylund, L., Satokari, R., Salminen, S. en W.M. de Vos. 2014. Intestinal microbiota during early life – impact on health and disease. *Proc. Nutr. Soc.* 73, 457–469. doi:10.1017/S0029665114000627.
- NZAGRC, 2019. Annual report 2019. <https://www.nzagrc.org.nz/assets/Publications/NZAGRC-2019-Annual-Report.pdf>.
- Patel, S. en P. Ambalam. 2018. Role of Rumen Protozoa: Metabolic and Fibrolytic. *Adv Biotech & Micro* 0(4): 555793. doi: 10.19080/AIBM.2018.10.555793.
- Patra, A., Park, T., Kim, M. en Z. Yu. 2017. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8:13. doi:10.1186/s40104-017-0145-9.
- Pounden, W. D., en J.W. Hibbs. 1948a. The influence of the ration and rumen inoculation on the establishment of certain microorganisms in the rumens of young calves. *J. Dairy Sci.*, 31: 1041-1050. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(48\)92295-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(48)92295-4).
- Pounden, W. D., en J.W. Hibbs. 1948b. The influence of the ratio of grain to hay in the ration on dairy calves on certain rumen microorganisms. *J. Dairy Sci.* 31: 1051-1054. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(48\)92296-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(48)92296-6)
- Pounden, W. D., en J.W. Hibbs. 1949. The influence of pasture and rumen inoculation on the establishment of certain microorganisms in the rumen of young dairy calves. *J. Dairy Sci.* 32:1025-1031. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(49\)92157-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(49)92157-8).
- Pounden, W. D., en J.W. Hibbs. 1950. The development of calves raised without protozoa and certain other characteristic rumen microorganisms. *J. Dairy Sci.* 33, 639–644. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(50)91948-5.
- Ramayo-Caldas, Y., Zingaretti, L., Popova, M., Estellé, J., Bernard, A., Pons, N., Bellot, P., Mach, N., Rau, A., Roume, H., Perez-Encisco, M., Faverdin, P., Edouard, N., Ehrlich, D., Morgavi, D.P, en G. Renand. 2020. Identification of rumen microbial biomarkers linked to methane emission in Holstein dairy cows. *J Anim Breed Genet.* 137:49-59. doi: 10.1111/jbg.12427.
- Roehe, R., Dewhurst, R.J., Duthie, C.A., Rooke, J.A., McKain, N., Ross, D.W., Hyslop, J.J., Waterhouse, A., Freeman, T.C., Watson, M., en R.J. Wallace. 2016. Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for Low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance. *PLoS Genet* 12: e1005846. doi:10.1371/journal.pgen.1005846.

- Saro, C., Hohenester, U.M., Bernard, M., Lagrée, M., Martin, C., Doreau, M., Boudra, H., Popova, M., en D.P. Morgavi. 2018. Effectiveness of interventions to modulate the rumen microbiota composition and function in pre-ruminant and ruminant lambs. *Front. Microb.* 9: 1273. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01273>.
- Subharat, S., Shu, D., Zheng, T., Buddle, B.M., Kanek, K., Hook, S., Janssen, P.H., en D.N. Wedlock. 2016. Vaccination of sheep with a methanogen protein provides insight into levels of antibody in saliva needed to target ruminal methanogens. *PLoS One* 11, e0159861. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159861>.
- Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R.W. en M.E. Van Amburgh. 2012. Prewaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95:783-793. doi: 10.3168/jds.2011-4391.
- Tamminga, S., Bannink, A., Dijkstra, J. en R. Zom. 2007. Feeding strategies to reduce methane loss in dairy cattle. Animal Sciences Group, Wageningen UR. Report 34.
- Tummler, L.M., Derno, M., Rottgen, V., Vernunft, A., Tuchscherer, A., Wolf, P. en J. Kuhla. 2020. Effects of 2 colostrum and subsequent milk replacer feeding intensities on methane production, rumen development, and performance in young calves. *J. Dairy Sci.* 103:6054-6069. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17875>.
- Ungerfeld, E.M. 2020. Metabolic hydrogen flows in rumen fermentation: principles and possibilities of interventions. *Front. Microbiol.* 11:589. doi: 10.3389/fmicb.2020.00589
- Van Breukelen, A.E., Aldridge, M.N., Veerkamp, R.F., Koning, L., Sebek, L.B. en Y. de Haas. 2023. Heritability and genetic correlations between enteric methane production and concentration recorded by GreenFeed and sniffers on dairy cows. *J. Dairy Sci.* 106:4121-4132. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22735>.
- van Bruggen, C., 2019. Dierlijke mest en mineralen 1990-2018. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-c3126e83-d542-4de9-9e0f-a1c919bb5054/pdf>
- van Bruggen, C. 2023. Dierlijke mest en mineralen 2022. CBS webpublicatie. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2023/dierlijke-mest-en-mineralen-2022>
- van Bruggen, C., Bannink, A., Bleeker, A., Bussink, D.W., van Dooren, H.J.C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Kors, J., Lagerwerk, L.A., Oltmer, K., Ros, M.B.H., van Schijndel, M.W., Schulte-Uebbing, L., Velthof, G.L. en T.C. van der Zee. 2023. Emissies naar de lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021. WOt-technical report 242. DOI 10.18174/629673.
- Van Dijk, W., de Boer, J.A., Schils, R.L.M., de Haan, M.H.A., Mostert, P., Oenema J. en J. Verloop. 2022. Rekenregels van de kringloopwijzer 2022. Rapport WPR-1206. <https://doi.org/10.18174/582185>.
- Van Gastelen, S., Dijkstra, J., Binnendijk, G., Duval, S.M., Heck, J.M.L., Kindermann, M., Zandstra, T. en A. Bannink. 2020. 3-Nitroxipropanol decreases methane emissions and increases hydrogen emissions of early lactation dairy cows, with associated changes in nutrient digestibility and energy metabolism. *J. Dairy Sci.* 130 (9), 8074-8093. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17936>.
- Van Lingen, H.J., Edwards, J.E., Vaidya, J.D., van Gastelen, S., Saccenti, E., van de Bogert, B., Bannink, A., Smidt, H., Plugge, C.M. en J. Dijkstra. 2017. Diurnal dynamics of gaseous and dissolved metabolites and microbiota composition in the bovine rumen. *Front. Microbiol.* 8:425. doi: 10.3389/fmicb.2017.00425.
- Wallace, R.J., Rooke, J.A., McKain, N., Duthie, C.A., Hyslop, J.J., Ross, D.W., Waterhouse, A., Watson, M., en R. Roehe. 2015. The rumen microbial metagenome associated with high methane production in cattle. *BMC Genomics* (2015) 16:839. doi:10.1186/s12864-015-2032-0.
- Wallace, R.J., Sasson, G., Garnsworthy, P.C., Tapio, I., Gregson, E., Bani, P., Huhtanen, P., Bayat, A.R., Strozzi, F., Biscarini, F., Snelling, T.J., Saunders, N., Potterton, S.L., Craigon, J., Minuti, A., Trevisi, E., Callegari, M.L., Cappelli, F.P., Cabezas-Garcia, E.H., Vilkkki, J., Pinares-Patino, C., Fliegerova, K.O., Mrazek, J., Sechovcova, H., Kopečný, J., Bonin, A., Boyer, F., Taberlet, P., Kokou, F., Halperin, E., Williams, J.L., Shingfield, K.J. en I. Mizrahi. 2019. A heritable subset of the core rumen microbiome dictates dairy cow productivity and emissions. *Sci. Adv.* 5, eaav8391. doi:10.1126/sciadv.aav8391.
- Weimer, P. J. 2015. Redundancy, resilience, and host specificity of the ruminal microbiota: implications for engineering improved ruminal fermentations. *Front. Microbiol.* 6:296. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2015.00296>.
- Yáñez-Ruiz, D.R., Macías, B, Pinloche, E. en C.J. Newbold. 2010. The persistence of bacterial and methanogenic archaeal communities residing in the rumen of young lambs. *FEMS microb. Ecol.* 72: 272-278. doi:10.1111/j.1574-6941.2010.00852.x.
- Yáñez-Ruiz, D.R., Abecia, L. en C.J. Newbold. 2015. Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Front. Microb.* 6:1133. doi:10.3389/fmicb.2015.01133.

# Bijlage 1 Overzichtstabel uit het rapport van Bannink en Dijkstra (2020) met additieven die de methaanemissie kunnen verminderen

**Tabel 1** Overzicht van de kenmerken en eigenschappen van de in deze studie besproken additieven voor het verlagen van de methaanvorming in de pens.

| ADDITIEF             | DIRECTE INWERKING OP CoM- REDUCTASE ENZYM COMPLEX VOOR METHANOGENESE  | BIJDRAGE AAN N-EXCRETIE | BIJDRAGE ALS BKG <sup>1</sup> , OF BEÏNVLOEDING ATMOSFEER | INVLOED OP DIER  | GROOTTE & VARIATIE EFFECTIVITEIT METHAANREDUCTIE<br><br>(G METHAAN/KG DS)  |
|----------------------|---|-------------------------|---|--|--|
| NITRAAT              | Nee / zeer gering   | Ja                      | Ja, via N-excretie  | Nee mits enige dagen adaptatie ter voorkoming van methemoglobinemie; mogelijk invloed op voeropnamepatroon en vertering bij te hoge dosering | Zeer effectief ( <i>effect</i> ~ -15%) en relatief weinig variatie in effectiviteit; persistent effect   |
| SULFAAT              | Nee   | Nee                     | Nee   | Te hoge concentraties geeft toxische H <sub>2</sub> S  | Effectief ( <i>effect</i> ~ -8%) en relatief weinig variatie in effectiviteit; geen adaptatie  |
| OVERIGE              | Andere sterk geoxideerde molecuulverbindingen zijn wellicht ook mogelijk. Op dit moment zijn alternatieven bekend die als zout in een stabiele vorm toegevoegd zouden kunnen worden aan het rantsoen. |                         |   |  |  |
| AGOLIN<br>(MENGSEL)  | Nee   | Nee                     | Nee   | Ja, claim op hogere melkproductie en voerefficiëntie   | Adaptatie pensfermentatie waarschijnlijk; onduidelijkheid rondom resterende persistent effect ( <i>mogelijk</i> ~ -5%)   |
| MOOTRAL<br>(MENGSEL) | Nee   | Nee                     | Nee   | Nee / onduidelijk  | Adaptatie pensfermentatie waarschijnlijk; onduidelijkheid rondom persistentie van het effect, en of er wel een effect is ( <i>grootte effect bij melkvee onduidelijk</i> ) |



|  |  |   |  |  |  |
|--|--|---|--|--|--|
| <b>TANNINS</b>                           | Nee  | Juist synergie door verlaging N-vertering | Ja. Verlaagde N-vertering geeft verschuiving van urine naar faeces | Onduidelijk; verlaagde voeropname en vertering mogelijk bij hoge dosering; vele typen tannines bemoeilijken algemene uitspraak | Adaptatie pensfermentatie waarschijnlijk; onduidelijkheid rondom persistent effect ( <i>grootte effect bij melkvee onduidelijk</i> )   |
| <b>OVERIGE METABOLIETEN, OLIËN, E.D.</b> | <b>SECUNDAIRE ETHERISCHE</b><br>Nee  | Nee                                       | Nee  | Nee; bij hoge dosering wel verlaagde voeropname en vertering   | Adaptatie pensfermentatie waarschijnlijk; onduidelijkheid rondom persistent effect ( <i>in algemeen veel onduidelijkheid rondom grootte effect en ontbreken van proeven met melkvee en een goede opzet</i> ) |
|  |  |   |  |  |  |
| <b>3NOP</b>                              | Ja. Selectieve inhibitor door binding aan Ni-enzym methyl-CoM reductase dat de methaan-vormende reactie katalyseert (uitsluitend aanwezig in methanogenen); <u>snelle</u> diffusie van 3NOP door celmembraan     | Nee                                       | Nee  | Nee, wordt snel afgebroken in de pens, alleen bij hoge dosering mogelijk verlaging voeropname                                  | Zeer effectief ( <i>effect ~ -30%</i> ) bij lage dosering; geen adaptatie en persistent effect   |
| <b>BES</b>                               | Ja. Selectieve inhibitor door binding aan Ni-enzym methyl-CoM reductase dat de methaan-vormende reactie katalyseert (uitsluitend aanwezig in methanogenen); <u>geen snelle</u> diffusie van BES door celmembraan | Nee                                       | Nee  | Toxisch vanwege alkylerende werking; bij hoge dosering verlaging voeropname  | Zeer effectief ( <i>effect ~ -30%; vergelijkbaar aan 3NOP</i> ) maar hogere dosering nodig en op korte termijn; persistentie van het effect is onduidelijk en optreden van adaptatie is beschreven.          |
| <b>CHLOROFORM</b>                        | Ja. Remming door interactie met de overdracht van methyl naar methyl-CoM, blokkade van corrinóide enzym en een kleine rol als elektronacceptor   | Nee                                       | Zeer vluchtig; korte levensduur in atmosfeer maar breekt ozon af   | Nee; bij hoge dosering waarschijnlijk voeropname effecten mogelijk; mogelijk toxische effecten en carcinogenen                 | Zeer effectief; er is adaptatie van methanogenen beschreven m.a.g. een niet-persistente reductie van methaan ( <i>grootte van dit effect bij melkvee onduidelijk</i> )                                       |

|  |  |     |   |   |   |
|--|--|-----|---|---|---|
| <b>BROMOFORM</b><br><br><b>(ALS COMPONENT IN ROOD ZEEWIER<sup>2</sup>)</b> | Ja. Remming door interactie met de overdracht van methyl naar methyl-CoM, blokkade van corrinoïde enzym en een kleine rol als elektronaceptor  | Nee | Zeer vluchtig; korte levensduur in atmosfeer maar breekt ozon af;<br><br>Bromide als afbraakproduct bromoform is schadelijk bij hoge concentraties en volledig uitwisselbaar met chloride en treedt dus alle lichaamcellen binnen; bromide wordt uitgescheiden met de urine maar ook de melk.<br><br>Er bestaan stringente gebruiksaanwijzingen voor het gebruik van bromide medicijnen (niet te gebruiken door zwangere en zogende vrouwen). | Nee; bij hoge dosering wel voeropname effecten te verwachten; mogelijk toxische effecten en carcinogeen | Zeer effectief ( <i>effect</i> ~ -30%); geen adaptatie beschreven tot dusver, hoewel de mode-of-action gelijk is aan die van chloroform en het effect persistent lijkt. |
| <b>OVERIGE</b>   | <i>Waarschijnlijk zijn er andere stoffen die een vergelijkbare specifieke werking kunnen hebben en specifiek binden en het MCR enzym inactiveren. Hierboven zijn alleen de meest beschreven en meest actuele addities gegeven.</i> |     |   |   |   |

1: BKG: Broeikasgas.

2: Er zijn duizenden soorten rood zeewier waarvan er nu 2 bekend zijn die bromoform concentreren (Asparagopsis zeewier).

## Bijlage 2 Beknopt chronologisch overzicht van enkele experimenten die de relatie tussen microbiom en methaan emissie bestuderen

| Referentie                  | Dieren/structuur dataset  | Interessante conclusies/bemerkingen   | Geassocieerd met laag methaan   | Geassocieerd met hoog methaan  |
|-----------------------------|---|---|---|--|
| Wallace et al., 2015        | 1 locatie 36 vleeskoeien (Aberdeen Angus*Limosin) dan 8 meest extremen gekozen  | In het algemeen schuiven hele groepen microorganismen tussen de laag en hoog methaan dieren. Enkele voorbeelden weergegeven   | Proteobacteria in algemeen<br>Succinovibrionaceae<br>Megasphaera<br>Veillonellaceae | Methanogenen in algemeen<br>Methanobrevibacter<br>Desulfovibrio<br>Mogibacterium<br>Pyramidobacter |
| Roehe et al., 2016          | 1 locatie, 72 stieren van 2 rassen (aberdeen angus & Limosin) kregen hoog forage of hoog concentrate rantsoen                                   | Verhouding archae bacterien correleert met methaan. Er zijn 20 genen gevonden die sterk correleren. Ook correlatie met voerefficiëntie gevonden, maar met 49 andere genen.          | ratio bacterien   | Hoge archae<br>Hoge aanwezigheid gen voor laatste stap methaan synthese                            |
| Danielsson et al., 2017     | 1 locatie 73 melkkoeien (34 Holstein, 39 Nordic Red) waarvan laag (7), midden(8) en hoog methaan (6) emissie groepen gemaakt, totaal 21 koeien, | Totale relatieve aanwezigheid van archae niet verschillend. Melk productie tussen groepen ook niet verschillend. Propionzuur hoger in laag emissie, boterzuur hoger in hoog emissie | methanobrevibacter ruminantium<br>Succinovibrionaceae<br>Prevotella spp             | methanobrevibacter gottshalkii<br>Prevotella spp   |
| Difford et al., 2018        | 750 Holstein melkkoeien van 5 locaties  | Methaan emissie voor 21% verklaarbaar uit genetica en voor 13 % uit microben, maar lijken onafhankelijk. Methaan emissie gemeten in robot, vervolgens met                           |   |  |
| Ramayo-Caldas et al., 2019. | 1 locatie 65 Holstein melkkoeien  | Er werden 3 verschillende "ruminotypes" microbiom populaties geïdentificeerd  | Succinovibrionaceae<br>Methanosphaera   | Ruminococcaceae<br>Christensenellaceae<br>Lachnospiraceae.   |
| Wallace et al., 2019        | 7 locaties verdeeld over Italië, Finland, United Kingdom en Zweden. 1016 melkkoeien, 816 Holstein 200 Nordic Red                                | Vele correlaties gevonden archaea correleerden niet met methaan, wel het total microbiom. Zeven microorganismen in "core microbiome" gevonden die correleerden met methaan          | Succinovibrionaceae<br>(en nog anderen niet genoemd)                                |  |

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](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

---

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

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

