



# Rapport Handvatten voor Emissiereductie in de Melkgeitenhouderij

Een inventarisatie van broeikasgassen en stikstofexcretie uit de Nederlandse melkgeitenhouderij en hoe deze te verminderen

Bart Bremmer, Axel van Ruitenbeek, Léon Sebek

Openbaar  
Rapport 1579



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



# Handvatten voor Emissiereductie in de Melkgeitenhouderij

Een inventarisatie van broeikasgassen en stikstofexcretie uit de Nederlandse melkgeitenhouderij en hoe deze te verminderen

Bart Bremmer<sup>1</sup>, Axel van Ruitenbeek<sup>2</sup>, Léon Sebek<sup>2</sup>

1 Bart Bremmer Innovatiesocioloog

2 Wageningen UR Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Duurzame voedselvoorziening & -productieketens & Natuur' (projectnummer BO-43-111-080).

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, september 2025

---

Rapport 1579

---

Bremmer, B., A. van Ruitenbeek, L. Sebek, 2025. *Handvatten voor Emissiereductie in de Melkgeitenhouderij; Een inventarisatie van broeikasgassen en stikstofexcretie uit de Nederlandse melkgeitenhouderij en hoe deze te verminderen*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1579.

**Samenvatting NL** De Nederlandse melkgeitenhouderij draagt bij aan emissies van broeikasgassen, ammoniak en fijnstof, maar kennis over de omvang en bronnen is beperkt. Dit rapport brengt bestaande inzichten in kaart en combineert literatuur met praktijkervaring. Gemiddeld stoot een Nederlandse melkgeit 4,3 kg ammoniak en 23,9 kg methaan per dierplaats per jaar uit. De meeste methaanemissie is enterisch. Maatregelen zoals aangepast voer, stalaanpassingen en mestmanagement bieden reductiepotentieel, maar vragen om aanvullend onderzoek en bedrijfsspecifieke afstemming. Heldere doelen, financiële stimulansen en ondersteuning zijn cruciaal voor succesvolle implementatie binnen de sector.

**Summary UK** The Dutch dairy goat sector contributes to greenhouse gas, ammonia, and particulate matter emissions, but knowledge about their sources and magnitudes is limited. This report compiles existing insights from literature and expert input. On average, a Dutch dairy goat emits 4.3 kg of ammonia and 23.9 kg of methane per animal per year, with most methane being enteric. Measures such as dietary changes, barn adjustments, and manure management show potential for emission reduction, but require further research and farm-specific adaptation. Clear reduction targets, financial incentives, and support are essential to encourage adoption of these measures within the dairy goat sector.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/695039> 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, 2025

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 1579

---

# Inhoud

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Samenvatting</b>                                                                 | <b>5</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>                                                                  | <b>7</b>  |
| <b>2 Leeswijzer</b>                                                                 | <b>9</b>  |
| <b>3 Methodiek</b>                                                                  | <b>10</b> |
| <b>4 De Nederlandse melkgeitenhouderij</b>                                          | <b>11</b> |
| 4.1 De potstal als standaard stalsysteem                                            | 11        |
| 4.2 De Nederlandse melkgeitenhouderij in vergelijking met melkgeitenhouderij elders | 12        |
| 4.3 Melkgeiten en niet-productieve dieren                                           | 12        |
| 4.4 Ontwikkelingen in de sector                                                     | 13        |
| <b>5 Emissies uit de melkgeitenhouderij</b>                                         | <b>14</b> |
| 5.1 Ammoniak                                                                        | 14        |
| 5.2 Broeikasgassen                                                                  | 16        |
| 5.2.1 Methaan in de melkgeitenhouderij                                              | 17        |
| 5.2.2 Lachgas in de melkgeitenhouderij                                              | 18        |
| 5.3 Geur en fijnstof                                                                | 19        |
| <b>6 Emissiereductiemaatregelen</b>                                                 | <b>20</b> |
| 6.1 Reductiemogelijkheden via het rantsoen                                          | 20        |
| 6.1.1 Verlagen eiwitgehalte in het rantsoen                                         | 20        |
| 6.1.2 Additieven voor methaanreductie                                               | 22        |
| 6.1.3 Rantsoensamenstelling en voederwaarde optimalisatie                           | 24        |
| 6.2 Vaker afvoeren van mest                                                         | 27        |
| 6.3 Mest emissiearm opslaan en verwerken                                            | 29        |
| 6.3.1 Luchtdicht afdekken van mest                                                  | 29        |
| 6.3.2 Mengen van mest met stro                                                      | 31        |
| 6.3.3 Composteren van mest                                                          | 32        |
| 6.3.4 Koelen van mest                                                               | 34        |
| 6.3.5 Aanzuren van mest                                                             | 35        |
| 6.3.6 Vergisten en productie van biogas                                             | 37        |
| 6.4 Aanpassingen in of aan de stal                                                  | 38        |
| 6.4.1 Meer strooisel                                                                | 38        |
| 6.4.2 Ander strooisel                                                               | 40        |
| 6.4.3 Luchtwassers                                                                  | 41        |
| 6.5 Aanpassingen in de bedrijfsvoering                                              | 43        |
| 6.5.1 Optimaliseren van productie                                                   | 43        |
| 6.5.2 Genetica                                                                      | 44        |
| 6.5.3 Weidegang toepassen                                                           | 45        |
| 6.5.4 Alternatieve systemen                                                         | 46        |
| <b>7 Discussie</b>                                                                  | <b>49</b> |
| 7.1 Effectiviteit van maatregelen                                                   | 49        |
| 7.2 Onzekerheden en kennishiaten                                                    | 50        |
| 7.3 Positie van de melkgeitenhouderij met betrekking tot emissiereductie            | 51        |
| 7.4 Integraliteit van maatregelen                                                   | 52        |
| 7.5 Emissiereductie door het combineren van maatregelen                             | 52        |
| 7.6 Implementatie van maatregelen                                                   | 53        |

---

|                   |                      |           |
|-------------------|----------------------|-----------|
| <b>8</b>          | <b>Conclusies</b>    | <b>55</b> |
| <b>9</b>          | <b>Aanbevelingen</b> | <b>56</b> |
| <b>Literatuur</b> |                      | <b>58</b> |

---

# Samenvatting

De melkgeitenhouderij in Nederland draagt bij aan de emissies van broeikasgassen, ammoniak en fijnstof. In de melkveehouderij, de varkenshouderij en de pluimveehouderij wordt al actief gewerkt aan de reductie van deze emissies en ook de melkgeitenhouderij zal een bijdrage moeten leveren aan emissiereductie. Er is echter nog weinig bekend over de omvang en bronnen van emissies binnen deze sector. Het doel van dit rapport is om de bestaande kennis in kaart te brengen van: (1) de hoogte van verschillende gasvormige emissies in de melkgeitenhouderij (2) de belangrijkste bronnen en mechanismen die verantwoordelijk zijn voor deze emissies en (3) de mogelijkheden om emissies te reduceren.

Het rapport combineert de bevindingen uit literatuuronderzoek en een werksessie waarin de ervaringen en meningen van praktijkexperts opgehaald zijn. Het rapport brengt theoretische en praktische reductiepotentiëlen van maatregelen in kaart, met aandacht voor werkingsmechanismen van de maatregelen en overwegingen bij praktische implementatie.

Onderzoek naar ammoniakemissie in de Nederlandse melkgeitenhouderij is beperkt, maar zou volgens de meest recente studies rond de 4,3 kg ammoniak per dierplaats per jaar liggen. Uit recente metingen op Nederlandse melkgeitenbedrijven blijkt dat de methaanuitstoot ongeveer 23,9 kg methaan per dierplaats per jaar is. Op basis van literatuur en metingen wordt geschat dat minimaal twee derde hiervan enterisch is en maximaal een derde uit de stal komt.

Er is weinig specifiek onderzoek naar emissies en reductiemaatregelen in de melkgeitenhouderij, waardoor inzichten vaak gebaseerd zijn op studies bij varkens en melkvee, die vertaald moeten worden naar geiten in de Nederlandse context. Een combinatie van voermaatregelen, stalmaatregelen en mestmanagement biedt potentie voor aanzienlijke reducties in ammoniak- en methaanemissies, maar de praktische implementatie vraagt om aanvullend onderzoek, afstemming op bedrijfsspecifieke omstandigheden en kostenafwegingen. Duidelijke reductiedoelen, financiële prikkels en ondersteuning zijn belangrijk om te zorgen dat geitenhouders de maatregelen zullen toepassen.





---

# 1 Inleiding

De veehouderij in Nederland draagt bij aan de uitstoot van diverse emissies, zoals broeikasgassen, ammoniak en fijnstof, wat invloed heeft op het klimaat, de natuur en luchtkwaliteit. Ammoniakemissies staan momenteel centraal in de discussie, vanwege de negatieve impact die deze hebben op natuurgebieden. De uitstoot van ammoniak is niet enkel een ecologisch probleem, maar ook juridisch en beleidsmatig. Omdat er meer stikstof uitgestoten wordt dan mag, ontstaan er problemen bij vergunningverlening van boerenbedrijven. Ook bij bouw- en infrastructuurprojecten kan dit tot problemen leiden. Daarnaast veroorzaken broeikasgassen, zoals methaan en koolstofdioxide, klimaatverandering. De veehouderij is een belangrijke uitstoter van broeikasgassen. Op de lange termijn is het terugdringen van deze emissies minstens zo urgent als de aanpak van ammoniak.

In de melkveehouderij, de varkenshouderij en de pluimveehouderij wordt al actief gewerkt aan de reductie van emissies. In deze sectoren worden al resultaten geboekt, met name op het gebied van ammoniakreductie. Daarnaast is er uitgebreide kennis opgebouwd over de belangrijkste bronnen van emissies en de mogelijkheden om deze verder terug te dringen. Ook bij kleinere veehouderijsectoren ligt een opgave. Daar is procentueel vaak minder emissiereductie gerealiseerd en de kennis over mogelijke effectieve maatregelen is beperkt.

Dit rapport beschrijft een verkenning naar emissiereductieopties in de Nederlandse melkgeitenhouderij. De melkgeitenhouderij is een sector die de afgelopen decennia sterk is gegroeid. Het aantal melkgeiten en gespecialiseerde bedrijven is fors toegenomen, met inmiddels bijna 500.000 melkgeiten verspreid over zo'n 400 bedrijven in Nederland (CBS Statline, 2023). Hiermee heeft de melkgeitenhouderij zich ontwikkeld tot een sector van betekenis, ook wat betreft emissies. Ook de melkgeitenhouderij zal een bijdrage moeten leveren aan emissiereductie. Daar is tot nu toe nog nauwelijks iets aan gedaan. Dat is op zich niet verrassend, aangezien er weinig bekend is over de omvang en bronnen van emissies binnen deze sector. Zonder inzicht in de belangrijkste bronnen is het lastig om te bepalen wat effectieve reductiemaatregelen zijn. Vandaar dat de in dit rapport beschreven verkenning is uitgevoerd.

Het doel was om de bestaande kennis in kaart te brengen en een systematische inventarisatie te maken van: (1) de hoogte van verschillende gasvormige emissies in de melkgeitenhouderij (2) de belangrijkste bronnen en mechanismen die verantwoordelijk zijn voor deze emissies en (3) de mogelijkheden om emissies te reduceren. Het gaat hierbij in de eerste plaats om ammoniak-, methaan- en lachgasemissies, maar ook naar fijnstof en geur is kort gekeken. Het gaat om de emissies en emissiereductiemogelijkheden op bedrijfsniveau, waarbij gekeken is naar het voer, het dier, de stal en de mestopslag. Emissies in de rest van de keten (voor en/of na het primaire bedrijf) en emissies bij aanwending van mest zijn niet meegenomen. Deze verkenning moet ertoe bijdragen dat zowel de sector als overheden meer inzicht krijgen in de mogelijkheden om emissies in de melkgeitenhouderij te verlagen. Dit rapport geeft enerzijds een overzicht van de bestaande kennis over emissies en emissiereductiemogelijkheden. Het biedt een basis voor beleids- en bedrijfsafwegingen en brengt tegelijkertijd de belangrijkste kennishiaten in kaart die moeten worden ingevuld om deze afwegingen goed te onderbouwen.



---

## 2 Leeswijzer

Voordat we ingaan op de emissies, de bronnen daarvan en de mogelijkheden voor reductie in de melkgeitenhouderij, geeft **hoofdstuk 3** een beschrijving van de methodiek die we hebben toegepast waarmee we het doel van dit project wilden bereiken.

**Hoofdstuk 4** geeft een uitgebreide introductie van de Nederlandse melkgeitenhouderij, met aandacht voor de omvang van de sector, de belangrijkste kenmerken van Nederlandse geitenbedrijven, de diversiteit binnen de sector en de verschillen met de melkgeitenhouderij in andere delen van de wereld.

**Hoofdstuk 5** behandelt de verschillende emissies die in dit rapport worden besproken: ammoniak, methaan en lachgas. Daarnaast wordt toegelicht waarom deze emissies van belang zijn en gereduceerd moeten worden, welke bijdrage de geitensector levert aan de totale emissies in de veehouderij, hoe de emissies ontstaan, en welke algemene reductieprincipes er bestaan.

**Hoofdstuk 6** gaat dieper in op de verschillende reductiemogelijkheden en benadert deze vanuit een integrale visie. Er wordt aandacht besteed aan de neveneffecten en win-winsituaties van de verschillende reductieopties, evenals aan de praktische haalbaarheid van de voorgestelde maatregelen.

**Hoofdstuk 7** bevat een discussie waarin de voor- en nadelen van verschillende reductiemaatregelen worden afgewogen, met een focus op hun praktische haalbaarheid. Ook worden de versterkende of verzwakkende interacties besproken die kunnen ontstaan bij het combineren van maatregelen.

**Hoofdstuk 8 en 9** sluiten af met conclusies en aanbevelingen. Deze aanbevelingen richten zich op de vervolgstappen die nodig zijn om emissies daadwerkelijk te reduceren, en zijn gericht op beleid, praktijk en verder onderzoek.

---

## 3 Methodiek

In dit rapport wordt gekeken naar de omvang van, en de mogelijkheid om onderstaande emissies in de melkgeitenhouderij te verminderen:

- Ammoniak
- Methaan
- Lachgas

Daarnaast is ook gekeken naar de emissie van fijnstof en geur, maar aangezien de informatie hierover voor de melkgeitenhouderij beperkt is, is er in dit rapport slechts summier aandacht aan besteed. Voor fijnstof en geur worden geen emissie-reducerende maatregelen besproken.

Om reductiemogelijkheden in kaart te brengen is het nodig om te weten:

- (1) Wat het werkingsmechanisme is van een bepaalde maatregel,
- (2) Wat de theoretische reductie is die behaald kan worden met de maatregel,
- (3) Welke overwegingen er zijn bij implementatie om de maatregel succesvol door te voeren,
- (4) Wat in de praktijk het reductiepotentieel van de maatregel voor de Nederlandse melkgeitenhouderij kan zijn.

Om dit alles in kaart te brengen is een **literatuuronderzoek** uitgevoerd. De focus lag hierbij op het primaire melkgeitenbedrijf, waarnaast af en toe gekeken is naar de rest van de keten om de emissies op bedrijfsniveau in een breder perspectief te plaatsen. Het beschikbare materiaal over emissies uit de melkgeitenhouderij bleek echter beperkt, en niet alle informatie is toepasbaar op de Nederlandse situatie. Met betrekking tot de potstal en potstalmest is veel gebruik gemaakt van informatie uit de melkveehouderij en varkenshouderij. In het rapport is steeds benoemd uit welke sector bepaalde bevindingen afkomstig zijn en op veel plekken is besproken hoe deze bevindingen vertaald kunnen worden naar de melkgeitenhouderij; vaak ook welke onzekerheden daarbij komen kijken. Om een beter beeld te krijgen is het literatuuronderzoek aangevuld met uitgebreide gesprekken met experts en geitenhouders. Deze gesprekken zijn primair gebruikt om bevindingen uit de literatuur te verifiëren, om informatie uit andere sectoren te vertalen naar de melkgeitenhouderij en om de praktische implicaties van emissie reducerende maatregelen beter in beeld te brengen. Waar kennis ontbreekt, wordt dit expliciet benoemd in het rapport

Halverwege het project is er een **werksessie** georganiseerd met onderzoekers, geitenhouders en veevoeradviseurs om de theoretische reductie van emissies bij maatregelen te bespreken, de praktische implicaties van maatregelen in kaart te brengen, en een inschatting te maken van het reductiepotentieel in de praktijk van de verschillende maatregelen. Voorafgaand aan de werksessie ontvingen de deelnemers een beschrijving van het project en de doelstelling van de werksessie en een samenvatting van de maatregelen met het theoretische reductiepotentieel. In de werksessie is besproken welke kennis wel en niet concreet bruikbaar is voor emissiereductie, tegen welke knelpunten de melkgeitenhouderij aanloopt bij het reduceren van emissies en wat de belangrijkste vragen zijn die nader onderzocht moeten worden.

---

## 4 De Nederlandse melkgeitenhouderij

Wereldwijd worden er naar schatting zo'n 1 miljard geiten gehouden. Een groot deel van deze geiten wordt gehouden voor de vleesproductie (Mazhangara et al., 2019; Oosting et al., 2022). In Europa zijn zo'n 20 miljoen geiten die voornamelijk worden gehouden voor de geitenmelkproductie, met uitzondering van enkele landen in Europa die op grote schaal geiten houden voor vleesproductie (Ruiz Morales et al., 2019).

De Nederlandse melkgeitenhouderij is volledig gericht op melkproductie. Het vlees dat wordt geproduceerd wordt doorgaans als een bijproduct beschouwd. Geiten worden al eeuwenlang in Nederland gehouden, maar de moderne melkgeitenhouderij zoals we die nu kennen, ontstond pas in de jaren '80 van de vorige eeuw. Toen verkochten veel melkveehouders hun melkquotum en schakelden over op melkgeiten (Van Horne & Sturkenboom, 1985; van Horne & Zaalmink, 1987). Tot de jaren '80 waren er in Nederland slechts zo'n 10.000 geiten, die voornamelijk op kleinschalige, vaak biologische bedrijven werden gehouden (Berkhout et al., 2022). In 2000 waren er bijna 100.000 melkgeiten; in 2010 250.000. Inmiddels zijn er zo'n 475.000 melkgeiten in Nederland, die gezamenlijk zo'n 440 miljoen kilo geitenmelk per jaar produceren (CBS Statline, 2023).

Van de 433 gespecialiseerde melkgeitenbedrijven in Nederland zijn er meer dan 70 biologisch, die samen ongeveer 8% van de geitenmelk produceren (Berkhout et al., 2022). Biologische geitenbedrijven houden doorgaans minder dieren dan gangbare bedrijven, maar net als op reguliere geitenbedrijven worden biologische geiten in een potstal gehouden. Waar geiten op reguliere bedrijven doorgaans permanent binnen verblijven, kunnen biologische geiten gemiddeld 5-6 maanden per jaar 6-8 uur per dag buiten lopen (Plomp & Migchels, 2021). Het rantsoen op biologische bedrijven bevat vaak aanzienlijk minder krachtvoer (Bikker et al., 2019). Tot slot zijn er in de geitensector veel zelfzuivelaars, die vaak 100-200 melkgeiten houden.

### 4.1 De potstal als standaard stalsysteem

Geitenbedrijven in Nederland maken vrijwel allemaal gebruik van een potstal (Opsteegh et al., 2018 komen op basis van een uitgebreide steekproef op 97%). De geiten verblijven in grote groepen – vaak honderden dieren – in een open ruimte die is bedekt met stro. Hier brengen de dieren de hele dag door, met uitzondering van het melken, wat in een aparte ruimte gebeurt. De geiten mesten en urineren op de bodem van de potstal, waarbij mest en urine zich ophopen. Om de geiten schoon te houden, wordt er regelmatig vers stro gestrooid, meestal eenmaal per dag. Door de constante toevoeging van mest en stro wordt de oppervlakte waar de geiten op lopen steeds hoger en de pot steeds dieper. Uiteindelijk wordt de pot uitgemest, waarna het proces van het opbouwen van de pot opnieuw begint. Op de meeste bedrijven wordt dit uitmesten enkele keren per jaar uitgevoerd (Schuiling, 2000).

In de basis zijn alle potstallen hetzelfde. Verschillen zijn er vooral in:

- Het type strooisel: meestal is dit tarwestro, maar er worden ook andere absorberende strooisels gebruikt (vaak in combinatie met stro), zoals vlas, hooi of zaagsel (Opsteegh et al., 2018).
- De oppervlakte per dier in de stal: in de reguliere sector is dit minimaal 1,3 m<sup>2</sup> per melkgeit; in de biologische sector 1,5 m<sup>2</sup> per melkgeit. In de praktijk kan de oppervlakte per dier afwijken.
- Open geitenstallen die natuurlijk geventileerd worden komen het meest voor, maar er zijn ook mechanisch geventileerde geitenstallen met luchtwassers (Ellen et al., 2010).
- De frequentie van uitmesten van de stal: meestal gebeurt dit 1 tot 4 keer per jaar, maar op sommige bedrijven gebeurt dit vaker (Opsteegh et al., 2018; Schuiling, 2000)

Wanneer de potstal wordt uitgemest, komt de mest op een hoop buiten te liggen. Om ontwikkeling van de Q-koortsbacterie tegen te gaan moet geitenmest in Nederland eerst minimaal 1 maand verplicht afgedekt worden met een luchtdoorlatend doek.

---

Dit om compostering en daarmee warmteontwikkeling te stimuleren wat de bacterie zou moeten doden. Direct afvoeren naar een erkend composteerbedrijf is ook toegestaan<sup>1</sup>. Omdat het niet alle maanden van het jaar toegestaan is mest uit te rijden en omdat het tijdstip van mest uitrijden moet passen binnen de totale bedrijfsvoering, ligt geitenmest vaak langer dan een maand buiten.

## 4.2 De Nederlandse melkgeitenhouderij in vergelijking met melkgeitenhouderij elders

Wereldwijd worden geiten vaak gehouden als onderdeel van zelfvoorzienende voedselproductie en kleinschalige productiesystemen die gericht zijn op de lokale markt (Mataveia et al., 2021; Udo et al., 2011). In Nederland daarentegen richt het grootste deel van de melkgeitenhouderij zich op de zuivelproductie, voornamelijk voor de nationale en internationale markt, met name voor de productie van geitenkaas (Rol & van den Hurk, 2020). De Nederlandse melkgeitenhouderij heeft zich geprofessionaliseerd en gespecialiseerd in het produceren van melk van hoge kwaliteit en in het produceren van grote volumes. Hierin wijkt de geitenmelkproductie in Nederland fundamenteel af van die in veel andere landen, ook binnen Europa.

In vergelijking tot andere landen worden Nederlandse geiten doorgaans intensief gehouden, in veel gevallen zonder beweiding. Nederlandse melkgeitenbedrijven hebben ook relatief weinig grond per aanwezige melkgeit: gemiddeld 20 hectare voor 1000 melkgeiten. Sommige bedrijven beschikken zelfs helemaal niet over cultuurgrond (Bondt et al., 2022). Elders in de wereld worden geiten met name gehouden om biomassa van lage kwaliteit om te zetten in eiwitrijk voedsel voor de mens (Dubeuf et al., 2004). In Nederland ligt de focus op de melkproductie en om die te optimaliseren wordt veel krachtvoer gevoerd (Bikker et al., 2019). Als gevolg hiervan realiseert Nederland de hoogste melkproductie per geit ter wereld. Deze ligt op ruim 1000 kilo per geit per jaar, terwijl het wereldwijde gemiddelde op 90 kilo per geit per jaar ligt (Skapetas & Bampidis, 2016). Hoewel de productievolumes van Nederlandse bedrijven ook elders gerealiseerd worden – bijvoorbeeld in Nieuw-Zeeland (Robertson et al., 2015) – hebben veel westerse landen een productie die lager ligt; vaak tussen de 400 en 800 kilo per geit per jaar. De meest gebruikte geit in Nederland is de witte Saanen geit, die groter en zwaarder is dan veel andere rassen. Saanen geiten wegen zo'n 75 kilo (Van Bruggen & Gosseling, 2019) en zijn in staat om hogere melkproducties te realiseren dan andere geitenrassen. Andere regelmatig gebruikte rassen voor melkproductie zijn Alpine geiten en Nubische geiten, die ook in staat zijn om veel melk te produceren (Weaver, 2021).

Bedrijven die de meeste overeenkomsten vertonen met de Nederlandse bedrijven qua intensiteit, omvang en productieomstandigheden bevinden zich vooral in Noord-Amerika, Australië, Nieuw-Zeeland en sommige Europese landen (Opio et al., 2013; Zobel et al., 2019). In veel landen waar geiten (grotendeels) binnen worden gehouden, worden ze net als in Nederland in strooiselstallen gehouden (Anzuino et al., 2010; Sailer et al., 2021; Zobel et al., 2019).

## 4.3 Melkgeiten en niet-productieve dieren

Naast melkgeiten worden er op Nederlandse geitenbedrijven opfokgeiten gehouden die worden grootgebracht om later melkgeit te worden. De opfokgeiten in Nederland lammeren voor de eerste keer op een leeftijd van ongeveer één jaar, waarna ze in productie worden genomen. In bijvoorbeeld Nieuw-Zeeland beginnen opfokgeiten pas na 2 jaar met melk produceren (Robertson et al., 2015). Melkgeiten gaan gemiddeld zo'n 4 jaar mee, wat betekent dat er voor elke melkgeit 0,25 opfokgeit is. Wanneer bedrijven groeien, zullen er meer opfokdieren worden aangehouden.

Bijna alle boklammeren blijven op het bedrijf van herkomst tot ze naar de slacht gaan. De meeste boklammeren worden op een leeftijd van ongeveer 2 weken geslacht voor de petfood-industrie, of opgefokt tot zuiglam van ongeveer 4 weken oud voor de Zuid-Europese markt (LTO & NGZO, 2017; Meijer et al., 2021).

---

<sup>1</sup> <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/q-koorts/maatregelen>

Een klein percentage van de boklammeren (minder dan 5%) wordt langer aangehouden, tussen de 2 en 5 maanden, en vervolgens afgezet op de Nederlandse markt. De sector richt zich erop om in de nabije toekomst het merendeel van de boklammeren en niet aangehouden vrouwelijke lammeren af te zetten op de Zuid-Europese markt of ze op een andere manier geschikt te maken voor humane consumptie. In het ketenkwaliteitssysteem 'Kwaliteit' zijn richtlijnen opgenomen die geitenhouders verplichten om boklammeren niet eerder te slachten dan een leeftijd van 14 dagen, het moment dat ze een leeftijd hebben bereikt waarop ze geschikt zijn voor humane consumptie (NGZO, 2024).

Per volwassen melkgeit worden er op dit moment 1,2 lammeren per jaar geboren in Nederland (Van Bruggen & Gosseling, 2019). Dit is veel lager dan voorheen – in 1990 was dit nog 2,3 lammeren per melkgeit – en ook lager dan het aantal lammeren per melkgeit in andere landen. In Nieuw-Zeeland worden gemiddeld 2,1 lammeren per melkgeit geboren (Robertson et al., 2015). Dit komt doordat er in Nederland op meer dan 70% van de bedrijven aan duurmelken wordt gedaan (Bikker et al., 2019; in de steekproef van Opsteegh et al., 2018 onder 175 bedrijven deed zelfs 94% aan duurmelken). Duurmelken houdt in dat geiten meerdere jaren gemolken worden zonder tussendoor opnieuw te lammeren (Schuiling, 2007).

Op de meeste bedrijven wordt ook een klein aantal bokken aangehouden voor reproductie, doorgaans ongeveer 3 per 100 melkgeiten (Vermeij et al., 2023). Bokken zijn groter en zwaarder (90 kilo versus 75 kilo) dan melkgeiten (Van Bruggen & Gosseling, 2019).

**Tabel 1** Gemiddelde verhouding diercategorieën (per 100 melkgeiten) op jaarbasis.

| Diercategorie                  | Dieren (per 100 melkgeiten) |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Melkgeiten                     | 100                         |
| Aantal geboren lammeren        | 120                         |
| Waarvan aangehouden voor opfok | 25                          |
| Volwassen bokken               | 3                           |

#### 4.4 Ontwikkelingen in de sector

Voor ammoniak en methaan geldt dat er een forse reductieopgave ligt die grotendeels door de veehouderij gerealiseerd moet worden, aangezien de Nederlandse veehouderij de grootste bron van deze emissies is. Gemiddeld moet de ammoniakuitstoot in Nederland in 2035 gehalveerd worden in vergelijking met de uitstoot in 2019 (LNV, 2022), waarbij de opgave in de nabijheid van Natura 2000-gebieden groter is. Voor methaan moet de uitstoot in 2030 30% lager zijn dan in 2020 (Nationale methaanstrategie, 2022). Tot op heden is er weinig specifiek beleid voor de melkgeitenhouderij. Lange tijd was de melkgeitenhouderij een kleine sector die in de luwte opereerde van de grotere sectoren. Inmiddels heeft de melkgeitenhouderij echter een aanzienlijke groei doorgemaakt, wat heeft geleid tot meer aandacht voor deze sector. Ook de melkgeitenhouderij zal een bijdrage moeten leveren aan de reductie van emissies.

De melkgeitenhouderij is een relatief jonge sector met veel ondernemerschap en innovatiekracht. De sector lijkt dan ook bereid om proactief aan duurzaamheidsissues te werken (Beldman et al., 2021; Platform Melkgeitenhouderij, 2019). Op specifieke thema's, zoals de uitval en gezondheid van jonge dieren wordt collectief actie ondernomen (LTO & NGZO, 2017). Op het gebied van emissiereductie gebeurt er echter nog weinig. Dit lijkt deels te worden verklaard door de beperkte beleidsaandacht en het gebrek aan kennis over emissies en emissiereductiemogelijkheden in deze sector. In het sectorplan uit 2021 wordt voornamelijk ingezet op het verminderen van energie- en brandstofverbruik (Beldman et al., 2021). Dit betreft echter slechts een klein deel van de totale emissies van de veehouderij (Hammingh et al., 2024). Toch zijn er wel enige ontwikkelingen gaande om ammoniakemissie in de melkgeitenhouderij te verminderen. Er zijn geitenhouders die, met hulp van een Sbv-subsidie, werken aan de ontwikkeling van alternatieve stalsystemen, met als doel een lagere ammoniakuitstoot (Dijck et al., 2022). In de ketenvisie van 2024 wordt benoemd dat de sector inzet op zowel innovatieve stalsystemen als op managementmaatregelen (Platform Melkgeitenhouderij, 2024). Ook wordt in de visie benoemd dat stalsystemen met én zonder stro onderzocht moeten worden op de hoogte van emissies.

## 5 Emissies uit de melkgeitenhouderij

### 5.1 Ammoniak

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ontstaat vooral uit ureum in urine en gemineraliseerde stikstof in mest (samen TAN: Totaal Ammoniakaal N). Ureum wordt omgezet naar ammonium en vervolgens naar ammoniak, wanneer het in contact komt met het enzym urease afkomstig uit feces of de bodem. De omzetting van ureum naar ammoniak verloopt snel, meestal binnen enkele uren na uitscheiding van urine. Volgens Groenestein et al. (2011) kan ammoniakemissie worden beperkt door:

- De ureumconcentratie in urine te verlagen
- Ammoniumvorming uit ureum te remmen
- De omzetting van ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) naar ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) te remmen
- De overgang van ammoniak in de mest naar de lucht te beperken
- Ammoniak uit de stallucht te wassen

Naast ammoniakvorming bij de omzetting van ureum-N, kan ammoniak ook ontstaan door compostering. Micro-organismen breken stikstofhoudende organische verbindingen, zoals eiwitten, af. Daarbij komt ammonium vrij dat kan worden omgezet in ammoniak; dit proces is onder meer afhankelijk van de temperatuur en de pH-waarde (Starmans et al., 2002). In drijfmest komt normaal gesproken geen compostering voor; door de eigenschappen van potstalmest ontstaat daar vaak wel compostering en dus een extra bron van ammoniak. Dit kan niet alleen voorkomen in de potstal, maar ook bij de opslag van potstalmest.

Er zijn enkele onderzoeken naar ammoniakemissie in de Nederlandse melkgeitenhouderij uitgevoerd (Tabel 2). Bij drie van deze onderzoeken zijn metingen uitgevoerd bij slechts 1 of 2 bedrijven, maar ze geven wel een redelijk consistent beeld. De meest recente studie (Mosquera et al., 2025) rapporteert een emissie van 4,3 kg ammoniak per dierplaats per jaar, op basis van jaarronde metingen van twee jaar op vijf bedrijven. Deze bevindingen zijn vergelijkbaar met metingen van Huis in 't Veld et al. (2002), die een gemiddelde uitstoot van 3,8 kg ammoniak per dierplaats per jaar vonden (5,4 kg in de zomer en 2,1 in de winter). Beurskens et al. (2004) en Aarnink et al. (2014) rapporteren lagere emissies van respectievelijk 2,9 kg en 2,3 kg ammoniak per dierplaats per jaar, maar hun resultaten zijn beïnvloed door respectievelijk koude meetomstandigheden en een onderschatting van het ventilatiedebiet. Ammoniakmetingen in geitenstallen buiten Nederland zijn niet gevonden. In het Besluit Activiteiten Leefomgeving (voorheen Regeling ammoniak en veehouderij – Rav) wordt een ammoniakemissiefactor bij gangbare melkgeitenstallen gehanteerd van 1,9 kg ammoniak per dierplaats per jaar (Omgevingsregeling, 2024). RVO heeft deze waarde voor de Sbv subsidieregeling – in lijn met de genoemde onderzoeken – vastgesteld op 3,4 kg ammoniak per dierplaats per jaar (RVO, 2021).

**Tabel 2**      Overzicht van studies naar ammoniakemissie uit geitenstallen.

| Studie                      | Emissie (kg ammoniak/d/j) | Bijzonderheden                          |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Mosquera et al., 2025       | 4,3                       |                                         |
| Aarnink et al., 2014        | 2,1                       | Onderschatting van het ventilatiedebiet |
| Beurskens et al. 2004       | 2,9                       | Gemeten onder koude omstandigheden      |
| Huis in 't Veld et al. 2002 | 3,8                       |                                         |

Omdat er geen metingen zijn van ammoniakemissies bij geiten in andere stalsystemen dan potstallen, is onbekend wat ammoniak-emissies zijn voor alternatieve huisvestingssystemen van melkgeiten. Bij andere diersoorten zijn wel vergelijkingen gemaakt tussen potstallen en andere stalsystemen, maar de uitkomsten zijn niet eenduidig. Studies bij melkkoeien vinden 1,5 tot 2 keer hogere ammoniakuitstoot bij potstallen (Mosquera et al., 2005; Mosquera et al., 2006; Webb et al., 2012).



---

Sommige studies bij varkens rapporteren een lagere uitstoot (Groenestein et al., 2006; Groenestein & Van Faassen, 1996), terwijl andere juist 1,5 keer hogere uitstoot rapporteren (Philippe et al., 2007). Sutton et al. (2015) stellen dat het resultaat afhankelijk is van management en de omstandigheden. Recente reviews (Mollenhorst et al., 2020; Pijlman et al., 2018) concluderen echter dat potstallen meestal meer ammoniak uitstoten dan alternatieve systemen. Dit wordt ondersteund door onderzoek naar de totale stikstofbalans van diepstrooiselsystemen. Geconstateerd wordt dat 40% van de stikstof verliezen via emissies ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ), tegenover slechts 10% bij drijfmestssystemen (Bikker et al., 2019). Bij vaste mest gaat 17-23% van de stikstof verloren als ammoniak, terwijl dit bij drijfmest slechts 2-10% is (Brusselman et al., 2016; Nicholson et al., 2002).

Ammoniakemissie bij potstallen wordt vaak alleen in de stal gemeten, terwijl opslag en uitrijden vergelijkbare emissies veroorzaken. Vaste mest stoot meer ammoniak uit dan drijfmest, mede door de moeilijkheid van emissiearme opslag en afdekking. Ook bij uitrijden kunnen de emissies hoger zijn (Pijlman et al., 2018).

### **Factoren en mechanismen die de ammoniakemissie beïnvloeden**

De relatie tussen het rantsoen van geiten en ammoniakemissies hangt sterk samen met de samenstelling van het voer en hoe dit door de dieren wordt verteerd. Eén van de belangrijkste factoren hierbij is het eiwitgehalte van het rantsoen (Dijkstra et al., 2011). Wanneer het rantsoen een hoog eiwitgehalte bevat, kan dit leiden tot een overmaat aan opgenomen en geabsorbeerd stikstof, waarvan het overtollige geabsorbeerde eiwit wordt omgezet in ureum en via de urine wordt uitgescheiden (Broderick, 2003). Dit ureum kan vervolgens worden omgezet in ammoniak.

Naast het eiwitgehalte speelt ook de kwaliteit van eiwit en het type eiwit dat gevoerd wordt een cruciale rol (Kebreab et al., 2001). Het type eiwit en de verhouding van essentiële aminozuren in het rantsoen bepalen hoe efficiënt stikstof door het lichaam wordt benut. Hoogwaardige eiwitbronnen met een goede aminozuurbalans kunnen voor een efficiëntere stikstofbenutting zorgen, wat resulteert in minder stikstofverlies. Een andere belangrijke factor is de balans tussen energie en eiwit in het rantsoen (Dijkstra et al., 2011). De energie-inname moet in balans zijn met de eiwitinname, zodat het gevoerde eiwit optimaal kan worden benut voor melkproductie of groei en het dier minder stikstof uitscheidt via de urine. Door het rantsoen zorgvuldig af te stemmen, kan niet alleen de ammoniakemissie worden verlaagd, maar kunnen ook de kosten worden verminderd en de gezondheid en productiviteit van de geiten worden verbeterd.

In potstallen komen feces en urine samen, waardoor ureum in de urine omgezet kan worden in ammonium als gevolg van contact van ureum in urine met urease enzymen in de feces, en vervolgens in ammoniak. Een soortgelijk proces vindt ook plaats in stallen met roostervloeren zonder strooisel waar feces en urine bij elkaar komen (de combinatie van feces en urine zonder strooisel wordt drijfmest genoemd). Er zijn echter belangrijke verschillen tussen potstallen met vaste mest en systemen met drijfmest. In de eerste plaats onderscheiden potstallen zich doordat de mest vaak lange tijd in de stal blijft. Doordat de mest niet afgedekt is of zich onder een rooster bevindt, is de luchtsnelheid in de stal gelijk met de luchtsnelheid boven de mest. De luchtsnelheid in de stal is doorgaans veel hoger dan in een mestput bij drijfmest, en bij een hogere luchtsnelheid vervluchtigt er meer ammoniak (Mosquera et al., 2005). Andere belangrijke verschillen worden veroorzaakt door de aanwezigheid van stro. Het emitterend oppervlak in potstallen is groter door de losse structuur van stromest, wat de uitstoot bevordert (Pijlman et al., 2018). Tegelijkertijd kan stro in de potstal helpen ammoniak te reduceren, door mest af te dekken. Dit beperkt de luchtstroom langs de mest, waardoor er fors minder ammoniak vervluchtigt. Ook absorbeert stro vocht, dus ook urine, waardoor ureum-N minder in contact kan komen met urease (Sutton et al., 2015). Bovendien kan door de hoge C:N-verhouding, die het gevolg is van de aanwezigheid van stro, mineraal stikstof zoals ureum organisch gebonden worden, waardoor er minder stikstof beschikbaar is voor de omzetting naar ammoniak (Blanes-Vidal et al., 2008; Gilhespy et al., 2009). De BEX en Kringloopwijzer (KLW) houden bij hun berekeningen rekening met omzetting naar organische stikstof.

Door de aanwezigheid van stro (of ander strooisel) kan ook compostering plaatsvinden in de potstal; iets wat niet het geval is in drijfmestssystemen. Bij compostering wordt organisch materiaal, voornamelijk door aerobe bacteriën, omgezet in  $\text{CO}_2$ , water, ammoniak en warmte.

Afhankelijk van hoe snel de compostering op gang komt, kunnen temperaturen in de stromest ontstaan variërend van 15 tot 80 graden Celsius (Melse et al., 2010). Het composteringsproces produceert niet alleen direct ammoniak, maar draagt door de warmteproductie ook bij aan de versnelling van andere processen waarbij ammoniak en andere gassen vrijkomen. Ook kan compostering de pH-waarde van de stromest verhogen (Webb et al., 2012), waardoor het evenwicht tussen ammonium en ammoniak verschuift in de richting van ammoniak. Overigens vindt bij compostering ook organische binding van stikstof plaats en een aanzienlijk deel van de stikstof kan emitteren als het voor het milieu onschadelijke distikstof (N<sub>2</sub>) (Ellen et al., 2007; Groenestein & Van Faassen, 1996). Deze beide processen beperken de ammoniakuitstoot.

Een belangrijk aspect dat variatie in emissiecijfers van potstallen kan verklaren is de temperatuur in de stal. Hoe warmer het is, hoe sneller omzettingsprocessen verlopen. Een goed geïsoleerde potstal is minder gevoelig voor opwarming en zal minder uitstoten dan een vergelijkbare potstal die niet of minder goed geïsoleerd is; vooral dakisolatie is belangrijk (Pijlman et al., 2018). Dit verklaart ook waarom de ammoniak metingen van Beurskens et al. (2004) – die in de winter hebben plaatsgevonden – lager uitvielen dan andere ammoniak metingen van Nederlandse melkgeitenstallen (zie ook Powell et al., 2008). Ook bij Huis in 't Veld et al. (2002) zijn de emissies in de zomer een stuk hoger dan in de winter – bij Mosquera et al. (2025) is dit verschil minder duidelijk zichtbaar.

Ook de compactheid van het stromestpakket kan een groot verschil maken voor de emissie van ammoniak (Chadwick, 2005). Mest die zich onder in de pot bevindt staat niet in verbinding met lucht in de stal, waardoor er geen ammoniak vervluchtigt. Bij koeien in potstallen is de ammoniakuitstoot relatief laag in vergelijking met andere stallen. Koeien zijn zwaar, waardoor het stromestpakket voortdurend wordt samengeperst (Pijlman et al., 2018). Bij varkens is dit anders, doordat zij lichter zijn en ander gedrag vertonen. Varkens wroeten en zijn speels, wat bijdraagt aan de 'losheid' van stro en stromest. Dat leidt tot een groter emitterend oppervlak (Pijlman et al., 2018). Wat het effect is van het gewicht en het gedrag van geiten (speels en exploratief, maar zonder wroeten) wordt in de literatuur niet besproken.

De hoeveelheid oppervlakte die de dieren hebben is ook van belang. Een grotere oppervlakte per dier resulteert in een groter emitterend oppervlak; tenminste wanneer overal gemest en geürineerd wordt. Wanneer er weidegang wordt toegepast leidt dat tot een lagere ammoniak uitstoot, doordat de totale hoeveelheid feces en urine in de stal afneemt. De feces en urine die in de wei vallen, komen weinig met elkaar in aanraking, en de urine wordt direct door de bodem geabsorbeerd; de ammoniakemissie is daar erg laag.

Het geheel overziend is er in een potstal een groot scala aan factoren die van invloed zijn op de ammoniakemissie. Dit maakt dat de verschillen in emissieniveaus tussen potstallen, maar ook binnen één enkele stal (op verschillende plekken en tijdstippen) groot kunnen zijn. De veelheid aan factoren en hun onderlinge verbondenheid verklaren waarschijnlijk waarom vergelijkingen tussen potstallen en andere stalsystemen uiteenlopende uitkomsten laten zien.

## 5.2 Broeikasgassen

Klimaatverandering door de toename van de uitstoot van broeikasgassen heeft negatieve gevolgen voor onze leefomgeving. Om dit tegen te gaan moet de uitstoot van broeikasgassen drastisch worden verminderd. In het Klimaatakkoord<sup>2</sup> zijn reductiedoelen vastgesteld, waarbij Nederland zich heeft verplicht de uitstoot in 2030 met 49% te verlagen ten opzichte van 1990, en in de Greendeal is dat een ambitie van 55% (SER, 2021). De veehouderij is wereldwijd verantwoordelijk voor zo'n 12% van de broeikasgasemissies (landgebruiksverandering niet meegerekend; FAO, 2023). Voor methaan moet de uitstoot in 2030 30% lager zijn dan in 2020 (Nationale methaanstrategie, 2022). De klimaatimpact van landbouw moet in de gehele productieketen worden bekeken, niet alleen op het primaire bedrijf. In de intensieve melkgeitenhouderij, waar veel voer van buiten het bedrijf komt, draagt voerproductie voor 35% bij aan de klimaatimpact, terwijl dit wereldwijd slechts 12% is (Opio et al., 2013). Hoewel de nadruk in dit rapport ligt op het primaire bedrijf, is het belangrijk ook de keten te betrekken.

<sup>2</sup> [www.klimaatakkoord.nl/klimaatakkoord](http://www.klimaatakkoord.nl/klimaatakkoord)

---

Over alle sectoren heen draagt koolstofdioxide het meest bij aan het versterkte broeikaseffect, maar in de landbouw moet er naar drie gassen gekeken worden: koolstofdioxide, methaan en lachgas. In 2022 werd de totale klimaatimpact door de landbouw in Nederland voor 53% veroorzaakt door methaan, 18% door lachgas en 29% door koolstofdioxide (landgebruiksverandering niet meegerekend; PBL et al., 2022a; van der Net et al., 2024). De CO<sub>2</sub>-uitstoot van dieren maakt onderdeel uit van de korte koolstofkringloop. De koolstof die dieren uitstoten is afkomstig van planten, die deze koolstof recent uit de lucht hebben opgenomen. Netto voegt dit dus geen CO<sub>2</sub> toe aan de atmosfeer. Echter, CO<sub>2</sub> die vrijkomt door transport, energieverbruik en landgebruiksverandering (zoals ontbossing) voegt wel CO<sub>2</sub> toe aan de atmosfeer. Op het bedrijf zelf wordt er alleen CO<sub>2</sub> uitgestoten door het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit gaat vaak om slechts enkele procenten van de totale klimaatimpact op bedrijfsniveau.

Methaan is een krachtiger broeikasgas (27 keer sterker) dan CO<sub>2</sub>. Methaan verdwijnt na enkele decennia uit de atmosfeer, het wordt dan omgezet in CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> en lachgas blijven daarentegen respectievelijk duizenden en honderden jaren in de atmosfeer. De methaanstrategie is daarom cruciaal om op korte termijn (bijvoorbeeld 2050), broeikasgasreductie te bereiken, omdat zonder methaanreductie de opwarming van de aarde niet beperkt blijft tot 1,5 à 2,0 graden Celsius. Van de totale Nederlandse broeikasgasemissie uit de landbouw bestaat 53% uit methaan (PBL et al., 2022b). Daarmee is methaan het belangrijkste broeikasgas in de Nederlandse landbouw.

Methaan komt voornamelijk vrij wanneer organische stof onder zuurstofloze omstandigheden door methanogene micro-organismen wordt afgebroken. Dit is een proces van anaerobe fermentatie. In de veehouderij vindt dit plaats in het maagdarmkanaal, vooral in de pens bij herkauwers. Vandaar dat koeien, schapen en geiten veel meer methaan uitstoten dan bijvoorbeeld varkens of mensen. Ook vindt methanogenese plaats in (opgeslagen) mest: methanogene micro-organismen breken organisch materiaal in de mest af waarbij methaan wordt gevormd. Methaan in de mestopslag ontstaat vooral in vloeibare en compacte omstandigheden van mest. Methaanproductie wordt onder meer beïnvloed door temperatuur en zuurgraad, en ook de aanwezigheid van makkelijk verteerbaar organisch materiaal is belangrijk voor het ontstaan van methaan (Groenestein, 2006; Pijlman et al., 2018).

Lachgas (N<sub>2</sub>O) is niet alleen een sterk broeikasgas (273 keer sterker dan CO<sub>2</sub>), maar draagt ook bij aan de afbraak van de ozonlaag. Lachgas ontstaat tijdens nitrificatie en denitrificatie, vooral op het grensvlak tussen aerobe en anaerobe omstandigheden (Pijlman et al., 2018). Bij lage zuurstofconcentraties wordt ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) niet volledig omgezet naar nitriet (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), maar naar lachgas. Als nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) wordt gebruikt als zuurstofbron onder suboptimale anaërobe omstandigheden, ontstaat ook lachgas. Volledig zuurstofloze condities leiden voornamelijk tot N<sub>2</sub>-emissie (Sliter & Velthof, 2021).

### 5.2.1 Methaan in de melkgeitenhouderij

Vanwege een gebrek aan gegevens over broeikasgasuitstoot van geiten in Nederland, worden in officiële rapportages zoals het National Inventory Report (Ruyssenaars et al., 2021; van der Net et al., 2023) uitgegaan van standaardwaardes van de IPCC (2006). De IPCC baseert zich hierbij op (Crutzen et al., 1986) en (Pandey, 1980) die onderzoek hebben gedaan naar Indiase geiten, die gebruikt worden voor de productie van melk, vlees en huiden. Hoewel het moeilijk precies vast te stellen is om welke geiten het gaat en onder welke omstandigheden ze gehouden werden, lijkt het er sterk op dat dit weinig overeenkomt met de situatie in de Nederlandse melkgeitenhouderij.

Uit recente metingen aan vijf melkgeitenbedrijven in Nederland blijkt dat de totale methaanuitstoot (uit het dier én uit de mest) 23,9 kg methaan per dierplaats per jaar is (Mosquera et al., 2025). Dat is bijna vijf keer hoger dan de IPCC-waarden (5,13 kg methaan per dierplaats per jaar), wat zou betekenen dat de melkgeitenhouderij verantwoordelijk is voor 2,3% van de Nederlandse uitstoot, in plaats van 0,5% (van der Net et al., 2023). Methaanuitstoot is afhankelijk van een groot aantal factoren waardoor de hoogte van de emissie erg variabel kan zijn (Groenestein et al., 2016). Wel lijken de metingen redelijk in lijn te zijn met de bevindingen van (Vermorel et al., 2008) die op basis van metingen uitkomen op 14,3 kg enterisch methaan per dierplaats per jaar (zonder methaan uit mest) bij dieren met een gewicht van 65 kilo en een productie

---

van 650 kilo melk per jaar. Ook (Robertson et al., 2015) komen – deels voortbouwend op Lassey (2012) – bij Nieuw-Zeelandse geiten fors hoger uit dan de emissies van het IPCC.

De hogere methaanemissie in de Nederlandse situatie ten opzichte van de standaardwaarden van de IPCC laat zich niet alleen verklaren doordat de geiten groter en zwaarder zijn dan elders in de wereld. Ook het feit dat ze in een potstal lopen maakt dat de methaanemissie hoger is. Onder in de pot is door urine en inklinking geen zuurstof aanwezig, terwijl stro fungeert als de ideale brandstof voor methanogene micro-organismen. Potstallen lijken dan ook een hogere methaanemissie te geven dan andere typen melkgeitenhouderijsystemen (Robertson et al., 2015).

De verdeling van de totale methaanuitstoot tussen enterisch methaan en methaan uit mest op het melkgeitenbedrijf is moeilijk vast te stellen. Bij Nederlandse melkkoeien wordt aangenomen dat 75-80% enterisch is en 20-25% uit mest komt, maar voor geiten is dit onduidelijk. Wereldwijd is de verhouding voor kleine herkauwers ongeveer 90% enterisch en 10% uit mest (Opio et al., 2013), maar dit geldt vooral voor geiten die veel buiten lopen. In Nederland zorgt het langdurige verblijf van mest in potstallen waarschijnlijk voor een grotere bijdrage van methaanproductie uit mest. Er zijn een paar onderzoeken waarbij enterische methaan uitstoot bij melkgevende geiten in klimaatkamers is onderzocht (Romero et al., 2020; Fernandez et al., 2021; Rapetti et al., 2021; Bartelli et al., 2024). In deze onderzoeken ligt de enterische methaanemissie voor geiten van 45-67 kg met 2,6-3,4 kg melk per dag rond de 16,0 á 21,9 kg per dier per jaar. Als we aannemen dat de totale methaanuitstoot 23,9 kg per dierplaats per jaar bedraagt (Mosquera et al., 2025), betekent dit dat grofweg 67-92% van de methaanuitstoot uit de Nederlandse melkgeitenhouderij afkomstig is van enterische emissies, terwijl 8-33% toe te schrijven is aan emissies vanuit de stal. De voor deze berekening gebruikte onderzoeken zijn uitgevoerd bij melkgeiten, maar niet met de in Nederland veelgebruikte Saanen-geit van rond de 75 kg. De methaanuitstoot kan bij Nederlandse melkgeiten daarom anders uitvallen.

Ervan uitgaande dat de vijf melkgeitenbedrijven die door Mosquera et al. (2025) onderzocht zijn representatief zijn voor de hele melkgeitensector, is de totale methaanuitstoot per liter melk in de melkgeitenhouderij grofweg ongeveer 1,5 keer hoger dan in bij melkkoeien (Schep et al., 2022). Als we de methaanuitstoot uit Mosquera et al., (2025) echter naast de mondiale cijfers leggen, dan blijkt de Nederlandse melkgeitenhouderij het juist heel erg goed te doen qua methaanuitstoot. Opio et al. (2013) rapporteren 5,2 CO<sub>2</sub>-eq per kilo melk waarvan een kleine 60% bestaat uit methaan, wat neerkomt op 3,12 kilo CO<sub>2</sub>-eq aan methaan per kilo melk, terwijl dat in Nederland slechts 0,78 CO<sub>2</sub>-eq per kilo melk is afkomstig uit methaan. Dit verschil wordt veroorzaakt door verschillen in productieniveaus. Studies in zowel Frankrijk (Kanyarushoki et al., 2008) als in Nieuw-Zeeland (Robertson et al., 2015) komen voor geiten uit op een totale CO<sub>2</sub> footprint (cfp) die voor geiten per kg melk iets hoger is (10-20%) dan bij koeien in dezelfde regio.

### 5.2.2 Lachgas in de melkgeitenhouderij

Diepstrooiselstallen bevorderen lachgasvorming door de afwisseling van aerobe en anaerobe omstandigheden, waardoor verwacht wordt dat lachgasemissies in potstallen hoger zijn dan in drijfmeststallen (Pijlman et al., 2018; Webb et al., 2012). Volgens Vonk et al. (2023) bedraagt het N-verlies in potstallen via lachgas 1% van het totaal. Bij varkens en melkvee is het N-verlies via lachgas bij drijfmest 0,2% en bij vaste mest 0,5% van het totaal (Oenema et al., 2000).

Mosquera et al. (2025) hebben een gemiddelde lachgasuitstoot van 45 gram lachgas per dierplaats per jaar gemeten (13,4 kg CO<sub>2</sub>-eq). Deze hoeveelheid is gering vergeleken met de bijdrage uit methaanemissie van 884 kg CO<sub>2</sub>-eq. Aarnink et al. (2014) rapporteren hogere lachgas waarden (126 gram per dierplaats per jaar), ondanks een onderschatting van het ventilatiedebiet. Maar ook op basis van die studie kan geconcludeerd worden dat de lachgasemissie nauwelijks een rol speelt in de totale klimaatimpact van de melkgeitenhouderij.

Dit betekent niet dat lachgas helemaal geen rol speelt in de potstal. Lachgas is moeilijk te meten en de emissie kan sterk fluctueren. De metingen van lachgasemissies moeten daarom als minder betrouwbaar worden gezien dan de metingen van ammoniak en methaan. Bij metingen van Almeida et al. (2022) bij

---

potstallen met koeien was de lachgasemissie erg laag; vergelijkbaar met Mosquera et al. (2025). Echter in de mesthoop ontstond een grote piek in de emissie van lachgas; waarschijnlijk als gevolg van regenwater.

Ook kan de lachgasemissie door het aanpassen van onder meer strooiselmateriaal sterk veranderen. Onderzoek van Cabaraux et al. (2009) lijkt erop te duiden dat bij het gebruik van zaagsel als strooisel de lachgasemissie enorm veel hoger is dan bij stro.

Al met al lijkt lachgas als broeikasgas uit de potstal bij geiten minder van belang dan methaan. Toch moet er wel aandacht voor zijn, omdat de lachgasemissie fors kan stijgen (of dalen) afhankelijk van emissiereducerende maatregelen zoals strooiselkeuze.

## 5.3 Geur en fijnstof

Geur wordt gemeten in Europese Odour Units (OUe) die het aantal geureenheden per volume-eenheid lucht aangeven. Meestal zijn deze door middel van een menselijk geurpanel vastgesteld. Huis in 't Veld et al. (2002) stellen geuremissies vast voor de melkgeitenhouderij van 18,2 OUe en 18,3 OUe per dierplaats per jaar in respectievelijk de zomer en de winter. Dit lijkt redelijk in lijn te zijn met onderzoek van Beurskens et al. (2004) waarin een geuremissie van 19,5 OUe wordt gevonden, maar niet met bevindingen van Aarnink et al. (2014) die uitkomen op 13,4 OUe per dierplaats per jaar. Behalve deze laatste, lijken de bevindingen vrij hoog in vergelijking met andere diersoorten aangezien zowel in de wetenschappelijke literatuur als in de media geen meldingen gevonden zijn van overlast door geur van geitenbedrijven in Nederland. Het lijkt erop dat melkgeitenhouderij over het algemeen weinig geurhinder veroorzaakt; vergelijkbaar met de melkveehouderij (Geelen et al., 2015; Stouthart, 2018). Geur is in de uitwerking van emissiereductieopties niet meegenomen. De belangrijkste reden hiervoor is dat de informatie over geur uit de melkgeitenhouderij erg summier is.

Hetzelfde geldt voor de uitstoot van fijnstof. Aarnink et al. (2014) meten een fijnstofemissie van 47 gram PM10 per dierplaats per jaar. Daarbij geven zij aan dat er pieken in de fijnstofemissie kunnen ontstaan van het instrooien van de stal en bij verhoogde activiteiten van de dieren. Verder is er nauwelijks informatie over fijnstof uit de melkgeitenhouderij. Wel blijkt uit onderzoek zien dat endotoxinen en fijnstof een rol kunnen spelen in een verhoogde kans op longontsteking bij mensen die in de buurt van geitenbedrijven wonen (de Rooij et al., 2019; Hagenaars et al., 2017; Van der Giessen et al., 2024). Een causaal verband is echter niet aangetoond. Vanwege de beperkte informatie is de emissie van fijnstof niet meegenomen in de inventarisatie van emissiereductiemaatregelen.

## 6 Emissiereductiemaatregelen

### 6.1 Reductiemogelijkheden via het rantsoen

In het verleden was veel voedingsonderzoek gericht op melkgeiten die (veel) minder productief zijn dan Nederlandse melkgeiten en die veelal in extensieve omstandigheden werden gehouden. Deze studies hebben daarom slechts een geringe waarde voor de Nederlandse situatie. In dit hoofdstuk is daarom veel gebruik gemaakt van onderzoek dat uitgevoerd is bij melkvee.

Ammoniakreductie via het rantsoen kan worden bereikt door maatregelen die de stikstofefficiëntie verbeteren, zoals het verminderen van de stikstofopname (door het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het voer) en het verhogen van de benuttingsgraad van het gevoerde eiwit (Kebreab et al., 2001). Deze aanpassingen zorgen ervoor dat minder stikstof via urine en mest wordt uitgescheiden, wat direct bijdraagt aan het verminderen van ammoniakemissie.

Methaanreductie via het rantsoen kan worden bereikt door het toevoegen van additieven die de methaanproductie in de pens beïnvloeden (Bannink & Dijkstra, 2023). Daarnaast zijn de samenstelling van het rantsoen en de voerstrategie belangrijke factoren die de pensfermentatie en daarmee de enterische methaanemissies bepalen (Joblin, 1999; Martin et al., 2010).

Lachgasemissies kunnen via dezelfde principes als ammoniak via het rantsoen worden verminderd door het verlagen van de stikstofopname via het voer en het verbeteren van de stikstofefficiëntie in het dier (Dijkstra et al., 2013). Hierdoor wordt minder stikstof uitgescheiden, wat de vorming van lachgas beperkt.

#### 6.1.1 Verlagen eiwitgehalte in het rantsoen

| Verlagen ruw eiwitgehalte in het rantsoen |                                |
|-------------------------------------------|--------------------------------|
| Ammoniak                                  | +++                            |
| Methaan                                   | --/+                           |
| Lachgas                                   | ++                             |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren    | Neutraal                       |
| Praktijkrijpheid                          | Hoog                           |
| Verandering bedrijfsvoering               | Situatie afhankelijk           |
| Kosten                                    | Laag, mogelijk kostenbesparend |

#### Werkingsmechanisme

Van de stikstof in het rantsoen wordt ongeveer 25% door melkkoeien benut voor melkproductie en groei (Calsamiglia et al., 2010), terwijl de overige 75% in de mest en urine wordt uitgescheiden. Door de eiwitbenutting te verhogen komt er minder stikstof in de vorm van ureum in urine terecht. Dit verlaagt de ammoniakemissies aanzienlijk, omdat stikstof in urine de belangrijkste bron is voor ammoniakvorming. Voedingsstrategieën om de ammoniakuitstoot te verlagen hebben als doel de eiwitbenutting van geabsorbeerd eiwit uit het rantsoen te verhogen en zo de uitscheiding van ureum via de urine te verlagen, het liefst zonder productieverliezen. Ureum in urine is afkomstig van de oxidatie van onbenut eiwit uit darm-geabsorbeerde voereiwit en ammoniak gevormd in de pens als gevolg van microbiële fermentatie van voereiwit dat vervolgens wordt geabsorbeerd in het bloed en vervolgens door de lever wordt omgezet in ureum. Herkauwers hebben het vermogen om ureum dat via het bloed naar de pens wordt getransporteerd te recycleren en te gebruiken om het om te zetten in microbiële eiwit (Kristensen et al., 2010). De hoeveelheid gerecycled ureum hangt voornamelijk af van de stikstofopname en de hoeveelheid organische stof die in de pens wordt verteerd (Batista et al., 2017).

---

De belangrijkste rantsoenmaatregelen om de stikstofuitscheiding via de urine te verminderen is het verlagen van het eiwitgehalte in het rantsoen waardoor er minder ammoniak gevormd wordt in de pens wat resulteert in een verlaagde absorptie van ammoniak in het bloed, vorming van ureum in de lever en uitscheiding van ureum in de urine (Dijkstra et al., 2011).

Onderzoek bij melkkoeien door o.a. Külling et al. (2001) en Broderick (2003) laat zien dat een lager ruw eiwitgehalte in het voer de stikstofefficiëntie verbetert en daarmee ook de stikstofuitscheiding via urine vermindert. Ook bij geiten wordt een correlatie gevonden tussen het ruw eiwitgehalte in het rantsoen en de stikstofuitscheiding via de urine (Rapetti et al., 2014). Afstemming van de eiwitgehalten in het rantsoen op het productiepotentieel van dieren kan over het algemeen leiden tot lagere eiwitgehalten zonder dat dit negatieve gevolgen heeft voor melkproductie. Law et al. (2009) melden bijvoorbeeld dat rantsoenen met een hoog eiwitgehalte (173 g RE/kg DS) de prestaties van melkvee in de vroege lactatie verbeteren, maar eiwitgehalten konden worden verlaagd tot 144 g/kg DS zonder de prestaties in de tweede helft van de lactatie te beïnvloeden.

Dijkstra et al. (2013) concludeerden in een literatuurstudie dat naast ammoniak ook lachgas-emissies uit urine en mest in stallen worden beïnvloed door het ruw eiwitgehalte in het dieet. Lachgas wordt voornamelijk gevormd als bijproduct van verhoogde microbiële stikstofomzetting, ammoniumoxidatie en onvolledige denitrificatie in de mest (Butterbach-Bahl et al., 2013).

### **Theoretische reductie**

In de melkveesector is veel onderzoek gedaan naar de effecten van het eiwitgehalte in het voer op de ammoniakemissie, ook onder Nederlandse omstandigheden. Een vuistregel die vaak wordt gehanteerd bij melkvee is dat een verlaging van 1 gram ruw eiwit per kilogram droge stof in het rantsoen resulteert in 1% minder ammoniakemissie. Een recent onderzoek dat de relatie tussen het ruw eiwitgehalte en de ammoniakemissies onderzocht vond bij een verlaging van 169g RE/kg DS naar 115g RE/kg DS een ammoniakreductie van ongeveer 46% (Schrade et al., 2023). Deze verlaging ging overigens wel gepaard met een verminderde voeropname en melkproductie. Het verlagen van ruw eiwitgehalte in het rantsoen leidde in dit onderzoek gelijktijdig tot een 20% lagere lachgas vorming.

Tegelijkertijd is er een correlatie aangetoond tussen een lagere stikstofuitscheiding en een hogere methaanemissie (Dijkstra et al., 2010). Dit is echter afhankelijk van de methode die wordt gebruikt om het eiwitgehalte te verlagen. Zo leidt het minder bemesten van grasland veelal tot een verminderde N-uitscheiding met verhoogde methaanemissies, terwijl toevoegen van maïskuil aan het rantsoen zowel de stikstofuitscheiding als de methaan-emissie kan verlagen.

### **Overwegingen bij implementatie**

Het verlagen van het eiwitgehalte in het rantsoen is een relatief eenvoudige en kosteneffectieve manier om ammoniakemissies te reduceren. Het vereist wel een nauwkeurige voersamenstelling, waarbij de energie- en eiwitvoorziening van de geiten goed in balans is. Geitenhouders kunnen profiteren van lagere voerkosten door minder eiwitrijk voer te gebruiken. Daar staat wel tegenover dat de aanpassing in het dieet mogelijk extra kennis en expertise van de veehouder vraagt.

In de melkveehouderij wordt vaak als vuistregel gehanteerd dat een verlaging van het ruw eiwitgehalte met 1 gram per kilo droge stof leidt tot 1% reductie in ammoniakemissie. Het is echter onduidelijk of deze vuistregel ook van toepassing is op geiten, aangezien er tot nu toe weinig specifiek onderzoek is gedaan naar de ammoniakreductie bij melkgeiten.

Tijdens de werksessie werd benoemd dat het gemiddelde eiwitgehalte in het rantsoen bij melkgeiten vermoedelijk hoger ligt dan bij melkvee (163 g RE/kg DS in 2023: CBS). Wat dat betreft lijkt er ruimte voor verlaging. Een belangrijke reden voor veel veehouders om veel eiwit te voeren is het duurmelken. Door het eiwitgehalte hoog te houden en de energie-inname relatief laag, wordt geprobeerd de productie te behouden en het risico op vervetting te verkleinen. Vervette geiten moeten vaak eerder worden afgevoerd vanwege gezondheidsissues. Dat brengt economische nadelen met zich mee, waardoor het verlagen van het eiwitgehalte wellicht minder eenvoudig is.

In de melkveesector is het sentiment in de loop der tijd verschoven, waarbij melkveehouders eerst aarzelden om het eiwitgehalte te verlagen vanwege zorgen over productie, diergezondheid en vruchtbaarheid. Inmiddels blijkt echter dat er wel degelijk ruimte is voor verlaging van het eiwitgehalte zonder negatieve gevolgen voor de gezondheid of de productie. Melkveehouders zijn in de loop der tijd meer bereid geworden om de voersamenstelling aan te passen. Dit proces zou ook bij geiten kunnen plaatsvinden, al moet er rekening gehouden worden met het feit dat de ruimte om RE in het rantsoen te verlagen vanwege duurmelken mogelijk minder groot is voor melkgeiten.

### Praktisch reductiepotentieel

Om een inschatting te kunnen maken van het praktisch reductiepotentieel is het noodzakelijk om een idee te hebben van de ruw eiwitgehalten die gangbaar zijn. Bij melkgeiten blijken deze gegevens echter niet makkelijk te achterhalen. Geschat wordt dat het gemiddelde RE-gehalte op Nederlandse melkgeitenbedrijven hoger ligt dan bij melkvee en rond de 170 g RE/kg DS of hoger ligt.

Gezien de potentiële voordelen lijkt het zinvol om verder onderzoek te doen naar effecten van eiwit verlagende maatregelen, en daarbij niet alleen te kijken naar de potentiële emissiereductie, maar ook naar de consequenties voor het duurmelken, de bedrijfsprestaties (melkproductie) en de gezondheidsrisico's (vervetting).

#### 6.1.2 Additieven voor methaanreductie

| Additieven: 3NOP                       |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | 0         |
| Methaan                                | +++       |
| Lachgas                                | 0         |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Neutraal  |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Laag      |
| Kosten                                 | Gemiddeld |

### Werkingsmechanisme

De beschikbare voeradditieven voor het verlagen van methaan bij melkvee zijn recent beschreven door Bannink & Dijkstra (2023). Op basis van het werkingsmechanisme worden drie klassen van enterische methaan mitigerende additieven onderscheiden: (1) additieven die bij hun omzetting of hydrogenering de in de pens gevormde waterstof wegvangen, (2) additieven die de activiteit van methanogenen remmen en (3) additieven die de micro-organismen en het fermentatieprofiel (type gevormde vluchtige vetzuren) beïnvloeden.

Klasse 1: Methaan wordt in de pens gevormd door methanogene archaea, die waterstof en CO<sub>2</sub> omzetten in methaan tijdens de fermentatie van het voer. Er zijn verschillende stoffen beschreven die tijdens hun omzetting waterstof opnemen. Hoewel deze omzettingen enzymatisch worden uitgevoerd door micro-organismen (en dus niet spontaan verlopen), hebben deze stoffen over het algemeen geen sterke directe invloed op de algehele microbiële activiteit in de pens. Hun belangrijkste werking is dat ze fungeren als een waterstof "sink," waardoor minder waterstof beschikbaar is voor methanogenese. Dit leidt tot een verminderde methaanproductie, omdat waterstof een essentieel substraat is voor methanogenen. Twee stoffen die als zeer effectief zijn aangetoond, zijn nitraat en sulfaat. Beide zijn verbindingen met een hoog zuurstofgehalte en worden in de pens gereduceerd: nitraat wordt omgezet naar nitriet en vervolgens naar ammonium, terwijl sulfaat wordt gereduceerd tot diwaterstofsulfide.

Klasse 2: Bromoform en analogen zijn bekend als stoffen die de methanogenese vrijwel volledig remmen. Echter, vanwege de negatieve effecten en de toxiciteit van dergelijke stoffen wordt dit niet toegepast in diervoeding. Recent onderzoek richt zich daarom op het rode zeewier *Asparagopsis taxiformis*, dat hoge concentraties bromoform bevat. Deze stoffen hebben als werkingsmechanisme dat ze een essentiële transferase stap blokkeren tijdens het methanogeneseproces (Martinez-Fernandez et al., 2016).



---

Een volgende cruciale stap in methanogenese wordt uitgevoerd door een enzym, methyl-coenzym M reductase (MCR). Stoffen zoals 3-nitrooxypropanol (3NOP) en, in mindere mate, nitraat/nitriet, hebben een remmend effect op de MCR-activiteit. 3NOP werkt zeer selectief door te binden aan MCR, dat exclusief voorkomt in methanogene Archaea. Hoewel 3NOP snel wordt afgebroken in de pens, blijkt het toch zeer effectief in het remmen van de methanogenese.

Klasse 3: Klasse 3-additieven zijn plantaardige stoffen die het fermentatieprofiel in de pens op een gunstige manier beïnvloeden, zonder bij de gekozen dosering nadelige effecten te hebben op pensfermentatie, vertering, voeropname of de algemene gezondheid en het functioneren van het dier. De pensmicrobiota is divers en past zich snel aan veranderingen in het rantsoen of toevoeging van additieven aan. Bij toevoeging van een plantenextract is het cruciaal te bepalen of het effect tijdelijk of langdurig van aard is. En of een effect voldoende omvang heeft om op te wegen tegen kosten en inspanningen bij de toepassing van het additief.

### Theoretische reductie

Klasse 1: Van Zijderveld et al. (2010) hebben zowel nitraat- als sulfaatverbindingen getest bij schapen waarbij de methaanemissie daalde met respectievelijk 32% en 16%. In vervolgstudies met lacterende melkkoeien (Van Zijderveld et al., 2011a, Guyader et al., 2015; Klop et al., 2016a; Olijhoek et al., 2016) werden bij toevoeging van 2,1-2,2% nitraat in het rantsoen (op droge stof basis) reducties in methaanemissie gerapporteerd van 16 tot 23%.

Klasse 2: **Bromoform** in gevriesdroogde vorm in zeewier blijkt een zeer sterke reductie van de methaanvorming op te leveren. Supplementatie van *Asparagopsis* via het voer gaf bij niet productieve geiten een verminderde methaanproductie van 33,9% (Romero et al., 2024). Andere onderzoeken bij rundvee laten een grote variatie zien in methaanreductie bij verschillende dosering: methaan reductie van 9% (niet significant), 40% en 98% (Kinley et al., 2020), en 26% en 67% (Roque et al., 2019a). Een onderzoek naar broomchloormethaan bij lacterende Murciano-Granadina geiten vond een reductie van 33% (Abecia et al., 2012).

Hristov et al. (2015) tonen in melkkoeien aan dat **3NOP** (dat 12 weken lang gevoerd werd) de methaanemissie blijvend verlaagt bij een dosering van 60 ppm (bij opname van 20 kg DS/dag = 1,2 gram 3NOP/koe/dag). Verschillende studies met 3NOP bij runderen rapporteren een methaanreductie tussen de 20% en 30% (Melgar et al., 2020; Van Gastelen et al., 2024).

Klasse 3: Uit onderzoek bij melkkoeien blijkt dat diallyl-disulfide, een extract uit knoflook, na een adaptatie periode van 12 dagen geen effect had op de methaanproductie (Van Zijderveld, 2011b). Mootral®, dat ook een knoflook extract bevat met allicine als belangrijkste bestanddeel, had bij vleesstieren in een studie van 12 weken ook geen effect op de methaanproductie (Roque et al., 2019b). Uitkomsten van studies met Agolin®, een ander plantaardig additief dat methaanreductie claimt, zijn niet eenduidig: in twee van de drie onderzoeken was het effect op methaanproductie niet significant (Castro-Montoya et al., 2015; Klop et al., 2017; Hart et al., 2019). Agolin® kan mogelijk tot een reductie van rond de 5% leiden. Het toevoegen van tanines aan het rantsoen van melkgeiten kan mogelijk ook een verlagend effect hebben op de methaanemissies en tevens een positief effect hebben op het verlagen van de N-uitscheiding via de urine (Batelli et al., 2024).

### Overwegingen bij implementatie

Op dit moment lijken klasse 2 additieven de meeste potentie te hebben voor toepassing in de melkgeitenhouderij, daarvan is alleen 3NOP momenteel toegestaan voor herkauwers. Klasse 1 additieven zijn wel effectief, maar kunnen (bij hoge doseringen) invloed hebben op het voeropnamepatroon en de vertering, of zelfs toxisch zijn. Bij klasse 3 additieven is het praktische reductiepotentieel klein of op z'n minst twijfelachtig en zijn eventuele effecten mogelijk tijdelijk van aard door adaptatie van de pensmicroben.

Bromoform heeft een hoog reductiepotentieel, maar is in de praktijk momenteel niet toegestaan. Bij melkkoeien wordt nog wel onderzoek gedaan naar het voeren van rood zeewier, *Asparagopsis*, met bromoform als werkzame stof. Er zit in de praktijk vaak nog verschil in de hoeveelheid bromoform in *Asparagopsis* waardoor gelijke dosering niet altijd tot hetzelfde resultaat leidt.

Gevonden additonele effecten zijn een toename van de groei van vleesstieren (Kinley et al., 2020), maar ook een daling van de voeropname bij melkkoeien van 11-38%, wat een deel van de verlaging in methaanproductie kan verklaren (Roque et al., 2019a).

3NOP is toegestaan voor herkauwers en kan daarom ook bij melkgeiten worden ingezet. Uit een meta-analyse van Dijkstra et al. (2018) naar 3NOP in runderen blijkt dat de methaanreductie sterk afhankelijk is van de dosering (hoe meer 3NOP, hoe groter de reductie van methaan). Ook is de reductie afhankelijk van het type rantsoen dat gevoerd wordt: 3NOP lijkt effectiever naarmate het gehalte celwanden in het rantsoen afneemt, bijvoorbeeld naarmate het rantsoen meer maiskuil dan graskuil bevat en naarmate het minder ruwvoer bevat (en meer krachtvoer). Voor de melkgeitenhouderij kan dit gunstig zijn aangezien er in verhouding tot rundvee over het algemeen een hoge verhouding krachtvoer wordt gevoerd.

Deelnemers aan de werksessie geven aan mogelijkheden te zien voor toepassing van 3NOP via het krachtvoer, voor toepassing zowel via brok en meel. Voor een optimaal effect moet 3NOP regelmatig worden toegediend, idealiter elke twee uur, wat goed aansluit bij het natuurlijke eetpatroon van geiten. Dit is minder praktisch bij beweiding, omdat geiten dan enkele uren uitsluitend gras eten. Aangezien beweiding zeldzaam is in de melkgeitenhouderij, afgezien van biologische bedrijven, lijkt 3NOP in deze sector makkelijker toe te passen dan bij koeien. Voor bedrijven met een gemengd rantsoen of krachtvoerboxen lijkt het haalbaar om het middel 10-12 keer per dag aan te bieden.

### Praktisch reductiepotentieel

Onderzoek bij geiten kan nuttig zijn om de precieze dosering van 3NOP en de emissiereductie te bepalen. Voor biologische bedrijven blijven praktische en wettelijke vragen voor de toepassing bestaan. Biologisch gehouden melkgeiten krijgen meer ruwvoer en minder krachtvoer, waardoor de enterische methaanvorming vermoedelijk hoger is.

#### 6.1.3 Rantsoensamenstelling en voederwaarde optimalisatie

| Rantsoensamenstelling en voederwaarde optimalisatie |                                 |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|
| Ammoniak                                            | -/++                            |
| Methaan                                             | -/+++                           |
| Lachgas                                             | -/+                             |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren              | Positief (bij goede uitvoering) |
| Praktijkrijpheid                                    | Gemiddeld tot hoog              |
| Verandering bedrijfsvoering                         | Wisselend                       |
| Kosten                                              | Laag/gemiddeld                  |

Los van de maatregel om het eiwitgehalte in het rantsoen te verlagen om de stikstofuitscheiding via de urine te verminderen en de maatregel om met additieven de enterische methaanemissies te verlagen, zijn er nog andere rantsoenmaatregelen die de ammoniak- en methaanemissie kunnen verlagen. Deze maatregelen focussen zich op een aanpassing van de rantsoensamenstelling of op specifieke voederwaardes die een gunstiger uitkomst hebben op de uitstoot.

### Werkingsmechanisme

#### Krachtvoer

Het is bekend dat het verhogen van de verhouding tussen krachtvoer en ruwvoer in het dieet de hoeveelheid energieverlies als enterisch methaan kan verminderen, voornamelijk door de verandering van gefermenteerd substraat van vezels naar zetmeel (Martin et al., 2010). In vergelijking met ruwvoer bevat krachtvoer minder structurele koolhydraten, wat de productie van propionaat verhoogt en de productie van acetaat verlaagt, resulterend in een verminderd methaanproductie.

Krachtvoer kan een variabele koolhydraatsamenstelling hebben variërend van structurele (cellulose en hemicellulose) tot niet-structurele (zetmeel en suiker) koolhydraten. De afbraaksnelheid van beide typen koolhydraten varieert sterk, afhankelijk van het vluchtige vetzuurprofiel. Bij rundvee leidt de vertering van de celwand tot een hogere acetaat:propionaat-verhouding en daarmee tot een hoger methaanverlies (Johnson & Johnson, 1995).

---

Van de niet-structurele koolhydraten is suiker meer methanogeen dan zetmeel (Tamminga et al., 2007). Zetmeelfermentatie bevordert de productie van propionaat in de pens door een alternatieve waterstof "sink" te creëren (Murphy et al., 1982), door een lagere pH in de pens, door de groei van methanogenen te remmen (Van Kessel & Russell, 1996), door het aantal protozoën in de pens te verminderen en door de waterstof-overdracht tussen methanogenen en protozoa te beperken (Finlay et al., 1994). Bovendien zou het voeren van zetmeel, dat aan de pensfermentatie kan ontsnappen, potentieel energie kunnen leveren aan het dier terwijl methanogenese in de pens wordt voorkomen.

#### *Ruwvoer*

Een vermindering van de methaan-productie in de darmen kan worden bereikt door graskuil te verstrekken met meer oplosbare koolhydraten en minder vezels, of door te laten grazen op minder volgroeide weilanden. Het oogsten of begrazen van gras in een vroeg fysiologisch stadium vermindert de verhouding van de celwanden en kan de fermenteerbaarheid verhogen, doordat het hogere hoeveelheden gemakkelijk fermenteerbare koolhydraten en minder NDF (Neutral Detergent Fibre) bevat. Dit leidt tot een hogere verteerbaarheid en passagesnelheid (Beever et al., 1986) en daardoor tot een lagere methaanemissie.

Vergeleken met andere voeders is kuilgras relatief slecht verteerbaar en leidt tot een langere vertering in de pens en meer methaanproductie. In vergelijking met graskuil heeft maiskuil meer gemakkelijk verteerbare koolhydraten (Beauchemin et al., 2009). Er zijn vier mogelijke manieren waarop maiskuilvoer de methaanproductie in de pens kan verminderen. (1) Het hogere zetmeelgehalte bevordert de vorming van propionaat in plaats van acetaat. (2) De verhoogde totale droge stofopname en de hogere passagesnelheid verkorten de verblijftijd in de pens, waardoor de pensfermentatie wordt verminderd en de post-ruminale vertering wordt bevorderd. Hoewel ook bij post-ruminale vertering methaan wordt gevormd. (3) Het vervangen van graskuilvoer door maiskuil kan de productie-efficiëntie verbeteren, wat resulteert in minder methaan-emissies per eenheid dierlijk product (O'Mara et al., 1998). (4) Maiskuil van mais die in de latere fase van rijpheid is geoogst, zou de methaanemissie verder kunnen verminderen (Tamminga et al., 2007). De latere fase van rijpheid resulteert in een verminderde afbraaksnelheid van zetmeel in de pens en daardoor minder fermentatie van zetmeel in de pens en daardoor een lagere methaan productie.

Ook voerverwerking en -conservering beïnvloeden de methaanemissie (Martin et al., 2010). Zo kan het vermalen of pelletiseren van ruwvoer de methaanemissie per kg ingenomen droge stof verminderen, omdat kleinere deeltjes resulteren in een verhoogde passagesnelheid door de pens met als gevolg een kortere verblijfsduur in de pens en een verminderde afbraak in de pens (Boadi et al., 2004). Methanogenese is doorgaans lager in het ingekuilde ruwvoer ten opzichte van vers product, vermoedelijk omdat het ingekuilde ruwvoer al gedeeltelijk gefermenteerd is tijdens het inkuilproces. Voeren van verbeterde kwaliteit ruwvoer, bijvoorbeeld door jong ruwvoer te voeren met een lager vezelgehalte en een hoger gehalte aan oplosbare koolhydraten of het aanvullen van ruwvoer met een kleine hoeveelheid graan, is een veelbelovende reductie maatregel.

#### *Vetverstrekking*

Het verstrekken van onbestendige vetten kan helpen bij het verminderen van methaanemissie bij melkgeiten om verschillende redenen (Johnson & Johnson, 1995). (1) Voedingsvet wordt niet gefermenteerd in de pens (Jenkins, 1993), wat resulteert in minder waterstofproductie (Boadi et al., 2004). Daarom is het reductie-effect een kwestie van verdringing. De energie in vet hoeft niet meer uit bijvoorbeeld graskuil te komen. (2) Bepaalde vetzuren hebben specifieke eigenschappen die de activiteit van methanogene bacteriën of protozoën remmen (Grainger & Beauchemin, 2011). (3) Lipiden en vetzuren hebben een hogere energiedichtheid en dragen daardoor bij aan de energiebehoefte van het dier. Dit kan resulteren in een verlaagde opname van (ruw)voeders. Dit zorgt ervoor dat de geiten efficiënter voer kunnen omzetten in energie, wat bijdraagt aan een lagere methaanproductie. Vet in het voer vermindert de afbreekbaarheid van vezels en organisch materiaal, wat de hoeveelheid fermenteerbaar substraat in de pens vermindert. Dit speelt echter nauwelijks een rol bij bestendige vetten.

---

## Theoretische reductie

### *Krachtvoer*

In een recente studie bij melkgeiten naar het effect van verschillende krachtvoerverhoudingen werd vastgesteld dat een hoger aandeel krachtvoer leidt tot een reductie van de methaanemissie (Fernandez et al., 2021). Bij een hoger krachtvoeraandeel in het midden en aan het eind van de lactatie werden 21% en 28% minder enterisch methaan uitgescheiden. Doordat de voeropname en melkproductie hoger waren, was de reductie van methaan afgezet per kg DS opname en per kg melk bovendien nog groter. Dit effect waarschijnlijk niet direct gerelateerd aan het krachtvoer, maar aan de samenstelling. Via het krachtvoer kan gestuurd worden op een lage emissiefactor.

### *Ruwvoer*

In theorie kan de enterische methaanproductie door geiten tot 10% verminderd worden door het optimaliseren van de ruwvoer kwaliteit, afhankelijk van het specifieke dieet dat wordt toegepast. Verschillende recente studies hebben positieve effecten van het vervangen van graskuil door maïskuil aangetoond. Hassanat et al. (2013) rapporteerden een lagere methaanemissie wanneer luzernekuil wordt vervangen door 100% maïskuil. Ook hier eigenblijk een voerstrategie.

### *Vetverstrekking*

Het methaanreductiepotentieel door toevoeging van oliën en vetten aan diervoeding voor melkkoeien wordt geschat op 6-35%, maar bij geiten is hier weinig onderzoek naar gedaan. Bij rundvee bedraagt de methaanemissiefactor van bestendige vetten -11, wat betekent dat 1 kg extra vet de methaanproductie met 11 gram vermindert. Dit maakt het mogelijk om de impact van vettoevoeging te kwantificeren voor geiten op basis van aannames over het vetgehalte in het rantsoen vóór en na toevoeging.

## Overwegingen bij implementatie

### *Krachtvoer*

In de melkgeitenhouderij wordt in vergelijking tot de melkveehouderij al relatief veel krachtvoer gevoerd. De vraag is dan ook of een hoger aandeel krachtvoer wenselijk is. Zeker omdat een hoger krachtvoerniveau risico kan geven op subacute pens-acidose, wat een negatieve invloed kan hebben op de normale fermentatieprocessen in de pens (Jia et al., 2014). Echter hebben geiten hier mogelijk minder snel last van dan melkvee doordat ze hun eetgedrag en voedingspatroon aanpassen (Desnoyers et al., 2008). Een andere overweging is dat extra krachtvoer mogelijk ook extra kosten met zich meebrengt.

### *Ruwvoer*

Het verbeteren van de ruwvoer kwaliteit vraagt een investering van de boer in zijn weidebeheer, oogstplanning en inkuilstrategie (tijdig maaien en optimaal inkuilen). Om emissies effectief te reduceren, is kennis van de rantsoenkwaliteit en pensgezondheid belangrijk. Ook vraagt het meer vakmanschap van de veehouder en eventueel begeleiding door voerexperts of andere adviseurs. Via teelt en voederwinning kan de emissiefactor van het ruwvoer nog verder worden verminderd. Daar zit nog eens 10-15% potentiële reductie. Bij melkvee wordt daar nu veel aandacht aan besteed. Weersomstandigheden maken het soms lastig een goede kuil en oogstplanning te volgen. Daarnaast heeft het weer een directe invloed op de kwaliteit van het ruwvoer. Nat weer kan leiden tot minder energierijk gras met een hoog aandeel ruwe celstof en droogte kan de opbrengst en kwaliteit negatief beïnvloeden. Een ander ruwvoermanagement kan kosten met zich meebrengen, maar dit kan deels gecompenseerd worden door een betere voederbenutting en mogelijk hogere melkproductie. Voor bedrijven met beperkte toegang tot hoogwaardige ruwvoermogelijkheden is implementatie een uitdaging.

### *Vetverstrekking*

Het toevoegen van oliën en vetten aan het voer is relatief eenvoudig en kan een positief effect hebben op de melkproductie. Geiten krijgen echter al meer vetten gevoerd (circa 5%) dan rundvee (3,5-4%). Een verdere verhoging ligt niet voor de hand vanwege een grote kans op vervetting en gezondheidsproblemen. Een mogelijke combi kan gemaakt worden met minder eiwit voeren. Eiwit is ook een energiebron en als er minder eiwit gevoerd wordt dan kan je een potentiële daling in melkproductie opvangen door extra energie te voeren. Het lijkt daarentegen wel zinvol om te onderzoeken welke soorten vetten en oliën het meest effectief zijn, omdat niet alle vetten bijdragen aan methaanreductie. Voor melkvee is bijvoorbeeld raapzaad onderzocht, wat kan leiden tot een methaanreductie maar daar zijn wel grote hoeveelheden voor nodig.

Mogelijk is raapzaad voor geiten geschikter dan voor melkvee. Hoewel vet toevoegen kostprijsverhogend werkt, kan het ook de opbrengst verhogen.

Palmvet is bij geiten het meest gebruikte vet. Hoewel palmvet de methaanuitstoot verlaagt, verhoogt het de klimaatimpact wanneer naar de totale keten wordt gekeken. Onverzadigde vetten hebben het meeste effect op methaanreductie, maar zijn volgens de deelnemers aan de werksessie niet altijd wenselijk voor kaasmakers.

### Praktisch reductiepotentieel

Bij het goed implementeren van veranderingen in het dieet is het reductiepotentieel voor methaan significant. Het aanpassen van het rantsoen en het combineren van diverse van hierboven beschreven opties kan de methaanuitstoot tot 40% verminderen. Het effect is echter afhankelijk van de mate van de rantsoenverandering en de aard van de aanpassing (Benchaaar et al., 2001). In combinatie met bijvoorbeeld het toevoegen van methaanremmers (paragraaf 6.1.2) zou het mogelijk zijn om de methaanuitstoot nog verder te reduceren. In de praktijk zal dit effect kleiner zijn omdat praktische omstandigheden het niet altijd toestaan om een rantsoen aan te bieden met een optimale kwaliteit. Invloeden zoals grondsoort, weersomstandigheden, kuilmanagement en kennis van de veehouder kunnen het succes beïnvloeden.

## 6.2 Vaker afvoeren van mest

Een potstal in de Nederlandse melkgeitenhouderij wordt meestal 1 tot 4 keer per jaar uitgemest. Wanneer de frequentie wordt opgevoerd kan dat een reductie opleveren van de ammoniak-, methaan- en lachgasemissie.

### Vaker afvoeren van mest

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | ++        |
| Methaan                                | ++        |
| Lachgas                                | +         |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Neutraal  |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld |
| Kosten                                 | Laag      |

### Werkingsmechanisme

Het verwijderen van stromest uit de potstal heeft op verschillende manieren een positieve invloed op de reductie van emissies. Allereerst wordt met het verwijderen van mest uit de stal de bron weggenomen voor ammoniak, lachgas en methaan (bij die laatste alleen methaan uit mest). Minder mest in de stal levert minder emissies op. Daarnaast worden verschillende mechanismen die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van emissies beïnvloed door het vaker verwijderen van de mest.

De ammoniak die ontstaat in een potstal komt voor het grootste deel voort uit twee processen: (1) de omzetting van ureum-N naar ammoniak onder invloed van het enzym urease en (2) microbiële omzettingsprocessen ofwel compostering. Voor de omzetting van ureum-N naar ammoniak is onder meer luchtuitwisseling nodig. Bij een lagere luchtuitwisseling blijft meer ammoniak opgelost in de mest; er vindt minder diffusie plaats. Volgens Mosquera et al. (2005) betekent dit dat hoe hoger de pot is, hoe meer die blootgesteld wordt aan de luchtstromen die aanwezig zijn in de stal en daarmee hoe hoger de ammoniakemissie: vooral wanneer de pot boven het niveau van de voergang uitsteekt (opvallend is dat Mosquera et al. (2022) geen relatie vinden tussen de potdiepte en ammoniakuitstoot). Vaker uitmesten betekent een minder hoge pot en daardoor een lagere ammoniakemissie.

Daarnaast heeft verwijderen van mest ook een effect op de compostering. Compostering is namelijk een langdurig proces, wat eerst op gang moet komen (Starmans et al., 2002). Het (sneller) verwijderen van stromest uit de stal verstoort dit proces, en het composteringsproces moet weer opnieuw gestart worden. Het duurt dus langer voordat ammoniakemissie door compostering op gang komt.

---

Het minder lang opslaan van mest in de stal heeft ook een lagere methaanemissie tot gevolg. Voor methaanproductie moet een populatie micro-organismen zich eerst ontwikkelen. Hoe minder methaanvormende micro-organismen er bij aanvang in de stal aanwezig zijn, oftewel hoe schoner de pot, hoe minder (snel) methaan gevormd wordt (Dalby et al., 2021). Wanneer deze micro-organismen langere tijd op dezelfde plek zijn passen zij zich aan aan de omstandigheden, groeit de populatie sneller en wordt er meer methaan uitgestoten (Dalby et al., 2021). Vaker uitmesten betekent dus minder methaanemissie. Ook het schoonmaken van de ruimte na uitmesten kan helpen, omdat dit de populatie van methaanvormende micro-organismen verder terugbrengt.

Bij de eerdergenoemde compostering komt warmte vrij wat ervoor zorgt dat micro-organismen actiever worden en dat omzettingsprocessen versnellen (Webb et al., 2012). Dit werkt als katalysator voor de productie van alle genoemde emissies (ammoniak, methaan en lachgas). Door vaker uitmesten wordt dit effect tegengegaan.

Bij het uitmesten zelf ontstaan overigens pieken in zowel de ammoniak- als in de methaanuitstoot (Pijlman et al., 2018). Vaker uitmesten veroorzaakt meer van deze pieken. Ondanks dat is er waarschijnlijk sprake is van een netto emissiereductie.

### **Theoretisch reductiepotentieel**

Er zijn geen studies gevonden waar het effect van het verwijderen van de mest uit potstallen op emissies op zichzelf is onderzocht. Vaker uitmesten wordt op verschillende plekken benoemd als belangrijke emissiereducerende maatregel (zie bijvoorbeeld Ellen et al., 2010), maar deze reductie wordt niet becijferd. De reductie die gerealiseerd wordt is sterk afhankelijk van de stappen die na verwijdering van de mest uit de stal genomen worden.

### **Overwegingen bij implementatie**

Met het verwijderen van de mest verdwijnt de bron van emissie. Daarmee is de emissie in eerste instantie verplaatst naar elders. De minste emissie ontstaat wanneer de mest direct na verwijdering gebruikt wordt op het land (Mathot et al., 2016; Robertson et al., 2015). In Nederland is het echter verplicht om geitenmest minimaal 30 dagen afgedekt op te slaan (of het moet afgevoerd worden naar een erkend composteerbedrijf). Daarnaast is er regelgeving die verbiedt om mest uit te rijden gedurende een aantal maanden per jaar. En bij het uitrijden van mest wordt rekening gehouden met weersomstandigheden en agronomische factoren. Geitenhouders of andere gebruikers van de mest kunnen ervoor kiezen het eerst te composteren, omdat dat beter is voor de bodem en de gewasgroei. Kortom, een groot deel van de mest wordt langere tijd opgeslagen, voordat die wordt aangewend. In paragraaf 6.3 worden verschillende manieren van emissiearm opslaan en verwerken van mest besproken.

In andere sectoren waar met drijfmest en mestkelders gewerkt wordt, kan mest met hulp van techniek dagelijks worden afgevoerd; op sommige bedrijven gebeurt dit. In het geval van een potstal is dit niet mogelijk, behalve wanneer het hele stalsysteem veranderd wordt waarmee ook het potstalprincipe verdwijnt. Wel lijkt het mogelijk om bijvoorbeeld eens per maand of eens per twee maanden de stal uit te mesten. Volgens experts zou dit een forse reductie op kunnen leveren ten opzichte van de huidige situatie. Wat het precieze effect is, en wat het verschil is tussen bijvoorbeeld eens per 6 maanden, eens per 2 maanden en eens per 3 weken uitmesten, zal nader onderzocht moeten worden.

Het opvoeren van de uitmestfrequentie behoort in principe op alle geitenbedrijven tot de mogelijkheden. Dit heeft echter wel consequenties voor geitenhouders. Een lege – want uitgemeste – stal vraagt volgens geitenhouders bij aanvang tot vijf keer meer stro dan wat er normaal op een dag wordt ingestrooid. Wanneer er fors vaker uitgemest zou worden – bijvoorbeeld 8-12 keer per jaar in plaats van 2 of 3 keer per jaar – kan dat op een bedrijf met 1000 melkgeiten al snel enkele duizenden euro's extra aan stro kosten. Daarnaast is het uitmesten een arbeidsintensieve bezigheid, dus vaker uitmesten betekent een hogere arbeidsbelasting.

Er kan zich een praktisch probleem voordoen wanneer geitenhouders beperkte ruimte hebben voor mestopslag en de pot deels als mestopslag gebruiken. Vaker uitmesten betekent in dat geval dat er geïnvesteerd moet worden in extra opslagruimte, wat aanvullende kosten met zich meebrengt.

Sommige geitenhouders geven aan dat zij de frequentie van het uitmesten variëren met de seizoenen. In de winter zorgen zij voor een dik stromestpakket in de stal om daarmee warmte te creëren. Bij warm weer mesten zij de stal juist vaker uit om warmteontwikkeling vanuit de pot zoveel mogelijk te voorkomen. Vaker uitmesten zou vanuit deze gedachte vooral in de winter onwenselijk kunnen zijn.

Zoals gezegd is deze maatregel relatief eenvoudig toe te passen. Tegelijkertijd is er veel flexibiliteit mogelijk in de uitmestfrequentie. Dat betekent dat geitenhouders er om allerlei redenen voor kunnen kiezen om de frequentie toch weer te verlagen. Controleren en handhaven van deze maatregel is daarmee intensief. In het ideale geval wordt er gekozen voor frequenter uitmesten, maar behoudt de geitenhouder speelruimte om naar eigen inzicht op basis van de omstandigheden de frequentie op en af te schalen.

#### **Praktisch reductiepotentieel**

Met deze maatregel lijkt relatief veel emissiereductie gerealiseerd te kunnen worden. Hoeveel precies is onduidelijk. Dit hangt sterk af van de gekozen uitmestfrequentie en van wat er na het uitmesten met de mest gebeurt.

De maatregel lijkt op veel bedrijven toepasbaar; ook op de korte termijn. De uitmestfrequentie die praktisch haalbaar is en de uitwerking die dit heeft op emissies kan wel van bedrijf tot bedrijf sterk verschillen.

## **6.3 Mest emissiearm opslaan en verwerken**

Op dit moment wordt geitenmest buiten opgeslagen; meestal onafgedekt. Temperatuur, zon, wind en neerslag hebben allemaal hun invloed op de biologische en (bio)chemische processen die in de mesthoop plaatsvinden. Deze invloeden kunnen zowel voor een hogere als een lagere emissie zorgen. Door een hoge temperatuur en hoge windsnelheden kan de compostering toenemen. Bij een lage temperatuur neemt zowel de ammoniak- als methaan- als lachgasemissie af. De toevoer van regenwater kan zorgen voor meer anaerobe omstandigheden en meer methaanemissie (Loyon, 2018); tegelijkertijd kan dat de ammoniakuitstoot juist weer verlagen. Ook kan regenwater zorgen voor koeling van de mesthoop, wat zorgt voor een vertraging van omzettingsprocessen en dus van emissies (Chadwick, 2005). Regenwater kan ook zorgen voor meer afwisseling tussen aerobe en anaerobe omstandigheden, wat de uitstoot van lachgas stimuleert (Almeida et al., 2022).

Al met al kan geconstateerd worden dat – hoewel de mechanismen op de mesthoop niet helemaal hetzelfde uitpakken als in de potstal – de emissies met verwijderen van mest uit de stal vooral verplaatst worden. Om daadwerkelijk tot een reductie van emissies te komen zijn er verschillende maatregelen mogelijk.

### **6.3.1 Luchtdicht afdekken van mest**

| <b>Luchtdicht afdekken van mest</b>    |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | +++       |
| Methaan                                | +         |
| Lachgas                                | -/+       |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Neutraal  |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld |
| Kosten                                 | Laag      |

#### **Werkingsmechanisme**

Het afdekken van mest is een beproefde methode voor ammoniakemissiereductie (De Bode, 1989) die voor drijfmest al lange tijd wordt toegepast. Bij onafgedekte mesthopen bestaande uit stromest ontstaat compostering – althans in die gedeeltes waar zuurstof aangevoerd kan worden; in het midden van de mesthoop zal geen compostering ontstaan – waarbij de temperatuur op kan lopen tot 60 of 70 graden. Wanneer de mesthoop luchtdicht wordt afgedekt kunnen de compostering en de temperatuurstijging grotendeels worden voorkomen (Chadwick, 2005; Viaene et al., 2015).

---

Afdekking beperkt de zuurstoftoevoer waardoor het composteringsproces niet op gang kan komen. Daarnaast wordt door afdekking de luchtuitwisseling beperkt en het emitterend oppervlak verminderd (Chadwick, 2005; Loyon, 2018).

Luchtdicht afdekken heeft meer effect dan afdekken met bijvoorbeeld een luchtdoorlatend doek. Die laatste kan weliswaar de urease-activiteit beperken, maar kan tegelijkertijd compostering juist stimuleren (Mosquera et al., 2013). In een aantal studies werden mesthopen met diepstrooiselmest afgesloten met luchtdicht folie met een forse ammoniakreductie tot gevolg (Lemes et al., 2023; Loyon, 2018). Dit lijkt grotendeels vergelijkbaar met de productie van bokashi, waarbij mest wordt ingekuild. De temperatuur blijft laag, er vindt geen compostering plaats; wel fermentatie (Wevers et al., 2023). De effecten van luchtdicht afdekken op de methaan- en lachgasemissie zijn minder eenduidig. De lagere temperatuur – veroorzaakt door het uitblijven van compostering – vertraagt alle microbiële omzettingsprocessen, waaronder de productie van methaan en lachgas (Slier & Velthof, 2021; Timmerman & Groenestein, 2020). Ook kan afdekken ervoor zorgen dat de pH-waarde daalt, waardoor de methaanproductie wordt geremd (Lemes et al., 2023). Bij bokashi wordt hier extra op ingezet door middelen toe te voegen die de fermentatie op gang brengen en de pH-waarde verlagen. Dit om zowel ammoniak- als methaanemissie te reduceren (Wevers et al., 2023).

Door het afdekken van de mest, het creëren van anaerobe omstandigheden en het stimuleren van fermentatie kan er juist ook meer methaan ontstaan (Amon et al., 2006). De effecten op methaan zijn erg wisselend tussen studies en zelfs binnen studies; hetzelfde geldt voor lachgas (Sebek et al., 2016; Webb et al., 2012). Emissies kunnen dalen, maar ook stijgen, fors stijgen zelfs. Dat geldt ook bij de productie van bokashi (Wevers et al., 2023). Hoewel er geen cijfers bekend zijn wordt ingeschat dat een significante ammoniakreductie mogelijk is, maar tegelijkertijd bestaat er een risico op een verhoogde methaan- en lachgasuitstoot. Het effect van afdekken en inkuilen is deels een vertraging van emissies. Wanneer de afdekking wordt verwijderd voor verplaatsing of verwerking van de mest, ontstaat een emissiepiek van zowel ammoniak als methaan (Lemes et al., 2023).

### **Theoretisch reductiepotentieel**

Het effect van het voorkomen van compostering door afdekken kan (bij koeienmest uit een potstal) volgens Chadwick (2005) een ammoniakreductie opleveren tot wel 90%. Daarvoor moet de mesthoop ook verdicht worden (zie ook: Lemes et al., 2023; Loyon, 2018; Pijlman et al., 2018). Het effect van afdekken op de methaanemissie is sterk wisselend, maar een forse reductie lijkt mogelijk. Lemes et al. (2023) realiseren een reductie van 50% door potstalmest van paarden op te slaan in een afgesloten container, op basis van vergelijkbare reductiemechanismen als hierboven beschreven. Onder welke omstandigheden afdekken een methaanemissiereductie oplevert is echter onduidelijk. Bij lachgas is dit nog diffuser. Experimenten laten zowel forse reducties als forse stijgingen zien bij het afdekken van mest (Chadwick, 2005; Sutton et al., 2022). Deze enorme variatie kan niet verklaard worden, behalve door het feit dat het ontstaan van lachgas een complex proces is waarop veel factoren van invloed zijn.

Onderzoeken zijn verricht bij koeien- en paardenmest. Emissies bij geitenmest kunnen afwijken, hoewel geen forse verschillen verwacht worden. De genoemde emissiereductiepercentages hebben enkel betrekking op de opslag; niet op de emissie in de stal en bij aanwending van de mest.

### **Overwegingen bij implementatie**

Met het afdekken van mest kan een forse ammoniakemissiereductie gerealiseerd worden in vergelijking met onafgedekte mesthopen. Dit kan echter gepaard gaan met een stijging van de emissie van methaan en lachgas. Deze effecten moeten tegen elkaar afgewogen worden. Nog beter is het om nader onderzoek te doen hoe bij afdekken methaan- en lachgasuitstoot onder controle gehouden kunnen worden, mogelijk zelfs hoe ook deze emissies gereduceerd kunnen worden bij afdekken.

Op dit moment is de regelgeving zo dat geitenmest die uit de potstal wordt verwijderd de eerste 30 dagen afgedekt moet worden met een luchtdoorlatend doek. Dit is bedoeld om compostering op gang te brengen en te houden. Door de warmte die daarbij ontstaat worden pathogenen gedood (Sommer & Møller, 2000) waaronder *Coxiella burnetii*: de Q-koortsbacterie (Plummer et al., 2018). Na deze 30 dagen hoeft de mest niet langer afgedekt te worden.



Het lijkt omslachtig en onlogisch om eerst af te dekken met een luchtdoorlatend doek en compostering te stimuleren – wat overigens ook een emissiereducerend effect kan hebben; zie paragraaf 6.3.3 – om daarna diezelfde mest luchtdicht af te dekken om compostering te voorkomen. Het is ook de vraag in hoeverre dit na die 30 dagen nog effectief is, aangezien het grootste deel van de ammoniakemissie in de eerste periode van de opslag plaatsvindt: bij Almeida et al. (2022) zelfs 80% in de eerste week.

De kosten van het afdekken van mest lijken mee te vallen. Bij het inkuilen van mest in sleuven moet er wel geïnvesteerd worden in deze mestopslag. Een bijkomend probleem is dat het afdekken of inkuilen arbeidsintensief is en niet eenvoudig uit te voeren. Het afdekken van mesthopen wordt door geitenhouders als onpraktisch en onveilig ervaren. Om doek of folie goed over de mest te krijgen moeten geitenhouders over de mesthoop klimmen, wat kan leiden tot valpartijen. Er ontstaan plassen regenwater op de mesthoop die het moeilijk maken om de folie weer te verwijderen. Folie kan eenvoudig losraken, wegwaaien of scheuren. Dit betekent dat afdekken of inkuilen aandacht vraagt en de ontwikkeling van nieuwe praktijken. Wanneer geitenhouders hun mest willen inkuilen kunnen ze daarvoor dezelfde systemen gebruiken die ingezet worden bij het inkuilen van voer, bijvoorbeeld afrossystemen met zeil die met water gevuld kunnen worden. In een Sbv-traject (Subsidiemodules brongerichte verduurzaming stal- en management-maatregelen (RVO, 2021)) wordt daar in 2024/2025 door biologische melkgeitenhouders mee geëxperimenteerd.

Ammoniakemissie verminderen (en mogelijk ook uitspoeling tegengaan) door afdekking leidt ertoe dat er meer stikstof beschikbaar is in de mest. Dit verhoogt de bemestingswaarde. Dit effect is het grootst wanneer de mest bij opslag zo vers mogelijk is. Wanneer de mest eerst lang in de potstal ligt, zal meer stikstof verloren zijn gegaan; zowel als ammoniak als in andere vormen.

Luchtdicht afdekken kan leiden tot ophoping van gassen wat risico's met zich mee kan brengen voor gezondheid en veiligheid. Het is belangrijk dat er praktijken ontwikkeld worden die voldoende veilig zijn.

### Praktisch reductiepotentieel

Op dit moment is er weinig aanleiding voor geitenhouders om aan de slag te gaan met luchtdicht afdekken of inkuilen van mest. Echter, wanneer geitenhouders een bedrijfsspecifieke opgave krijgen om ammoniak te reduceren dan lijkt dit een relatief eenvoudige mogelijkheid om met emissies aan de slag te gaan. Daarvoor moeten wel eerst praktisch uitvoerbare en veilige praktijken worden ontwikkeld, die bij voorkeur geen stijging van de methaan- en lachgasemissie met zich meebrengen.

### 6.3.2 Mengen van mest met stro

| Mengen van mest met stro               |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | ++        |
| Methaan                                | ++        |
| Lachgas                                | ++        |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Negatief  |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld |
| Kosten                                 | Hoog      |

### Werkingsmechanisme

Hoewel geitenmest uit Nederlandse potstallen al een behoorlijke hoeveelheid stro bevat, kan het toevoegen van extra stro of zaagsel bij opslag tot emissiereductie leiden. Door het mengen van extra stro door potstalmest komt er een grote hoeveelheid koolstof beschikbaar (een hogere C:N-ratio). Stro kan ammonium absorberen en ervoor zorgen dat er meer stikstof organisch gebonden wordt. Er is daardoor minder stikstof beschikbaar die omgezet kan worden naar ammoniak (Ba et al., 2020). Het toevoegen van stro kan weliswaar compostering stimuleren waarbij extra ammoniak kan vrijkomen (Mathot et al., 2020), maar het netto-effect lijkt een forse ammoniakemissiereductie (Ba et al., 2020). De hogere C:N-ratio zorgt er tegelijkertijd voor dat minder stikstof beschikbaar is voor nitrificatie- en denitrificatieprocessen. Dit resulteert in een lagere emissie van lachgas (Yamulki, 2006).

Voor methaanproductie is een overschot aan koolstof juist gunstig. Toch leidt het toevoegen van stro eerder tot een lagere dan een hogere methaanemissie. Meer stro betekent namelijk meer aerobe omstandigheden, waardoor methanogene micro-organismen het moeilijk krijgen (Yamulki, 2006). Wanneer de mesthoop na verloop van tijd inklinkt, kan dit effect deels teniet worden gedaan. Extra stro kan daarnaast mogelijk methanotrofe micro-organismen stimuleren die methaan gebruiken en koolstofdioxide uitstoten. Dit kan voor een forse emissiereductie zorgen, maar het is onduidelijk wanneer de omstandigheden precies gunstig zijn voor deze micro-organismen om hun werk te doen (Petersen et al., 2013).

### Theoretisch reductiepotentieel

Het toevoegen van stro of zaagsel aan potstalmest van melkvee leidt bij Ba et al. (2020) tot een verlaging van de ammoniakemissie van 44% en van de methaanemissie van 66%. Yamulki (2006) komt bij soortgelijk onderzoek bij potstalmest van melkvee uit op 45% methaanemissiereductie en 42% lachgasemissiereductie (zie ook Petersen et al., 2013).

### Overwegingen bij implementatie

Het mengen of mixen van grote hoeveelheden mest is niet eenvoudig en kost veel energie. De noodzaak om langdurig gelijkmatig te mengen is bij het toevoegen van stro echter kleiner dan bij het koelen van mest (zie paragraaf 6.3.4) en het aanzuren van mest (zie paragraaf 6.3.5).

Een groter probleem lijkt de beschikbaarheid en kostbaarheid van stro. Op basis van 0,9 kg tarwestro per geit per dag (Vermeij et al., 2023), een stroprijs van 120 euro per ton en 1000 geiten heeft een doorsnee geitenbedrijf te maken met een kostenpost aan stro van zo'n 40.000 euro op jaarbasis. Door 25% extra stro toe te voegen in de opslag zou daar nog eens 10.000 euro bij komen. Daarnaast komt een groot deel van het stro dat op dit moment gebruikt wordt uit het buitenland: Duitsland, Frankrijk, Denemarken en Engeland (Slier et al., 2022). Meer strogebruik betekent dus meer transportkilometers en mogelijk verder opdrijven van de prijs (door toenemende regionale schaarste). Dit geldt vooral wanneer deze maatregel sectorbreed op grote schaal toegepast zou worden. De geitensector is nu al goed voor zo'n 20% (meer dan 160 Kton) van de totale hoeveelheid stro die er in Nederland gebruikt wordt (Vermeij et al., 2023; Slier et al., 2022).

### Praktisch reductiepotentieel

Puur kijkend naar het emissiereductie-effect is het toevoegen van stro een interessante optie en de praktische inpassing op bedrijfsniveau lijkt realistisch, hoewel mixen van vaste mest een uitdaging is. Wanneer echter gekeken wordt naar de beschikbaarheid van materiaal dan blijkt de toepassing een stuk minder haalbaar. Grootschalige toepassing lijkt alleen mogelijk wanneer er een alternatief, goedkoop strooisel gevonden wordt dat ruim voorhanden is.

## 6.3.3 Composteren van mest

Zoals eerder aangegeven brengt compostering van mest emissies met zich mee. Door dit proces op de juiste manier te sturen kunnen emissies echter beperkt worden. En compostering van stromest leidt tot humus, wat nauwelijks nog emissies voortbrengt.

| Intensief composteren van mest         |                       |
|----------------------------------------|-----------------------|
| Ammoniak                               | -/+                   |
| Methaan                                | +++                   |
| Lachgas                                | ++                    |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Neutraal tot positief |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog                  |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld             |
| Kosten                                 | Hoog                  |

### Werkingsmechanisme

Door de aanwezigheid van stro of ander strooisel is geitenmest goed composteerbaar (Wevers et al., 2023). Organisch materiaal wordt afgebroken tot humus door aerobe micro-organismen die zuurstof, water en koolstof gebruiken; er wordt daarbij koolstofdioxide, waterdamp en warmte geproduceerd (Starmans et al., 2002; Wevers et al., 2023).

---

Bij deze processen komt ook ammoniak vrij. Bij compostering stijgt de temperatuur naar 50 tot 70 graden, wat het composteringsproces bevordert (een zichzelf versterkend effect). Daarnaast moet er voldoende zuurstofrijke lucht worden aangevoerd; een vochtgehalte zijn tussen 40 en 60%; een C:N-verhouding tussen 1:25 en 1:30; en het materiaal moet klein (makkelijk afbreekbaar) en licht poreus (betere beluchting) zijn (Starmans et al., 2002).

Doordat potstalmest van geiten gunstige kenmerken heeft voor compostering gaat geitenmest die langere tijd op dezelfde plek ligt vaak uit zichzelf composteren. Wanneer hier verder geen menselijk handelen aan te pas komt, wordt dit passieve compostering genoemd. Bij actieve compostering worden de omstandigheden beïnvloed om daarmee het composteringsproces in gang te zetten, op gang te houden en te optimaliseren. Bij (actief) extensief composteren beperkt zich dit meestal tot het regelmatig keren van de mesthoop om daarmee de zuurstoftoevoer te bevorderen. Bij intensief composteren wordt het proces verder gecontroleerd en geoptimaliseerd door de zuurstoftoevoer, het vochtgehalte en de temperatuur te sturen. Intensief composteren vindt plaats in composteringsinstallaties, bijvoorbeeld met roterende trommels.

In plaats van het voorkomen van compostering om daarmee emissies te beperken, kan ook getracht worden om compostering op zo'n manier vorm te geven dat de emissies die hierbij vrijkomen geminimaliseerd worden. Het zijn namelijk vooral suboptimale composteringsomstandigheden die zorgen voor hoge emissies van ammoniak, methaan en lachgas (Amon et al., 2001; Sommer & Moller, 2000; Wevers et al., 2023). Hoe dichter de omstandigheden (temperatuur, vochtigheid, zuurstofgehalte) het ideaal naderen des te meer emissie vindt plaats in de vorm van stikstofgas ( $N_2$ ), wat voor het milieu onschadelijk is, in plaats van ammoniak (Groenestein & Faassen, 1996); en des te meer koolstofdioxide in plaats van methaan (Sommer & Moller, 2000).

Het lijkt erop dat het extensief composteren (regelmatisch keren van de mesthoop) eerder leidt tot een verhoging van de ammoniakuitstoot dan een verlaging (Amon et al., 2001). Niet als gevolg van compostering, maar door een verhoogde urease-activiteit (Almeida et al., 2022). Ook andere emissies lijken eerder te stijgen dan te dalen door extensief composteren (Ba et al., 2020; Hao et al., 2001). Intensief composteren – dus in composteringsinstallaties – kan wel leiden tot forse emissiereducties. Door voortdurende beweging en/of beluchting van de stromest krijgen methanogene micro-organismen geen kans zich te ontwikkelen, waardoor methaanemissie nihil is. Lachgasemissie kan fors gereduceerd worden door intensieve compostering (Starmans et al., 2002). Ammoniakemissie is bij intensief composteren doorgaans lager dan bij passief of extensief composteren, maar kan ook hoger zijn (Ba et al., 2020; Peigné & Girardin, 2004). Hoe dan ook blijft er een aanzienlijke ammoniakemissie bestaan. Om deze (verder) te verlagen kan een luchtwasser op de composteerinstallatie worden geplaatst (Wevers et al., 2023).

### **Theoretisch reductiepotentieel**

Intensief composteren kan leiden tot een methaanemissiereductie tot 90% en een lachgasemissiereductie tot 35% ten opzichte van eenzelfde hoeveelheid potstalmest op een mesthoop (Peigne & Girardin, 2004). Starmans et al. (2002) noemen geen harde cijfers, maar suggereren dat de reductie nog groter kan zijn. Ook de ammoniakemissie daalt bij intensief composteren, maar er blijft altijd een significante emissie over.

### **Overwegingen bij implementatie**

Composteren van vaste (stro)mest lijkt een moeilijk te sturen proces, waarbij zowel ammoniak als methaan als lachgas in grote hoeveelheden vrij kunnen komen (Sutton et al., 2022). Door Aarnink & Vermeij (2023) wordt compostering van vaste mest weliswaar gezien als potentiële emissiereductieoptie voor zowel ammoniak als methaan, maar zij merken deze maatregel aan als weinig betrouwbaar en moeilijk te sturen. Een betere conclusie lijkt echter dat enkel intensief composteren leidt tot betrouwbare emissiereductie, als tegenhanger van zowel passief als extensief composteren. De grote winst zit daarbij op methaan en lachgas. De ammoniakemissie wordt gereduceerd, maar blijft aanwezig. Eventueel kan deze met een kleine luchtwasser worden afgevangen. De techniek om te composteren op bedrijfsniveau is klaar voor gebruik (Wevers et al., 2023). Dit brengt echter wel forse kosten met zich mee (Mosquera et al., 2013).

Hoewel het netto-effect op broeikasgasemissies positief is, moet er wel rekening gehouden worden met het feit dat intensieve compostering veel energie kan kosten, wat een deel van de klimaatimpact weer tenietdoet (Gerber et al., 2013).

Toepassing van gecomposteerde mest verhoogt het organische stofgehalte in de bodem. Nutriënten als stikstof en fosfor zijn beter vastgelegd dan in de ongecomposteerde mest, zodat deze geleidelijker vrijkomen en er minder uitspoeling zal zijn. Deze voordelen van gecomposteerde mest leveren echter niet zo'n groot economisch voordeel op dat de investering in composteringsinstallaties rendabel wordt. Daar komt bij dat deze voordelen ook behaald kunnen worden met passieve of extensieve compostering; hoewel mogelijk in mindere mate.

De hoge temperatuur die ontstaat bij compostering kan pathogenen en onkruidzaden doden (Starmans et al., 2002). Bij intensieve compostering bestaat meer zekerheid over het bereiken van de juiste temperatuur hiervoor (minimaal 55 graden Celsius).

### Praktisch reductiepotentieel

Hoewel composteringsinstallaties die bruikbaar zijn op bedrijfsniveau praktijkrijp zijn, vragen deze een forse investering van geitenhouders. Voor veel van hen zal er weinig aanleiding zijn om hierin te investeren. Ook wanneer geitenhouders geconfronteerd worden met emissiereductiedoelen op bedrijfsniveau is het de vraag of veel van hen voor deze kapitaalintensieve maatregel zullen kiezen.

#### 6.3.4 Koelen van mest

| Koelen van mest                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | +         |
| Methaan                                | +++       |
| Lachgas                                | +         |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Neutraal  |
| Praktijkrijpheid                       | Laag      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld |
| Kosten                                 | Hoog      |

### Werkingsmechanisme

Een lagere temperatuur zorgt voor tragere microbiële processen, wat leidt tot een verlaging van emissies. Het koelen van mest kan een groot effect hebben op de ammoniak-, methaan en lachgasemissie (Aarnink et al., 2019; Mosquera et al., 2017; Slier & Velthof, 2021). Hoewel alle studies die gaan over het koelen van mest enkel ingaan op het effect bij drijfmest, is het mechanisme bij potstalmest hetzelfde. Pijlman et al. (2018) benoemen het als emissiereductieoptie voor potstalmest. Een grote uitdaging is het mixen van de mest, wat met stromest een stuk moeilijker zal zijn dan met drijfmest. Ook heeft stromest doorgaans een hogere uitgangstemperatuur dan drijfmest, omdat stromest uit zichzelf kan gaan composteren.

### Theoretisch reductiepotentieel

Puente-Rodríguez et al. (2024) komen in een experiment op een melkveebedrijf met het koelen van drijfmest tot een reductie van 69% van de totale methaanemissie uit mest. Hierbij werd de gemiddelde temperatuur van de mest teruggebracht van 13,1 naar 9,3 graden. Zij geven aan dat meer reductie mogelijk is. In ditzelfde experiment werd geen ammoniakreductie gerealiseerd. Een modelmatige studie van Wu et al. (2019) laten een reductie door koeling van drijfmest zien van 37% van de totale ammoniakemissie – 75% reductie van ammoniakemissie uit de opslag. Hierbij werd de mest gekoeld van 25 graden naar 13 graden. Puente-Rodríguez et al. (2024) komen op een lachgasemissiereductie van 52%, maar zij geven daarbij aan dat het verschil met de 0-situatie slechts zwak significant is en variaties in de lachgasuitstoot moeilijk te verklaren zijn.

### Overwegingen bij implementatie

Om mest goed te koelen is het nodig dat mest gemixt wordt. Dit brengt de moeilijkheid met zich mee dat dit zorgt voor beluchting van de mest, wat de ammoniakemissie juist stimuleert. Dit is waarschijnlijk ook de reden dat Puente-Rodríguez et al. (2024) geen ammoniakemissiereductie constateren: de reductie die zij realiseren met het koelen van de mest wordt opgeheven door de extra ammoniakuitstoot die ontstaat door het mixen. Bij potstalmest kan dit overigens een ander effect hebben dan bij drijfmest.

Beluchting zorgt enerzijds voor de aanvoer van verse lucht, waardoor de omzetting van ammonium naar ammoniak bevordert wordt (Pijlman et al., 2018). Tegelijkertijd kan extra zuurstof ervoor zorgen dat stikstof omgezet wordt in stabiele organische verbindingen waarmee de emissie van ammoniak juist beperkt wordt (Gilhespy et al., 2009). Mixen en beluchten van stromest heeft echter invloed op allerlei microbiële en biochemische processen, waardoor het precieze effect niet te voorspellen is. Gilhespy et al. (2009) geven aan dat er een risico bestaat op een hogere lachgasemissie.

Ook los van het effect op de ammoniakemissie brengt het mixen van mest uitdagingen met zich mee. Het is een uitdaging om grote hoeveelheden mest te mixen, zodat de gehele massa gelijkmatig gekoeld wordt (Puentes-Rodríguez et al., 2024). De samenstelling van potstalmest maakt het mixen een nog grotere uitdaging en dit zal meer energie kosten dan bij drijfmest. Studies waarin potstalmest op grote schaal grondig gemixt wordt zijn niet gevonden.

Puentes-Rodríguez et al. (2023) brengen de kosten in kaart van het koelen van (drijf)mest. De installatie die zij in hun experiment hebben gebruikt, zou voor €125.000 tot €135.000 exclusief btw te bouwen moeten zijn. Daarbij moet opgemerkt worden dat hiermee slechts de helft van de mest van een melkveebedrijf met ruim 100 koeien gekoeld werd. Tegelijkertijd maken de auteurs duidelijk dat het koelen van mest nog in ontwikkeling is; mogelijk dat de kosten naar de toekomst toe nog kunnen dalen.

Daarnaast zijn er operationele kosten, die voornamelijk bestaan uit energiekosten. Bij Puentes-Rodríguez et al. (2023) wordt zo'n 10.000 kWh in een jaar verbruikt, waarvan 90% voor het koelen en 10% voor het mixen van mest. Wanneer de warmte die afgevoerd wordt bij het koelen benut kan worden kunnen de energiekosten volgen Puentes-Rodríguez et al. terugverdiend worden. Om die benutting mogelijk te maken zal er echter wel extra geïnvesteerd moeten worden.

Puentes-Rodríguez et al. (2024) hebben een aantal experimenten op praktijkbedrijven uitgevoerd en naast technische en cijfermatige kennis ook diverse inzichten opgedaan over de praktijkimplementatie (zie ook Puentes-Rodríguez et al., 2023). Omdat de samenstelling van potstalmest wezenlijk anders is dan drijfmest, zijn eerst experimenten met potstalmest nodig, voordat geitenhouders hier zelf mee aan de slag kunnen.

### Praktisch reductiepotentieel

Hoewel er veel geleerd kan worden van het koelen van drijfmest, bestaan er nog diverse vragen over of en zo ja hoe het mogelijk is om dit ook bij potstalmest toe te passen. Implementatie vereist daarom allereerst een investering in onderzoek en innovatie. Mocht blijken dat het koelen van potstalmest mogelijk is en forse reductiepercentages oplevert – dat laatste ligt wel in de lijn der verwachting – dan is het vervolgens van de individuele situatie van geitenhouders afhankelijk of deze maatregel voor hen aantrekkelijk is.

## 6.3.5 Aanzuren van mest

| Aanzuren van mest                      |                       |
|----------------------------------------|-----------------------|
| Ammoniak                               | +++                   |
| Methaan                                | +++                   |
| Lachgas                                | ++                    |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Neutraal tot negatief |
| Praktijkrijpheid                       | Laag                  |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld             |
| Kosten                                 | Gemiddeld tot hoog    |

### Werkingsmechanisme

De hoogte van de ammoniakemissie is onder meer afhankelijk van de zuurgraad van de mest. Bij een lagere pH-waarde wordt er minder ammonium omgezet naar ammoniak (Monteny et al., 1998; Philippe et al., 2011). Dat betekent dat het aanzuren van de mest zorgt voor een lagere ammoniakemissie (Bussink & van Rotterdam-Los, 2011; Mosquera et al., 2017).

Ook de methaanemissie wordt beïnvloed door de zuurgraad van de mest. Bij een lagere zuurgraad hebben methaanvormende micro-organismen meer moeite om zich te ontwikkelen, wat betekent dat het aanzuren

---

van mest methaanemissie beperkt (Puente-Rodríguez et al., 2022). Ook microbiële processen die verantwoordelijk zijn voor de emissie van lachgas worden geremd (Bussink & Van Rotterdam-Los, 2011).

Onderzoek toont aan dat het kiezen van strooisel met een lage pH-waarde een verwaarloosbaar effect heeft op de zuurgraad van (stro)mest. De pH van urine is bepalend (Misselbrook & Powell, 2005). Om de zuurgraad te verlagen moeten daarom zuren aan de mest toegevoegd worden. Mest heeft echter een sterk bufferend vermogen, wat betekent dat de pH-waarde minder snel daalt dan verwacht zou worden bij aanzuren en in de loop van de tijd weer kan stijgen door chemische en biologische processen in de mest. Dit betekent dat aanzuren vaak geen eenmalige actie is, maar periodiek moet gebeuren (Bussink & Van Rotterdam-Los, 2011). Dit is onder meer afhankelijk van de opslagduur, samenstelling van de mest en de gewenste pH-waarde.

### **Theoretisch reductiepotentieel**

Puente-Rodríguez & Groenestein (2019) geven aan dat met behulp van zwavelzuur de pH-waarde van drijfmest van varkens teruggebracht kan worden tot onder de 6. Daarmee kan volgens verschillende studies waar zij naar verwijzen een methaanemissiereductie van 65-90% gerealiseerd worden. Bij koeienmest werden reductiepercentages tot 57% gerealiseerd. Petersen et al. (2014) komen bij het aanzuren van drijfmest van varkens tot een methaanemissiereductie boven de 90%: niet alleen bij een pH van 5,5, maar ook wanneer deze slechts tot 6,5 wordt teruggebracht. Bussink et al. (2012) komen met het aanzuren van drijfmest tot een pH van 5,5 uit op een ammoniakreductie van 90% in de opslag. Over de gehele mestketen op het bedrijf (stal, opslag, aanwending) is dit een reductie van 53-68% (zie ook Bussink & Van Rotterdam-Los, 2011). Ook Petersen et al. (2014) realiseren een ammoniakemissiereductie van 84%. Daarvoor moet de pH wel teruggebracht worden tot 5,5. Bij een pH van 6,5 blijft de reductie beperkt tot 49%. Bij potstalmest van geiten zal met dezelfde behandeling waarschijnlijk niet tot dezelfde reductiepercentages gekomen worden. Potstalmest heeft een hoge C:N-verhouding en bevat veel organische stof. Dit resulteert in een hoger bufferend vermogen (Puente-Rodríguez & Groenestein, 2019). Dit zal betekenen dat meer zuur gebruikt moet worden en dat – vanwege praktische beperkingen en veiligheidsrisico's – waarschijnlijk genoegen genomen moet worden met een lagere reductiepercentages.

### **Overwegingen bij implementatie**

Het aanzuren van mest brengt kosten met zich mee, omdat er geïnvesteerd moet worden in apparatuur, de mestopslag moet mogelijk worden aangepast en zuur moet worden aangekocht. Volgens Puente-Rodríguez et al. (2022) zijn de kosten die komen kijken bij het aanzuren van mest vergelijkbaar met de kosten van emissiearme vloeren en luchtwassers. Investeringskosten van het Deense systeem op melkvee- en varkensbedrijven ligt rond de €75.000 (Brusselman et al., 2016).

Het gebruik van zuren brengt risico's met zich mee (Bussink & van Rotterdam-Los, 2011; Puente-Rodríguez et al., 2022). Het gebruik van bijvoorbeeld zwavelzuur verhoogt het risico op calamiteiten op het bedrijf. Zwavelzuur en andere zuren kunnen brandwonden veroorzaken bij mens en dier. Inademing van dampen van het zuur kan schade aan de luchtwegen veroorzaken. Er bestaat kans dat er waterstofsulfidegas ontstaat wat giftig is voor mens en dier, en zelfs dodelijk kan zijn. Daarnaast kunnen zuren betonnen vloeren en opslagen aantasten, vooral bij grote hoeveelheden zwavel in de mest. Moderne betonsoorten met toevoegingen als vliegias zijn echter minder gevoelig voor deze aantasting.

In plaats van anorganische zuren zoals zwavelzuur kan ook gekozen worden voor het gebruik van organische zuren. Hierbij worden naast zuurproducerende micro-organismen bijvoorbeeld melasse of zetmeel aan de mest toegevoegd. Ook zeoliet kan gebruikt worden om mest aan te zuren. Biologisch aanzuren lijkt minder schadelijke effecten te hebben, maar is ook minder sterk waardoor er meer van nodig is om eenzelfde zuurgraad te bereiken (Puente-Rodríguez et al., 2022).

Ondanks al deze bezwaren is het wel degelijk mogelijk om zuren toe te passen op veehouderijbedrijven. Naast de emissiereducties die gerealiseerd zijn in de genoemde onderzoeken is hier op Denemarken inmiddels al meer dan 10 jaar ervaring mee (Petersen et al., 2014; Puente-Rodríguez & Groenestein, 2019). Bij het aanzuren van potstalmest zijn echter nog wat aanvullende knelpunten in vergelijking met het aanzuren van drijfmest.

Om mest aan te zuren en een consistentie pH te krijgen in de gehele massa moet de mest gemixt worden. Zoals besproken in paragraaf 6.3.4 over het koelen van mest is dit bij potstalmest een grotere uitdaging dan bij drijfmest. Bij bepaalde (succesvolle) technieken voor het aanzuren van drijfmest moet mest niet alleen gemixt, maar ook rondgepompt worden (Brusselman et al., 2016). Dat lijkt bij potstalmest vrijwel onmogelijk. Daarnaast ligt mest in het potstalsysteem doorgaans eerst een aantal weken tot maanden in de stal, voordat het opgeslagen wordt. In de potstal kan mest vanwege veiligheidsrisico's en praktische redenen niet aangezuurd worden, waardoor een groot deel van het reductiepotentieel van aanzuren verloren gaat – dit geldt vooral voor ammoniak; in mindere mate voor methaan (Brusselman et al., 2016). Daar komt nog bij dat potstalmest, zoals eerder vermeld, een grotere buffercapaciteit heeft dan drijfmest. Bij Puente-Rodríguez & Groenestein (2019) is de methaanemissiereductie bij koeienmest een stuk lager dan bij varkensmest. Waarschijnlijk wordt dit verschil veroorzaakt door de samenstelling van de mest. Bij potstalmest is deze samenstelling nog onvoordeliger met het oog op emissiereductie door aanzuren. Desondanks noemen Pijlman et al. (2018) aanzuren wel als mogelijkheid om emissies van potstallen te reduceren.

### Praktisch reductiepotentieel

Zoals de bespreking hierboven duidelijk maakt zijn er diverse mitsen en maren bij het aanzuren van mest om daarmee emissies te reduceren. Bij het aanzuren specifiek van potstalmest komen daar nog diverse vragen bij, waarvan een groot deel betrekking heeft op de praktische uitvoerbaarheid. Tegelijkertijd laten de studies waarin drijfmest is aangezuurd zien dat er forse emissiereducties behaald kunnen worden; zowel op het gebied van ammoniak als van methaan; waarschijnlijk ook lachgas. Ook als de emissiereductie bij potstalmest lager uitvalt, kan dit nog steeds meer opleveren dan veel andere maatregelen. Voordat dit toegepast kan worden moet echter wel onderzoek en innovatie plaatsvinden.

## 6.3.6 Vergisten en productie van biogas

| Vergisten en productie van biogas      |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | +         |
| Methaan                                | +++       |
| Lachgas                                | 0         |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Positief  |
| Praktijkrijpheid                       | Laag      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld |
| Kosten                                 | Hoog      |

Om methaanemissie te reduceren wordt met verschillende maatregelen getracht om de vergisting van mest zoveel mogelijk tegen te gaan. Het is echter ook mogelijk om methaan wel te laten ontstaan en deze vervolgens af te vangen. Met behulp van een biofilter, een bodemfilter of een fakkel kan methaan die ontstaat in de opslag omgezet worden in koolstofdioxide (Maasdam et al., 2024). Het is ook mogelijk om het ontstane methaan te benutten als biogas door middel van een vergistingsinstallatie.

### Werkingsmechanisme

In een vergistingsinstallatie wordt methaanproductie gestimuleerd om deze te benutten voor de productie van warmte of elektriciteit. Ook kan methaan uit mest ingevoerd worden op het aardgasnetwerk, hoewel het biogas daarvoor wel aan een aantal aanvullende kwaliteitseisen moet voldoen. Het opwekken van biogas uit mest heeft daarmee een dubbel positief duurzaamheidseffect. Het helpt niet alleen de methaanuitstoot uit de mestopslag te verminderen, maar het draagt ook bij aan de transitie naar een duurzame energievoorziening. In potentie komt er meer methaan en dus biogas uit stromest dan uit drijfmest. Pure vast mest heeft een C:N-verhouding van ongeveer 4:1. Vaste mest die gemengd is met een behoorlijke hoeveelheid stro heeft al snel een C:N-verhouding van 20:1. Stro (koolstof) kan gezien worden als brandstof voor methaanproducerende micro-organismen. Vergisting komt bij stromest doorgaans veel sneller en makkelijker op gang dan bij drijfmest (Loyon, 2018).

### Theoretisch reductiepotentieel

In een scenariostudie naar monovergisting van drijfmest (bij melkvee) komen Groenestein et al. (2020) uit op een methaanemissiereductie uit mest van 61-75%. Daarbij hebben zij niet alleen rekening gehouden met

lekkage (wat beperkt kan worden tot 1 of 2%), maar ook met methaanemissie vóór het vergisten in de stal en na het vergisten in de opslag. Er is uitgegaan van regelmatig uitmesten van de stal: elke 1 tot 3 weken. Gollenbeek (2022) laat zien dat het reductiepercentage nog verder verhoogd zou kunnen worden wanneer er sprake is van dagontmesting. Monovergisting heeft geen significant effect op de uitstoot van lachgas en ammoniak (Groenestein et al., 2020; Gollenbeek, 2022). In een scenariostudie van Evers et al. (2019) is de methaanemissiereductie een stuk lager, maar is er wel sprake van lichte ammoniakemissiereductie.

### Overwegingen bij implementatie

De huidige vergistingsinstallaties zijn gemaakt voor drijfmest en zijn niet geschikt voor de vergisting van vaste mest. Wel kan vaste mest, dus ook potstalmest, in sommige installaties worden bijgemengd bij de drijfmest die vergist wordt. Dit verhoogt de biogasopbrengst (Casu & Verdoes, 2021). Vaste mest kan ook in containerachtige installaties vergist worden. Daarbij moet de mest met sjofels in en uit worden gereden. Deze manier van mest vergisten is arbeidsintensief en duur. Ook voor drijfmest geldt dat vergisting voor biogasproductie economisch niet interessant is zonder subsidie (Gollenbeek, 2022; Migchels et al., 2011), hoewel een stuk kosteneffectiever dan de bestaande vergistingsinstallaties voor vaste mest. Met de stijgende energieprijzen is er minder subsidie nodig om vergisting rendabel te maken (Gollenbeek, 2022).

Door dagverse mest te gebruiken wordt methaanvorming in de stal zoveel mogelijk voorkomen en is een maximale hoeveelheid organische stof aanwezig in de mestvergister voor de productie van biogas. Bij een potstal ligt de mest doorgaans een aantal weken tot maanden in de stal. Dagelijks uitmesten lijkt in dit systeem ondoenlijk; daarvoor zou een ander mestmanagement en mogelijk ook een ander stalsysteem gekozen moeten worden. Mogelijk kan met het maandelijks of zelfs één keer per twee maanden uitmesten van de potstal de methaanemissie uit mest fors gereduceerd worden, terwijl de biogasproductie dicht bij het optimum komt. Nader onderzoek is hier nodig.

De bouw van mestvergisters kan tot weerstand leiden bij omwonenden (Migchels et al., 2011). Vergisters lijken echter geen schadelijke effecten te hebben voor de gezondheid van omwonenden; wel kunnen ze stankoverlast veroorzaken (Heezen et al., 2015). De mest die overblijft na vergisting – digestaat – bevat minder koolstof en werkt sneller in de bodem. Het wordt gezien als een waardevolle meststof – hoewel wel afhankelijk van de precieze toepassing – die kunstmest kan vervangen.

### Praktisch reductiepotentieel

Vergisting van potstalmest lijkt een kansrijke maatregel om tot methaanemissiereductie te komen. Op dit moment lijkt het echter alleen haalbaar om dat te doen door potstalmest bij te mengen in bestaande vergistingsinstallaties voor drijfmest. Bestaande vergistingsinstallaties voor vaste mest zijn duur; mogelijk dat inzet op innovatie op dit vlak dit zou kunnen veranderen.

## 6.4 Aanpassingen in of aan de stal

### 6.4.1 Meer strooisel

De aanwezigheid van strooisel in de potstal zorgt ervoor dat emissies van ammoniak, methaan en lachgas over het algemeen hoger zijn dan in systemen met drijfmest (Møller et al., 2004; Pijlman et al., 2018; Vonk et al., 2023; Webb et al., 2012). Echter, wanneer eenmaal gekozen is voor een systeem met stromest, kan het toevoegen van meer stro tot emissiereductie leiden.

| Meer strooisel                         |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | +         |
| Methaan                                | +         |
| Lachgas                                | -/+       |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Negatief  |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld |
| Kosten                                 | Hoog      |



---

## Werkingsmechanisme

Het toevoegen van extra stro in de potstal kan om verschillende redenen leiden tot een lagere ammoniakemissie. Wanneer stromest wordt toegedekt met een nieuwe laag stro wordt het emitterend oppervlak verkleind en de luchtuitwisseling beperkt (Gilhespy et al., 2009; Groenestein & Reitsma, 1993). Op vers stro zit ook urease, maar minder dan op vervuild stro, waardoor het langer duurt voordat er ammoniak ontstaat. Ook zorgt de toevoeging van stro ervoor dat een groter deel van het aanwezige minerale ureum en de ammoniakale stikstof organisch gebonden kan worden, waardoor er minder minerale stikstof geëmitteerd wordt als ammoniak (Philippe et al., 2011; Smeding & Langhout, 2006). Daarnaast kan er door een grotere hoeveelheid stro meer vocht geabsorbeerd worden, waardoor er minder ureum-N in contact kan komen met urease (Sutton et al., 2015). Deze mechanismen worden niet alleen versterkt door een grotere hoeveelheid stro, maar ook door vaker instrooien of het extra instrooien van specifieke natte of bevulde plekken (Gilhespy et al., 2009).

Er zijn overigens ook mechanismen waardoor meer stro ammoniakemissie stimuleert. Meer stro kan zorgen voor meer compostering en daarmee de ammoniakemissie verhogen (Gilhespy et al., 2009). Meer stro kan ook zorgen voor luchtigere omstandigheden en meer luchtuitwisseling, waardoor de ammoniakemissie toeneemt (Mathot et al., 2020). De emissiereducerende effecten lijken echter te domineren wanneer extra stro wordt toegevoegd.

Het verhogen van de hoeveelheid stro, vooral boven in de pot, kan methanotrofe micro-organismen stimuleren die methaan gebruiken en koolstofdioxide uitstoten. Dit kan voor een forse emissiereductie zorgen, maar het is onduidelijk wanneer de omstandigheden precies goed zijn voor deze micro-organismen (Petersen et al., 2013). Bij strooiselmest van varkens zorgt meer stro voor meer aerobe omstandigheden en meer compostering. Dit resulteert in meer koolstofdioxideproductie en minder methaanemissie (Sommer & Møller, 2000).

Het verhogen van de hoeveelheid stro kan ook helpen om de lachgasemissie te reduceren doordat er minder anaerobe omstandigheden zijn (Almeida et al., 2022; Sommer & Møller, 2000).

## Theoretisch reductiepotentieel

Het effect van het toevoegen van extra strooisel aan de potstal is erg wisselend (Gilhespy et al., 2009): bij rundvee zorgde 33% meer stro voor een ammoniakreductie van 50%. Bij varkens zorgde een verdubbeling van de hoeveelheid stro voor een ammoniakreductie van 20%. In verschillende studies wordt de hoeveelheid stro in potstalmest opgevoerd wanneer deze zich in de opslag bevindt (zie ook paragraaf 6.3.2). Dit leidt tot methaanreductiepercentages tot 66% (Ba et al., 2020; Yamulki, 2006; Petersen et al., 2013) en een lachgasemissiereductie van 42% (Yamulki, 2006). Deze cijfers kunnen echter niet zomaar vertaald worden naar de situatie in de stal, omdat er veel factoren van invloed zijn op deze emissies (Sutton et al., 2015).

## Overwegingen bij implementatie

In paragraaf 6.3.2 is reeds besproken dat stro schaars is en dat het opvoeren van het strogebruik kan leiden tot een prijsstijging. Daarmee ontstaat een dubbele kostenverhoging voor geitenhouders: een toename van het strovolume dat zij aankopen én een hogere prijs (ook voor de hoeveelheid die zij aanvankelijk kochten). Daarnaast kan de vraag worden gesteld hoe duurzaam het is wanneer (meer) stro uit het buitenland wordt gehaald (Slier et al., 2022). Ook ander strooisel is niet zomaar voorhanden.

Wel geven geitenhouders zelf aan dat het strogebruik tussen bedrijven nogal kan variëren. Mogelijk dat een verhoging van het strogebruik op specifieke bedrijven ertoe kan leiden dat zij hun emissieniveaus terug kunnen brengen naar het niveau van hun collega's. Dit is echter nogal hypothetisch. Hoewel studies als die van Mosquera et al. (2025) gedetailleerde informatie geven over de specifieke omstandigheden op bedrijven, zijn dit soort studies eigenlijk altijd zo kleinschalig en de invloedsfactoren zo talrijk, dat hier erg weinig geleerd kan worden van het effect van specifieke managementpraktijken (zoals de hoeveelheid stro die gebruikt wordt). Nader onderzoek, specifiek gericht op het effect van dit soort praktijken, zou hier meer duidelijkheid in kunnen verschaffen.

### Praktisch reductiepotentieel

Hoewel er veel onzekerheden zijn lijkt het opvoeren van de hoeveelheid stro te kunnen leiden tot een significante reductie van de ammoniak-, methaan en lachgasemissie. Daarbij is wel de vraag of dit een kosteneffectieve maatregel kan zijn (in vergelijking met andere mogelijke emissiereducerende maatregelen). Ook moet meegewogen worden dat naarmate er meer stro wordt gebruikt, dit telkens verder weg gehaald moet worden. De vraag komt op of er specifieke bedrijven zijn met een structureel laag strogebruik waar bovengemiddeld veel emissiereductie te behalen is met een beperkte hoeveelheid extra stro. Hiervoor is echter eerst nader onderzoek nodig. En wanneer daarmee de hypothese bevestigd zou worden, is vervolgens de uitdaging hoe geitenhouders gestimuleerd kunnen worden om hun stroverbruik op te voeren.

#### 6.4.2 Ander strooisel

In de Nederlandse melkgeitenhouderij wordt voornamelijk stro als strooisel gebruikt. Andere strooisels behoren tot de mogelijkheden en worden op kleine schaal toegepast. Structureel gebruik van ander strooisel kan leiden tot emissiereductie, maar kan emissies ook vergroten.

| Ander strooisel                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Ammoniak                               | -/+       |
| Methaan                                | -/+       |
| Lachgas                                | -/+       |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Wisselend |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog      |
| Verandering bedrijfsvoering            | Klein     |
| Kosten                                 | Wisselend |

### Werkingsmechanisme

Strooisel heeft diverse eigenschappen die gezamenlijk van invloed zijn op de ammoniakemissie: C:N-ratio, absorberend vermogen, afdekkend vermogen, effect op diergedrag, effect op temperatuur. Het veranderen van strooisel kan een forse impact hebben op de totale emissie (Sutton et al., 2022), maar welke eigenschappen daarbij doorslaggevend zijn onder welke omstandigheden is onduidelijk. Dat geldt in het bijzonder voor geitenmest, waar geen onderzoek gedaan is naar verschillende soorten strooisels.

Het veranderen van het type strooisel kan dus een groot effect hebben op de ammoniakuitstoot. Daarmee verandert echter vaak ook de methaan- en/of lachgasemissie. In verschillende studies is een vergelijking gemaakt tussen het gebruik van stro enerzijds en het gebruik van zaagsel, houtsnippers of houtkrullen anderzijds. Daaruit blijkt dat stro een hogere ammoniakemissie oplevert (Cabaraux et al., 2009; Nicks et al., 2004; Philippe et al., 2011). De methaanemissie is (iets) lager bij houtsnippers of zaagsel dan bij tarwestro. De lachgasuitstoot is echter zoveel hoger bij houtproducten dat de totale klimaatimpact van zaagsel volgens Cabaraux et al. (2009) wel een factor 5 hoger is dan die van stro. Of dit bij geitenmest ook zo is, is niet bekend; wel komen Mosquera et al. (2025) uit op een opvallend lage lachgasuitstoot bij het gebruik van stro in een geitenpotstal, zoals besproken in paragraaf 5.2.2.

Het gebruik van zand geeft een lagere ammoniakemissie dan houtkrullen, stro en maïskuil (Misselbrook & Powell, 2005). Dit lijkt te komen doordat bij zand organisch materiaal ontbreekt dat compostering stimuleert (Brusselman et al., 2016; Groenestein et al., 2006). Maar Misselbrook & Powell (2005) suggereren dat dit effect mogelijk opgeheven wordt wanneer de hoeveelheid strooisel wordt opgevoerd, omdat daarmee het absorberend vermogen – van bijvoorbeeld stro – een grotere rol gaat spelen, waardoor er minder ureum-N beschikbaar is om in contact te komen met urease.

Een strooisel dat bestaat uit turf en gehakseld stro geeft zowel bij vleesvarkens (Jeppsson, 1998) als bij jongvee van koeien (Jeppsson, 1999) een ammoniakreductie van meer dan 50% ten opzichte van een strooisel van houtkrullen en stro. Turf heeft een hoge absorptiecapaciteit, zowel als het gaat om vocht als om ammoniak. Daarnaast heeft het een lage pH-waarde en een hoge C:N-ratio. Probleem is dat de winning van turf/veen nadelige gevolgen heeft voor zowel klimaat als biodiversiteit (Rommers et al., 2020). Wat de effecten zijn van het gebruik van turf op de emissie van methaan en lachgas is niet onderzocht. Er lijken

geen andere typen strooisel – die beter te verkrijgen zijn en met minder milieu-impact – die zo’n sterke ammoniakemissiereductie laten zien. Over de principes die achter de verschillen in emissies schuilgaan wordt door de auteurs in de geciteerde artikelen wel gespeculeerd, maar het blijkt lastig om precies te duiden wat de mechanismen zijn, hoe die elkaar beïnvloeden en welke daarvan in welke situatie dominant zijn.

### Theoretisch reductiepotentieel

Door bijvoorbeeld turf in combinatie met stro te gebruiken – in plaats van stro met houtkrullen – kan een ammoniakemissiereductie in de stal behaald worden van 50% (Jeppsson, 1998; 1999). Door stro te vervangen door zaagsel kan de methaanemissie verlaagd worden met zo’n 33% en er is ook een forse ammoniakemissiereductie mogelijk. Zaagsel produceert echter wel veel meer lachgas dan stro (Nicks et al., 2004; Cabaraux et al., 2009).

Deze resultaten kunnen niet zomaar vertaald worden naar de Nederlandse melkgeitenhouderij, omdat de aangehaalde onderzoeken veelal kleinschalig zijn, uitgevoerd bij koeien en varkens, en er vele factoren zijn die in de experimenten niet goed gecontroleerd zijn. De algehele conclusie is dan ook dat er met betrekking tot het type strooisel en emissies nog veel onbekend is. Illustratief hiervoor is het feit dat Blanes-Vidal et al. (2008) constateren dat het gebruik van stro in plaats van maaskuil als strooisel zorgt voor een stijging van de ammoniakemissie van 32%, terwijl Misselbrook & Powell (2005) juist tot de conclusie komen dat wanneer stro wordt gebruikt in plaats van maaskuil, de ammoniakemissie daalt.

### Overwegingen bij implementatie

Vanwege de vele eigenschappen van strooisels die allemaal een rol kunnen spelen bij de hoogte van de verschillende emissies, is het niet mogelijk om tot eenduidige principes te komen die kunnen helpen om met strooiselkeuze de emissies te verlagen. Naast het feit dat er veel onbekenden zijn blijkt dat het veranderen van strooisel vrijwel altijd voor- en nadelen oplevert, waarbij een reductie van de ammoniakemissie bijvoorbeeld gepaard gaat met een verhoging van de lachgasemissie.

Voordat er op bedrijfsniveau veranderingen doorgevoerd worden (of deze gestimuleerd worden vanuit beleid of markt), zou eerst meer inzicht opgedaan moeten worden wat de keuze voor verschillende strooisels betekent voor de verschillende emissies. Naast die emissies moet ook rekening gehouden worden met economische aspecten, de gevolgen voor de mestkwaliteit en duurzaamheidsfactoren – anders dan emissies – zoals diergezondheid en dierenwelzijn (de consequenties die andere strooisels hebben voor het dier) en diverse milieuaspecten (transportkilometers, effecten van winning). Daarbij kan ook gekeken worden naar strooisels waar nu nog nauwelijks onderzoek naar gedaan is. In de literatuur wordt veel verwezen naar zaagsel, houtsnippers en houtkrullen, maar geitenhouders in Nederland werken bijvoorbeeld veel vaker met vlas; een product dat in de literatuur nauwelijks genoemd wordt.

### Praktisch reductiepotentieel

Overstappen op een ander strooisel is relatief eenvoudig in vergelijking met veel andere maatregelen. Echter is het moeilijk in te schatten wat in het geval van de potstal bij geiten precies het effect zal zijn op de hoogte van de emissies en op andere vlakken. Wanneer de Nederlandse melkgeitenhouderij ervoor kiest om het huidige stalsysteem te behouden, lijkt het de moeite waard om deze effecten beter in beeld te brengen. Op die manier kunnen op de langere termijn mogelijk wel emissies gereduceerd worden door te kiezen voor alternatieve strooisels.

## 6.4.3 Luchtwassers

| Luchtwassers                           |       |
|----------------------------------------|-------|
| Ammoniak                               | +++   |
| Methaan                                | 0     |
| Lachgas                                | 0     |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | -/+   |
| Praktijkrijpheid                       | Hoog  |
| Verandering bedrijfsvoering            | Klein |
| Kosten                                 | Hoog  |

---

### **Werkingsmechanisme**

Met luchtwassers wordt de ammoniakemissie niet voorkomen, maar uit de lucht gewassen voordat deze de stal verlaat. Ventilatielucht uit de stal wordt door een luchtkanaal naar de luchtwasser geleid. In de wassectie komt de lucht in aanraking met een wasvloeistof die doorgaans verrijkt is met chemicaliën (zoals zwavelzuur) of biologische middelen. Ammoniak wordt opgelost in de wasvloeistof. De gereinigde lucht wordt vervolgens naar buiten toe afgevoerd.

### **Theoretisch reductiepotentieel**

Met luchtwassers in de melkgeitenhouderij kunnen ammoniakreductiepercentages gehaald worden van 60-90% (Omgevingsregeling, 2024).

### **Overwegingen bij implementatie**

Een klein aantal grote nieuwgebouwde geitenstallen zijn uitgerust met mechanische ventilatie en luchtwassers. Ook voor bestaande stallen kan een luchtwasser een optie zijn. Luchtwassers kunnen echter alleen effectief werken in een situatie waarin de luchtstroom gestuurd kan worden. De overgrote meerderheid van de geitenstallen in Nederland is natuurlijk geventileerd en de luchtstromen zijn daar maar in beperkte mate te sturen. De vrije luchtstromen maken het moeilijk om de lucht naar een centrale plaats te leiden waar een luchtwasser de emissies kan reinigen. Om dit toch voor elkaar te krijgen zijn structurele aanpassingen aan de stal vereist. De kosten die hieraan verbonden zijn komen boven op de kosten van de luchtwasser zelf. Die kost doorgaans tussen de €50.000 en €150.000. Voor de melkgeitenhouderij zijn zowel chemische als biologische luchtwassers beschikbaar. Sommige geitenhouders hebben hun twijfels bij het functioneren van de biologische luchtwassers. In de biologische melkgeitenhouderij is natuurlijke ventilatie verplicht. Voor biologische geitenhouders lijkt een luchtwasser daarom geen oplossing te bieden.

Het grote voordeel van luchtwassers is dat heel eenvoudig te controleren is of veehouders er één hebben of niet. Het probleem daarbij is dat de aanwezigheid van een luchtwasser met een bepaald reductiepotentieel nog niet wil zeggen dat dat potentieel ook behaald wordt. Bij nametingen blijkt de ammoniakemissie vaak hoger dan verwacht zou mogen worden (Maasdam et al., 2021). De effectiviteit van luchtwassers is onder meer afhankelijk van het gebruik en de aandacht die veehouders hieraan besteden. Geitenhouders geven aan dat er in de Nederlandse melkgeitenhouderij weinig ervaring is met het werken met luchtwassers. Kennis en kunde hierover zou eerst moeten worden opgebouwd.

Tegelijkertijd zijn er geitenhouders die aangeven niet met luchtwassers te willen werken. Zij hechten veel waarde aan het open karakter van de stallen en de directe verbinding met de buitenlucht. Dit open karakter kan ook een effect hebben op het imago van de melkgeitenhouderij (zie bespreking hierover met betrekking tot melkvee in Puente-Rodríguez & Bos, 2019).

Afhankelijk van het type luchtwasser kunnen in sommige gevallen ook fijnstof en geur gereduceerd worden. Mogelijk hebben luchtwassers die fijnstof afvangen ook een positief effect op de gezondheid van omwonenden, maar hierover zijn nog veel vragen (Winkel et al., 2016). Echter, luchtwassers dragen niet bij aan het reduceren van methaan en lachgas. Daar komt bij dat luchtwassers veel energie verbruiken. Dit brengt kosten met zich mee voor de geitenhouder – naast kosten voor aanschaf van chemische middelen en onderhoud – en draagt in negatieve zin bij aan de klimaatimpact.

Ondanks de kosten en kanttekeningen lijken geitenhouders op dit moment aangewezen op luchtwassers. Voor de Omgevingswet worden enkel luchtwassers erkend als emissiereducerende systemen. In de provincie Noord-Brabant zijn geitenhouders vanaf 2024 verplicht om minimaal 70% ammoniak te reduceren (biologische bedrijven en bedrijven met minder dan 500 melkgeiten uitgezonderd). Zij lijken nu min of meer gedwongen te worden om een luchtwasser te plaatsen. Geitenhouders die na 2024 een nieuwe vergunning aanvragen moeten zelfs 85% ammoniakreductie halen.

### **Praktisch reductiepotentieel**

De implementatie van luchtwassers op melkgeitenbedrijven vraagt een forse investering van geitenhouders; niet alleen in de luchtwassers zelf, maar ook in stalaanpassingen die mechanische ventilatie mogelijk maken. Dit maakt het voor veel geitenhouders niet tot een aantrekkelijke mogelijkheid.

Tegelijkertijd is het wel een heel duidelijke maatregel die – het kostenaspect daargelaten en biologische bedrijven uitgezonderd – in principe op elk bedrijf toegepast kan worden. Ammoniakemissiereductie is daarmee gegarandeerd; hoewel er sterk getwijfeld wordt of de beloofde reductiepercentages behaald zullen worden.

## 6.5 Aanpassingen in de bedrijfsvoering

### 6.5.1 Optimaliseren van productie

| Optimaliseren van productie            |                                            |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Ammoniak                               | +                                          |
| Methaan                                | +                                          |
| Lachgas                                | +                                          |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | -                                          |
| Praktijkrijpheid                       | Laag tot gemiddeld                         |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld                                  |
| Kosten                                 | Na investeringen, mogelijk hoger rendement |

#### Werkingsmechanisme

Er is een sterke relatie tussen de melkproductie per dier en de klimaatimpact. Hoewel de absolute methaanuitstoot per dier stijgt bij een hogere productie, zijn er minder dieren nodig voor dezelfde hoeveelheid product, waarmee de klimaatimpact afneemt. Hoogproductieve dieren zijn in verhouding namelijk minder energie kwijt aan niet-productieve zaken als onderhoud (Gerber et al., 2011; Opio et al., 2013). Kortom, een hogere melkproductie draagt bij aan een lagere methaanuitstoot. Tegelijkertijd kan hiermee de ammoniakemissie dalen. Doordat minder dieren gehouden worden is er minder mest in de stal en zal de totale staloppervlakte waarschijnlijk kleiner zijn. Dit leidt tot een lagere ammoniakuitstoot.

Wat op dierniveau geldt, gaat ook op voor kuddeniveau: wanneer er minder jongvee en andere niet-productieve dieren aanwezig zijn, wordt de methaanuitstoot per kilo melk lager. Hetzelfde geldt voor de ammoniakuitstoot. Een langere levensduur, minder jongvee en een hogere gezondheidsstatus dragen bij aan lagere emissies per liter melk (Gerber et al., 2011; Vellinga, 2023). Door meer te gaan duurmelen hebben geitenhouders in de afgelopen jaren waarschijnlijk emissies gereduceerd.

#### Theoretisch reductiepotentieel

Geitenhouders geven aan dat er een groot verschil bestaat tussen de minst productieve en meest productieve dieren in de kudde. Dit loopt uiteen van 2 liter per dier per dag tot 6 of zelfs 8 liter per dag. Het uitbreiden van het aantal hoogproductieve dieren ten koste van het aantal laagproductieve dieren zou een emissiereductie op kunnen leveren van enkele tientallen procenten. Er zijn geen studies gevonden waarin dit effect voor geiten in kaart is gebracht. Wel laten LCA-studies laten zien dat hoogproductieve geiten in Nieuw-Zeeland (Robertson et al., 2015) en Frankrijk (Kanyarushoki et al., 2008) een carbon footprint hebben van zo'n 1 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per kilo melk, tegenover een wereldwijd gemiddelde (grotendeels bepaald door laagproductieve, extensief gehouden geiten) van 5 kg CO<sub>2</sub>-eq per kilo melk (Opio et al., 2013). Bij het verklaren van dit verschil spelen overigens meer factoren een rol dan enkel de productiviteit per dier.

Overigens zijn er ook grenzen aan de relatie tussen een hogere productie per dier en de emissie-impact per kilogram eindproduct. Wanneer een verdere verhoging van de productie een steeds hoger aandeel externe input vereist, nemen de emissies per kilogram eindproduct op een gegeven moment weer toe. Van Grinsven et al. (2019) laten voor de veehouderij als geheel zien dat Nederland weliswaar de hoogste productiviteit per dier heeft binnen de Europese Unie, maar daarmee niet het meest efficiënt produceert als het over methaanemissie per kilogram product gaat. Waar het optimum voor de melkgeitenhouderij ligt is onbekend; er moet vanuit worden gegaan dat het verhogen van de productiviteit voor emissies een beperkt effect zal hebben.

Van Grinsven et al. (2019) laten ook zien dat Nederland qua ammoniakuitstoot per kilo eindproduct een stuk beter scoort dan andere Europese landen. Dit komt echter primair voort uit de strenge ammoniakwetgeving in Nederland en slechts in beperkte mate door de hoge productie per dier.

### Overwegingen bij implementatie

Mede door het grote aantal dieren op melkgeitenbedrijven (grootweg 10 keer zoveel voor eenzelfde hoeveelheid melk als op melkveebedrijven) is de (individuele) dier- en dataregistratie beperkt. Dit maakt het moeilijker om laagproductieve en hoogproductieve dieren van elkaar te onderscheiden. Wanneer dat wel mogelijk was, zouden veel melkgeitenhouders hier waarschijnlijk meer gebruik van maken, omdat bij deze maatregel emissiereductie gelijk staat aan een hoger economisch rendement. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat – ook als de techniek op de bedrijven dit faciliteert – deze maatregel niet zo eenvoudig geïmplementeerd kan worden als het lijkt. Wanneer melkgeitenhouders inzetten op fokken met hoogproductieve dieren en laagproductieve dieren eventueel versneld afvoeren, duurt het enkele jaren voordat deze maatregel effect heeft. En intensief fokken met hoogproductieve dieren betekent dat juist bij die dieren minder gebruik gemaakt kan worden van duurmelken. Daarmee kan ook minder goed bepaald worden in hoeverre geiten geschikt zijn voor duurmelken. Bij de selectie voor reproductie hebben geitenhouders rekening te houden met verschillende factoren die zij tegen elkaar moeten afwegen.

Een hogere productie per geit heeft niet enkel voordelen. Er zijn diverse duurzaamheidsaspecten waar in potentie een negatief effect gerealiseerd kan worden. Een hoge eco-efficiëntie op dierniveau of per kilo eindproduct (goedkoper en milieuvriendelijker) gaat vaak gepaard met een hoge milieudruk per hectare (landbouw)grond. Dat betekent een hoge lokale milieudruk (Van Grinsven et al., 2019). Dit effect ontstaat vaak en wordt versterkt doordat ammoniakruimte die ontstaat door emissiereductie opgevuld wordt met een hogere productie. Wanneer tegelijkertijd een concentratie van productie plaatsvindt (minder, maar grotere bedrijven) kan de lokale milieudruk aanzienlijk toenemen. Ook kan een hogere productie vragen om hoogwaardiger voermiddelen, waarmee het landgebruik en milieudruk elders toenemen.

### Praktisch reductiepotentieel

Een emissiereductie op basis van productieverhoging per dier lijkt tot de mogelijkheden te behoren. Daarvoor moet wel een zekere professionalisering en automatisering in de sector plaatsvinden. De effecten hiervan kunnen moeilijk worden ingeschat. Het is belangrijk om verschillende duurzaamheidsaspecten hier tegen elkaar af te wegen.

## 6.5.2 Genetica

| Genetica                               |      |
|----------------------------------------|------|
| Ammoniak                               | 0    |
| Methaan                                | +    |
| Lachgas                                | 0    |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | 0    |
| Praktijkrijpheid                       | Laag |
| Verandering bedrijfsvoering            | Geen |
| Kosten                                 | Laag |

### Werkingsmechanisme

Bij melkvee is aangetoond dat er een sterke variatie bestaat tussen dieren wat betreft de hoeveelheid enterisch methaan die zij uitstoten. Onderzoek laat zien dat er selectief gefokt kan worden op dieren die – bij gelijkblijvende productie – minder methaan uitstoten (De Haas et al., 2021). Deze praktijk lijkt ook bij geiten toepasbaar, hoewel daar nog geen onderzoek uitgevoerd is. Om met genetica daadwerkelijk emissies te reduceren, moeten hiervoor fokwaarden worden ontwikkeld.

### Theoretisch reductiepotentieel

De Haas et al. (2021) geven voor melkvee aan dat het fokken op een lagere methaanemissie kan leiden tot een forse emissiereductie, maar daarvoor moet dit langdurig en consequent worden opgenomen in de fokstrategie.

Wanneer er ingezet wordt op het fokken op een lagere methaanemissie schatten zij in dat dit kan leiden tot een reductie van ongeveer 1% emissiereductie per jaar, tot een totale reductie van 24% in 2050.

### Overwegingen bij implementatie

Selectieve fokkerij is een langetermijnstrategie en het resultaat is afhankelijk van een combinatie van de genetische aanleg en omgevingsfactoren, zoals voeding en management. In de praktijk moet bij het selectieproces ook rekening gehouden worden met andere kenmerken, zoals productiviteit, gezondheid en welzijn. Wanneer er op een lage methaanuitstoot geselecteerd gaat worden, is niet duidelijk wat het effect zal zijn op andere eigenschappen van geiten.

Voor geitenhouders verandert er bij de implementatie van deze maatregel in feite niets aan hun bedrijfsvoering. En wanneer methaanuitstoot eenmaal onderdeel is van de genetische selectie, zijn hier ook geen kosten aan verbonden.

### Praktisch reductiepotentieel

Voor de lange termijn lijkt methaanemissiereductie door genetische selectie een goede optie. Dat betekent wel dat er nu ingezet moet worden om over 10 of 20 jaar effect te hebben. Net als bij melkvee is het de vraag of een reductiepercentage van 24% realistisch is.

## 6.5.3 Weidegang toepassen

| Weidegang                              |                                 |
|----------------------------------------|---------------------------------|
| Ammoniak                               | +                               |
| Methaan                                | +                               |
| Lachgas                                | -                               |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | +                               |
| Praktijkrijpheid                       | Goed                            |
| Verandering bedrijfsvoering            | Gemiddeld                       |
| Kosten                                 | Laag, behalve bij aankoop grond |

### Werkingsmechanisme

Wanneer geiten een deel van de tijd in de wei lopen in plaats van in de stal betekent dat minder stikstof in de stal wordt uitgescheiden, waardoor er ook minder ammoniak zal emitteren (Hoving et al., 2015). In de wei is de uitstoot van ammoniak laag, omdat feces en urine daar nauwelijks bij elkaar komen, en urine direct wordt opgenomen door de bodem. Van Dooren et al. (2019) tonen echter aan dat het emitterend oppervlak van groter belang is dan de tijd die de dieren per dag in de stal doorbrengen of de hoeveelheid mest en urine in de stal. Bij melkkoeien levert 720 uur weidegang per kalenderjaar daarom niet meer dan 2% ammoniakreductie op bedrijfsniveau in vergelijking met jaarrond opstallen. Uitbreiding van het aantal uren weidegang kan de ammoniakemissie verder beperken. Wanneer de stalvloer schoongemaakt wordt door een mestschuif of mestrobot, is de vloer eerder uit geëmitteerd en zal het effect van weidegang op de stalemissie groter zijn.

De methaanemissie uit mest is in de wei fors lager dan in de stal, omdat de mest niet in een anaerobe omgeving terecht komt (Van Bruggen & Faqiri, 2015). Daar bovenop is er een positief effect op de methaanemissie doordat koeien vers gras eten (Koning et al., 2022): de methaanemissie per kg droge stof is voor vers gras lager dan voor kuilgras. Echter is de uitstoot van lachgas uit mest fors hoger bij weidegang (Velthof & Oenema, 1997).

Door beweiding toe te passen komt er minder mest in de opslag en dus ook minder emissie uit de opslag. Hetzelfde geldt voor de ammoniakemissie bij uitrijden van mest; tenminste wanneer er geen mest wordt afgevoerd van het bedrijf (dan blijft de hoeveelheid aangewende mest en dus de ammoniakemissie gelijk).

### Theoretisch reductiepotentieel

Bij melkvee levert 720 uur weidegang per jaar een ammoniakreductie op van 2% reductie.

Bij meer dan 2000 uur weidegang per jaar (180 dagen, 12 uur per dag) kan dit oplopen naar 6% reductie (Van Dooren et al., 2019). Vellinga (2023) schat in dat de methaanemissiereductie tenietgedaan wordt door een hogere uitstoot van lachgas.

### Overwegingen bij implementatie

Weiden kan meer voordelen hebben dan enkel emissiereductie. Weidegang bij koeien kan een positief effect hebben op dierenwelzijn en diergezondheid, natuur en landschap, en het imago van de sector (Van der Schans, 2000). Daarnaast kan weidegang leiden tot kostenbesparing en daarmee een hoger inkomen (Hoving et al., 2015). Het is niet duidelijk of verwacht mag worden dat dit bij geiten hetzelfde is, aangezien geiten in tegenstelling tot koeien meer browsers dan grazers zijn. Daarbij is het wel belangrijk op te merken dat de eventuele voordelen afhankelijk zijn van de manier waarop weidegang op het bedrijf geïmplementeerd wordt. Wanneer dieren buiten lopen bij hele warme of juist natte omstandigheden kan dit ook ten koste gaan van dierenwelzijn en diergezondheid (Eekeren, 2002). En de economische consequenties van weidegang zijn sterk afhankelijk van de bedrijfsopzet, de omvang, de voerwinning, etc. (Van der Schans, 2000; Hoving et al., 2015). Weidegang kan in potentie ook negatief uitpakken.

Weidegang bij geiten is niet gelijk aan weidegang bij koeien (Van Eekeren, 2002). Melkgeitenhouders geven aan dat geiten erg kieskeurig zijn als het om weersomstandigheden gaat. Literatuur bevestigt dat regen en zon invloed kunnen hebben op het graasgedrag van geiten (Askins & Turner, 1972; Pijlman, 2009). De voorkeuren en prestaties van geiten die weiden kunnen echter ook te maken hebben van de omstandigheden die gecreëerd worden en de faciliteiten die aangeboden worden (denk aan schuilmogelijkheden). Ook lijkt het van invloed te zijn of geiten van jongs af aan gewend zijn naar buiten te gaan (Vries & Eekeren, 2007). Een goede implementatie van weidegang is voor een groot deel afhankelijk van vakmanschap van de veehouder (Van Den Pol-Van Dasselaar et al., 2015); dit is bij geiten misschien nog wel belangrijker dan bij koeien (Van Eekeren, 2002).

Daar komt bij dat weidegang niet op alle bedrijven even makkelijk te implementeren is. De ligging van de kavels is belangrijk (Van den Pol-Van Dasselaar et al., 2015). In de melkgeitenhouderij zijn er ook (grote) bedrijven die niet of nauwelijks grond hebben (Bondt et al., 2022). Naast het toepassen van weidegang op bedrijven waar geiten nu jaarrond binnen staan, is het ook mogelijk om het aantal uren weidegang te vergroten op bedrijven waar al weidegang wordt toegepast. Dit creëert een mogelijkheid op biologische bedrijven om emissies verder te reduceren.

### Praktisch reductiepotentieel

Of het toepassen van weidegang ofwel het uitbreiden van het aantal uren weidegang een realistische optie is, verschilt van bedrijf tot bedrijf en van geitenhouder tot geitenhouder. Gezien de diversiteit in aanwezigheid van grond op melkgeitenbedrijven is het moeilijk om hier op sectorniveau richtlijnen voor op te stellen; laat staan beleid te maken. Vanwege de potentiële aanvullende voordelen van weidegang voor het dier, het milieu, de natuur, het imago en de economische bedrijfsresultaten, kan het voor sommige geitenhouders een interessante mogelijkheid vormen.

## 6.5.4 Alternatieve systemen

| Alternatieve systemen                  |                                             |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Ammoniak                               | +++                                         |
| Methaan                                | +++                                         |
| Lachgas                                | ++                                          |
| Impact op andere duurzaamheidsfactoren | Onduidelijk en afhankelijk van de maatregel |
| Praktijkrijpheid                       | Laag                                        |
| Verandering bedrijfsvoering            | Hoog                                        |
| Kosten                                 | Gemiddeld tot hoog                          |



---

## Werkingsmechanisme

Volgens Sutton et al. (2015) is de ammoniakuitstoot uit een diepstrooiselsysteem met de juiste mix van managementmaatregelen niet hoger dan uit andere stalsystemen. Echter zijn fysieke aanpassingen in de stal zoals bij varkens en melkvee praktisch nauwelijks mogelijk. Er is geen stalvloer noch een ruimte onder de stalvloer waar technische aanpassingen aan kunnen worden gedaan, zoals dat bij varkens en melkvee wel het geval is (Aarnink & Vermeij, 2023; Van Dooren et al., 2023). Dat betekent dat de mogelijkheid tot emissie-reducerende stalaanpassingen beperkt is. Om dit wel mogelijk te maken zou afgestapt moeten worden van de potstal. Daarmee zouden mogelijkheden ontstaan voor onder meer: (veel) frequentere mestafvoer, koeling van mest, aanzuren van mest en scheiden van mest en urine of scheiden van dikke en dunne fractie.

## Theoretisch reductiepotentieel

De hoogte van emissies van alternatieve stalsystemen is sterk afhankelijk van welke technieken er worden toegepast, hoe die worden toegepast en hoe ze met elkaar gecombineerd worden. In theorie is er veel mogelijk, maar in de praktijk bestaan er op dit moment – afgezien van de potstal – alleen stalsystemen die nog in ontwikkeling zijn. Hier zijn nog geen representatieve emissiecijfers van.

## Overwegingen bij implementatie

Lange tijd is er in de Nederlandse melkgeitenhouderij niet of nauwelijks geïnvesteerd in de ontwikkeling van alternatieve stalsystemen. Daar is recent verandering in gekomen, onder meer door openstelling van een subsidieregeling voor het ontwikkelen van – en experimenteren met – technische emissie-reducerende maatregelen (RVO, 2020). Ook in het project 'Ontwerpen voor een duurzamere melkgeitenhouderij' is nagedacht over alternatieve stalsystemen voor de sector (Puente-Rodríguez et al., 2025). Dat betekent echter niet automatisch dat er binnenkort andere stalsystemen beschikbaar zijn voor de melkgeitenhouderij. De ontwikkeling van nieuwe stalsystemen kost veel tijd en geld. Er kan geleerd worden van systemen in andere sectoren, maar er moet wel rekening gehouden worden met de unieke eigenschappen van geiten, geitenbedrijven en geitenmest.

Daar komt bij dat emissiearme stalsystemen in andere sectoren vaak niet presteren zoals verwacht of beloofd (Bremmer et al., 2022; Groenestein et al., 2023). Het blijkt bijvoorbeeld moeilijk om emissiearme vloeren goed schoon te houden, wat nodig is om urease-activiteit te beperken (Monteny et al., 1998).

Een aantal onderzoeken suggereert dat geiten een voorkeur hebben voor harde, thermoregulerende oppervlakten om op te liggen, boven stro of een andere zachte ondergrond (Bøe et al., 2007; Sutherland et al., 2016; Sutherland et al., 2017). Op deze onderzoeken is echter wel het één en ander aan te merken en er zijn andere onderzoeken waar geiten een uitgesproken voorkeur laten zien voor een met stro ingestrooide ondergrond (Tölü & Savaş, 2019; zie voor een uitgebreide bespreking Puente-Rodríguez et al., 2025).

Voor biologische geitenhouders lijkt de ontwikkeling van alternatieve stalsystemen geen oplossing te bieden, omdat zij verplicht zijn de ligruimtes van de dieren te voorzien van strooisel. Ook ketenkwaliteitssysteem Kwaliteit (NGZO, 2024) verbiedt op dit moment de toepassing van roosters bij nieuwbouw of verbouw. Zolang er geen systemen ontwikkeld zijn die aantoonbaar beter zijn voor het milieu, die geen problemen opleveren voor diergezondheid en dierenwelzijn en die bijdragen aan het imago van de melkgeitenhouderij als geheel, zal hier niet snel van afgeweken worden.

De potstal is een relatief goedkoop te bouwen systeem. De verwachting is dat alternatieve stalsystemen – met meer techniek – meer zullen kosten. Dit maakt het niet erg aantrekkelijk voor geitenhouders om de overstap te maken. Deels kunnen deze investeringen terugverdiend worden doordat er geen of minder stro nodig is.

Een alternatief stalsysteem hoeft niet per se stroloos te zijn. Een roostervloer zonder strooisel biedt veel meer mogelijkheden voor emissiereductie dan een potstal. Maar roostervloer en pot kunnen ook naast elkaar bestaan, waarbij verschillende functiegebieden worden ingericht voor verschillende gedragingen.

## Praktisch reductiepotentieel

Met andere stalsystemen kan in theorie heel veel methaan, ammoniak en lachgas gereduceerd worden ten opzichte van de huidige emissieniveaus. Daarvoor is echter nog wel het nodige onderzoek nodig, waarbij zowel sector als overheid de komende jaren moeten blijven investeren in de doorontwikkeling van nieuwe

---

systemen. Voor de langere termijn zou dit dan een zeer effectieve maatregel kunnen vormen. Voor de korte en middellange termijn is de melkgeitenhouderij voor emissiereductie echter aangewezen op andere maatregelen.

## 7 Discussie

In hoofdstuk 6 is een scala aan emissiereductiemaatregelen besproken. Daarbij is zo goed mogelijk in kaart gebracht wat de verschillende maatregelen doen met de uitstoot van ammoniak, methaan en lachgas, wat de impact is op andere duurzaamheidsfactoren, hoe het zit met de praktijkrijpheid en wat er komt kijken bij de implementatie van maatregelen. In de tabel hieronder zijn de besproken maatregelen opgenomen en is hun effect samengevat. Deze tabel is samengesteld uit de tabellen die in hoofdstuk 6 per maatregel zijn gepresenteerd, waarbij omwille van het overzicht de effecten op andere duurzaamheidsaspecten en de effecten op de bedrijfsvoering weggelaten zijn. In de rest van dit hoofdstuk wordt naar het geheel van emissiereductiemaatregelen gekeken. Daarbij wordt aandacht besteed aan de effectiviteit van maatregelen (paragraaf 7.1), onzekerheden en kennishiaten (paragraaf 7.2), positie van de melkgeitenhouderij met betrekking tot emissiereductie (paragraaf 7.3), integraliteit van maatregelen (paragraaf 7.4), emissiereductie door het combineren van maatregelen (paragraaf 7.5) en implementatie van maatregelen (paragraaf 7.6).

| Maatregel               | Ammoniak | Methaan | Lachgas | Praktijkrijpheid | Kosten         |
|-------------------------|----------|---------|---------|------------------|----------------|
| Via voer                |          |         |         |                  |                |
| Verlagen ruw eiwit      | +++      | --/+    | ++      | Hoog             | Laag           |
| 3NOP (additieven)       | 0        | +++     | 0       | Hoog             | Gemiddeld      |
| Rantsoen optimalisatie  | -/+      | -/+     | -/+     | Gemiddeld/hoog   | Laag/gemiddeld |
| Mestbeleid              |          |         |         |                  |                |
| Vaker afvoeren          | ++       | ++      | +       | Hoog             | Laag           |
| Opslag mest             |          |         |         |                  |                |
| Luchtdicht opslaan      | +++      | +       | -/+     | Hoog             | Laag           |
| Mengen met stro         | ++       | ++      | ++      | Hoog             | Hoog           |
| Composteren             | -/+      | +++     | ++      | Hoog             | Hoog           |
| Koelen                  | +        | +++     | +       | Laag             | Hoog           |
| Aanzuren                | +++      | +++     | ++      | Laag             | Gemiddeld/hoog |
| Vergisten               | +        | +++     | 0       | Laag             | Hoog           |
| Aanpassingen stal       |          |         |         |                  |                |
| Meer strooisel          | +        | +       | -/+     | Hoog             | Hoog           |
| Ander strooisel         | -/+      | -/+     | -/+     | Hoog             | Wisselend      |
| Luchtwassers            | +++      | 0       | 0       | Hoog             | Hoog           |
| Bedrijfsvoering         |          |         |         |                  |                |
| Productie optimalisatie | +        | +       | +       | Laag/gemiddeld   | Wisselend      |
| Genetica                | 0        | +       | 0       | Laag             | Laag           |
| Weidegang               | +        | +       | -       | Gemiddeld/hoog   | Laag           |
| Alternatieve systemen   | +++      | +++     | ++      | Laag             | Gemiddeld/hoog |

### 7.1 Effectiviteit van maatregelen

Er lijkt een grote verscheidenheid te zijn in de effectiviteit van de besproken maatregelen. Voor de melkgeitenhouderij lijkt op dit moment het verlagen van het eiwitgehalte in het voer veel perspectief te bieden voor een verlaging van de ammoniakemissie. Het verlagen van het eiwitgehalte in het rantsoen is een relatief eenvoudige en kosteneffectieve manier om ammoniakemissies te reduceren. Voor een succesvolle implementatie is vakmanschap en inzet van de veehouder vereist. In de melkveehouderij is al jarenlang bekend dat het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het voer tot een significante ammoniakemissiereductie kan leiden. Maar netwerkprogramma's met melkveehouders tonen aan dat die maatregel voor melkveehouders nog niet zo eenvoudig te implementeren is. In zo'n geval lijkt een gezamenlijke zoektocht van onderzoek en praktijk (en soms beleid) nodig om tot brede implementatie te komen (Bremmer et al., 2025).

---

De effectiviteit hangt daarnaast sterk af van de tijdshorizon waarop gekeken wordt. Wanneer naar mogelijkheden voor de langere termijn gekeken wordt, ontstaat meer ruimte voor innovatie, waardoor het aantal kansrijke maatregelen groeit. Daarnaast zijn er maatregelen die in theorie weliswaar een forse reductie op kunnen leveren, maar waarbij implementatie niet realistisch lijkt; althans niet op grote schaal. Dit geldt bijvoorbeeld voor het mengen van mest met extra stro, omdat stro hiervoor te schaars is en de techniek voor het mixen van grote hoeveelheden stromest ontbreekt.

Voor ammoniak lijken er meer maatregelen te zijn die ook op de korte termijn beschikbaar zijn dan voor methaan en lachgas. Het frequenter verwijderen van stromest uit de potstal levert weliswaar een reductie van alle drie de emissies op, maar de vraag is wat voor vervolgstap er daarna gezet wordt. Het afdekken van mest is bijvoorbeeld heel kansrijk als het om ammoniakemissiereductie gaat, maar het is onduidelijk hoe dit geïmplementeerd kan worden op een manier waarbij ook methaan en lachgas onder controle gehouden worden.

Voor de langere termijn zijn er meer mogelijkheden om ook methaan – en in mindere mate lachgas – te reduceren. Daarbij kan gedacht worden aan het aanzuren, koelen, vergisten of composteren van mest. Hiervoor moeten echter diverse technische, economische en praktische vraagstukken worden opgelost. Sommige maatregelen lijken voor de sector als geheel weinig op te kunnen leveren, maar diezelfde maatregelen kunnen wel effectief zijn voor individuele geitenhouders die (negatief) afwijken van de standaard. Wanneer zij zich meer richting het gemiddelde bewegen, kan dit waarschijnlijk een forse emissiereductie op hun bedrijven tot gevolg hebben. Melkgeitenhouders die beneden-gemiddelde hoeveelheden stro gebruiken, zouden meer stro kunnen gebruiken; geitenhouders met een lage gemiddelde melkproductie per geit zouden hun productiviteit kunnen verhogen; geitenhouders die veel jongvee aanhouden zouden dit kunnen verminderen.

## 7.2 Onzekerheden en kennishiaten

De emissiecijfers van de melkgeitenhouderij die in dit rapport gepresenteerd zijn, zijn gebaseerd op een klein aantal onderzoeken, waarbij per onderzoek vaak slechts op één of twee bedrijven metingen zijn uitgevoerd. Hieruit komt een redelijk consistent beeld naar voren, maar over de variatie tussen bedrijven is weinig te zeggen op basis van deze onderzoeken; net als over hoe potstallen het qua emissies doen ten opzichte van andere stalsystemen, bijvoorbeeld met roostervloeren en drijfmest. Ook in de internationale literatuur zijn er maar weinig metingen aan melkgeitenbedrijven te vinden die kunnen helpen om de emissies van Nederlandse bedrijven te begrijpen. Dit is een belangrijke tekortkoming van de voorliggende studie die alleen op te lossen lijkt met meer metingen in onderzoeksetting of aan praktijkbedrijven.

De emissiereductiemaatregelen die besproken zijn, zijn vrijwel uitsluitend gebaseerd op onderzoek in andere sectoren. Voor wat betreft de voermaatregelen is het meest gekeken naar melkvee. Qua anatomie en systeem zijn er grote gelijkenissen tussen koeien en geiten, maar er zijn ook duidelijke verschillen qua verteringsfysiologie. Bijvoorbeeld voor wat betreft gemiddelde retentietijd, verteerbaarheid en fermentatiekenmerken van verschillende voersoorten. Zo blijkt uit een recente vergelijkende studie tussen melkvee, vleesvee en schapen dat methaanreductiestrategieën gebaseerd op methanogenese-gerelateerde fermentatieprocessen (zoals toevoegen van krachtvoer of van nitraat) effectief zijn bij alle herkauwerstypes, terwijl bij strategieën die gebaseerd zijn op soort-specifieke factoren (voeropname, pens-fysiologie) de effectiviteit tussen diersoorten kan verschillen (Van Gastelen et al., 2019). Mogelijk geldt hetzelfde voor rantsoenmaatregelen om stikstofuitscheiding te verlagen. Een drempel om lagere eiwitgehalten te voeren is mogelijk het toepassen van duurmelken. Om te kunnen duurmelken worden eiwitgehalten gevoerd boven de behoefte van de geit. Er is echter geen onderzoek bekend naar het effect van verminderde eiwitgehalten in het rantsoen op duurmelken.

Voor wat betreft emissiereductiemaatregelen in de stal is in de meeste gevallen gebruik gemaakt van onderzoek naar potstallen met koeien en varkens, maar er is ook gebruik gemaakt van kennis die afkomstig is van onderzoek naar drijfmest en drijfmestsystemen. Dit vergroot de onzekerheid rondom de kwalificaties van de maatregelen, omdat er altijd een vertaalslag gemaakt moet worden naar de melkgeitenhouderij.

---

Daarbij is er altijd sprake van een veelheid aan factoren die de situatie in de melkgeitenhouderij anders kan maken dan in de melkveehouderij of de varkenshouderij. Hoewel bij de bespreking met de reductiemogelijkheden in hoofdstuk 6 regelmatig reductiepercentages zijn genoemd, zijn deze altijd expliciet verbonden aan de specifieke studies en de specifieke situaties waarin ze getest zijn.

Dit gebrek aan kennis is deels ondervangen door gebruik te maken van de kennis van experts en van geitenhouders en andere stakeholders uit de praktijk. Maar ook voor hen geldt dat informatie over emissies en emissiereductiemogelijkheden in de melkgeitenhouderij beperkt is; er is simpelweg met veel zaken geen ervaring in de sector. Hoe een maatregel precies uitpakt in de Nederlandse melkgeitenhouderij en wat voor variatie daarbij tussen of binnen bedrijven verwacht mag worden is moeilijk in te schatten. Voor een nauwkeuriger schatting is aanvullend onderzoek nodig, specifiek gericht op de melkgeitenhouderij en de manier waarop die in Nederland is ingericht.

Daarnaast is het voor praktijkrijpe emissiereductiemaatregelen nodig dat er geïnvesteerd wordt in innovatie en pilots. Maatregelen die in andere veehouderijsectoren al (bijna) werken moeten namelijk ook geschikt worden gemaakt voor de melkgeitenhouderij en zo doorontwikkeld worden dat ze daadwerkelijk door geitenhouders toegepast kunnen worden. Het frequenter uitmesten van de potstal lijkt een forse reductie op te leveren van zowel ammoniak als methaan als lachgas, maar welke frequentie welk effect oplevert is onbekend. Onderzoek moet dit uitwijzen. En zelfs bij op het oog eenduidige oplossingen is praktijkgericht onderzoek vaak de sleutel tot implementatie.

Omdat de middelen die beschikbaar zijn voor de melkgeitenhouderij beperkt zijn, lijkt het zinvol dat sector en overheid gezamenlijk keuzes maken op welke oplossingsrichtingen zij willen inzetten en op welke niet. De bespreking van emissiereductiemaatregelen in dit rapport kan daarbij helpen, maar biedt geen definitief antwoord op de vraag op welke maatregelen ingezet moet worden. Dat hangt immers van veel meer zaken af dan enkel van de emissiereductiepotentie. Emissies, andere milieu-aspecten, dierwelzijn en diergezondheid, en economische aspecten zullen tegen elkaar afgewogen moeten worden. Voor een maximaal emissiereductie-effect moet bij het prioriteren van (de doorontwikkeling van) maatregelen niet alleen gekeken worden naar de potentiële emissiereductie, maar ook naar de bereidheid van geitenhouders om met een maatregel aan de slag te gaan.

## 7.3 Positie van de melkgeitenhouderij met betrekking tot emissiereductie

De melkgeitenhouderij in Nederland heeft in vergelijking met andere sectoren nog weinig ingezet op emissiereductie. Dat heeft niet alleen te maken met een gebrek aan kennis en inzicht over de emissies uit de sector, maar ook met het ontbreken van druk vanuit beleid en markt om emissies te reduceren. Recent is hier verandering in gekomen, zoals ook blijkt uit de opdracht die het ministerie van LVVN heeft gegeven om de verkenning uit te voeren die in dit rapport beschreven wordt. Wel zijn verschillende geitenhouders – al dan niet met behulp van subsidies – aan de slag gegaan met de ontwikkeling van en het experimenteren met emissiereducerende systemen en maatregelen.

Hoe dan ook ligt er een forse opgave voor de melkgeitenhouderij. Ook op terreinen waar andere veehouderijsectoren al stappen hebben gezet. Denk daarbij aan voermaatregelen, luchtwassers, emissiearme stalsystemen en mestmanagement. De opgave in de melkgeitenhouderij lijkt extra groot, omdat de potstal emissies met zich meebrengt die zeer waarschijnlijk hoger zijn dan van andere stalsystemen (Mollenhorst et al., 2020; Pijlman et al., 2018), terwijl er minder mogelijkheden lijken te zijn om emissies te reduceren.

De achterstand die de melkgeitenhouderij heeft als het om emissiereductie gaat levert ook een positie op waarin er relatief veel laaghangend fruit is en waarin er veel geleerd kan worden van ervaringen in andere sectoren. Met veel van de maatregelen die in dit rapport besproken zijn is al ervaring in andere sectoren. Dat geldt bijvoorbeeld voor de toepassing van luchtwassers, het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het voer en het afdekken van mest.

---

Met andere maatregelen is minder ervaring, maar daar vinden wel onderzoeken plaats, inclusief praktijkproeven, waar de melkgeitenhouderij van kan leren. Denk aan het aanzuren van mest en het koelen van mest. Bij de vertaling van maatregelen naar de melkgeitenhouderij moet wel rekening gehouden worden met onder meer verschillen in diergedrag, de hoeveelheid dieren in de stal, eigenschappen van de mest, eisen die gesteld worden aan het voer, en wet- en regelgeving.

Voor de potstal is nog veel onbekend en er is nauwelijks lopend onderzoek waar de melkgeitenhouderij op kan meeliften. Wanneer besloten wordt om naar de toekomst toe vast te houden aan de potstal als het belangrijkste stalsysteem, lijkt het onvermijdelijk om te investeren in kennis over emissiereducerende maatregelen die mogelijk zijn met een potstal. Daarbij zijn mogelijk coalities te sluiten met (kleine) sectoren die met soortgelijke vragen kampen, zoals de paardenhouderij (Huisman & van Boxmeer, 2024) en de biologische varkenshouderij (Aarnink et al., 2022).

## 7.4 Integraliteit van maatregelen

Voor alle keuzes die gemaakt worden met betrekking tot emissiereductie is het belangrijk dat er verder gekeken wordt dan enkel naar emissiereductie. Uiteindelijk gaat het om het totale plaatje, waarbij ook bijvoorbeeld dierenwelzijn en economische bedrijfsresultaten moeten worden meegewogen. Door beleidsurgentie lijkt ammoniak vaak het grootste vraagstuk voor de veehouderij, maar voor een duurzame voedselproductie is ook de reductie van broeikasgassen essentieel. Ook zijn er discussies over volksgezondheid, circulariteit en dierenwelzijn die ook de melkgeitenhouderij (gaan) raken. En wanneer bedrijven economisch niet gezond zijn, kunnen zij ook niet blijvend een bijdrage leveren aan deze aspecten. Bij het selecteren van maatregelen is het daarom van belang om in ogenschouw te nemen hoe zij het totale plaatje beïnvloeden.

Er zijn verschillende maatregelen die ammoniak reduceren, maar tegelijkertijd de hoeveelheid methaan en/of lachgas verhogen. Het kan een keuze zijn om zo'n maatregel toch te implementeren (of vanuit de overheid: te stimuleren). Maar het ligt voor de hand om dan via een andere weg methaan- en lachgasemissies te reduceren. Er zijn verschillende maatregelen die hoofdzakelijk positieve effecten lijken te hebben, zoals het optimaliseren van het rantsoen, composteren of vergisten van mest in speciale installaties, en het aanzuren van mest. Voor het optimaliseren van het rantsoen geldt echter dat het veel inspanning en kennis van de veehouder vraagt, en voor de overige maatregelen geldt dat ze gepaard gaan met flinke kosten, die maar in beperkte mate terugverdiend kunnen worden. Uiteindelijk kan dat betekenen dat dergelijke oplossingen niet duurzaam zijn, omdat ze de bedrijfscontinuïteit in gevaar brengen. Mogelijk kan doorontwikkeling van technieken helpen om niet alleen de processen aan te passen en te optimaliseren voor potstalmest van geiten, maar ook om de kosten te drukken.

## 7.5 Emissiereductie door het combineren van maatregelen

Voor stikstof ligt er een wettelijk vastgestelde reductieopgave van ongeveer 50% in 2035 ten opzichte van 2019 (LNV, 2022). Ook voor broeikasgasemissies – specifiek voor methaan – wordt van de landbouw verwacht dat er tientallen procenten gereduceerd worden. Geen enkele van de besproken maatregelen lijkt zo effectief te kunnen zijn in de praktijk dat daar 50% ammoniak- en een aanzienlijke methaanemissiereductie mee gerealiseerd kan worden. Dit betekent dat de toekomstige emissiereductiedoelstellingen op de meeste bedrijven gerealiseerd zullen moeten worden door verschillende maatregelen met elkaar te combineren.

Voor methaan geldt dat het grootste deel enterisch is. Een reductie in enterisch methaan weegt dus het zwaarst mee in het geheel en het lijkt logisch om daar te beginnen. Met het voeren van bijvoorbeeld 3NOP en het optimaliseren van het rantsoen zou een reductie van meer dan 30% gehaald kunnen worden. Aan 3NOP zijn echter kosten verbonden en de praktische reductie van optimaliseren van het rantsoen is onzeker omdat dit grotendeels samenhangt met het vakmanschap van de veehouder.

---

Verder zijn de mogelijkheden om enterisch methaan te reduceren beperkt. Om in de praktijk tot een totale methaanemissiereductie van 30 of 50% te komen zal daarom ook naar methaan uit mest gekeken moeten worden.

Er is een aantal maatregelen waarmee hoge emissiereducties te behalen zijn, maar die tegelijkertijd een forse investering van de geitenhouder vragen. Het gaat dan bijvoorbeeld over intensief composteren, vergisten in een installatie of het koelen van mest. Voor de middellange termijn lijkt het tot de mogelijkheden te behoren dat geitenhouders één zo'n techniek op hun bedrijf toepassen. Voor verschillende bedrijven kan deze keuze verschillend uitpakken. Voor deze maatregelen geldt dat ze niet 'een beetje' toegepast kunnen worden: ze zijn er of wel of niet. Ook laten ze zich moeilijk met elkaar combineren. Niet alleen werken ze elkaar tegen als het om emissiereductie gaat; ook zou een combinatie van meerdere van deze technieken vragen dat geitenhouders dubbel investeren. Wel laten deze maatregelen zich over het algemeen goed combineren met voer- en managementmaatregelen.

Het opvoeren van de uitmestfrequentie, het verlagen van het ruw eiwitgehalte, andere voeraanpassingen en wijzigingen in het strooiselmanagement zijn maatregelen die meer flexibiliteit bieden (ze kunnen ook 'een beetje' geïmplementeerd worden of tijdelijk stopgezet). De kosten zijn doorgaans beperkt en ze kunnen vrij eenvoudig weer worden teruggedraaid. Deze maatregelen kunnen gecombineerd worden met de genoemde technische maatregelen. Het lijkt mogelijk om met dat soort combinaties zowel de ammoniak- als de methaanemissie met 50% te reduceren.

## 7.6 Implementatie van maatregelen

Dat er maatregelen bestaan waarmee emissies gereduceerd kunnen worden, wil nog niet zeggen dat die ook worden toegepast. Sterker nog, het ligt niet voor de hand dat geitenhouders zomaar met de hier besproken emissiereducerende maatregelen aan de slag gaan. De belangrijkste reden daarvoor is dat de noodzaak om emissies te reduceren op bedrijfsniveau ontbreekt. Er is geen beleid wat hen ertoe dwingt of stimuleert om met maatregelen aan de slag te gaan. Elke maatregel kan voor hen regels, kosten, extra arbeid en onzekerheden met zich meebrengen. Met de implementatie van maatregelen moet de geitenhouder een nieuwe balans zien te vinden in zijn of haar bedrijf, zonder dat daar een duidelijk voordeel voor hem of haar tegenover staat.

Wanneer er in de toekomst wel een noodzaak of prikkel ontstaat om op bedrijfsniveau emissies te reduceren, blijft het belangrijk dat er meer inzicht komt in het precieze effect van verschillende maatregelen en dat duidelijker is hoe verschillende maatregelen het best op geitenbedrijven geïmplementeerd kunnen worden. Dat is ook een van de redenen waarom verschillende geitenhouders al aan het experimenteren zijn met emissiereducerende maatregelen.

Bij veel maatregelen is onduidelijk wat het individuele bedrijfseffect is. Dus zelfs wanneer geitenhouders gemotiveerd zouden zijn om een maatregel te implementeren is niet duidelijk wat dat in hun situatie aan emissiereductie oplevert en zelfs niet of ze goed bezig zijn. Geitenhouders kunnen bijvoorbeeld niet zien wat het effect is op emissies van de frequentie van uitmesten. Ook om deze reden is het van belang dat er ingezet wordt op nader onderzoek. Zolang er niet op bedrijfsniveau gemeten en gemonitord wordt kan de ontwikkeling van een KringloopWijzer voor de melkgeitenhouderij hier een belangrijk hulpmiddel zijn voor (indirecte) feedback.

Veel van de mogelijke maatregelen zijn moeilijk te monitoren door overheden en toezichthoudende instanties. Bij fysiek-technische maatregelen is eenvoudig te controleren of geitenhouders in het bezit zijn van een luchtwasser of vergistingsinstallatie. Of deze op de juiste manier gebruikt worden blijft dan nog de vraag, maar voor de overheid is dit wel een belangrijke indicatie dat er gewerkt wordt aan emissiereductie. Bij managementmaatregelen is dit vaak veel lastiger; hoewel niet onmogelijk. Wanneer geitenhouders met voermaatregelen of aanpassing in hun strooiselmanagement emissies reduceren hebben overheden mogelijkheden nodig om dit te controleren, om er zeker van te zijn dat geitenhouders doen wat ze zeggen te doen.

---

Niet op elk bedrijf zal hetzelfde pakket aan maatregelen passen. Bedrijven hebben verschillende eigenschappen. Bestaande gebouwen, machines, faciliteiten voor mestopslag geven een verschillende uitgangssituatie. Dit maakt niet alleen dat dezelfde maatregelen gepaard gaan met verschillende veranderingen en kosten; ze kunnen ook verschillende resultaten opleveren. Ook kunnen afwegingen verschillend zijn voor verschillende bedrijven: voor een bedrijf dicht bij een Natura2000-gebied weegt ammoniakemissie mogelijk zwaarder dan voor een geitenhouder die daar verder van verwijderd is. Daarnaast zijn geitenhouders verschillend: de een zal eerder in techniek willen investeren; de ander in vakmanschap en managementmaatregelen. Dit betekent dat de sector als geheel gebaat is bij keuzemogelijkheden.



---

## 8 Conclusies

De ammoniak- en methaanemissies uit de melkgeitenhouderij zijn de afgelopen decennia toegenomen door een forse groei van de sector. Daarnaast is er in de melkgeitenhouderij nog weinig ingezet op emissiereductie in vergelijking met andere veehouderijsectoren. Gezien de opgaven die er liggen op het gebied van ammoniak en klimaat, ligt het voor de hand dat ook de melkgeitenhouderij hier mee aan de slag moet. Dat is de belangrijkste reden waarom in dit rapport emissiereducerende maatregelen voor de Nederlandse melkgeitenhouderij zijn verkend.

De verkenning laat zien dat er nog veel onbekend is over emissies en emissiereductie in de melkgeitenhouderij. Zo is de potstal het dominante staltype in de Nederlandse melkgeitenhouderij, maar voor informatie is de geitenhouder voornamelijk aangewezen op studies naar potstallen bij varkens en koeien. De inzichten bij varkens en koeien leveren goede uitgangspunten, maar op veel vlakken is het cruciaal deze kennis specifiek te maken voor geiten en voor de Nederlandse context via specifiek onderzoek naar geitenpotstallen. Ook bevindingen op het gebied van voer in relatie tot emissies zijn grotendeels gebaseerd op onderzoek bij melkvee; een vertaalslag naar de melkgeitenhouderij is vereist. Dit benadrukt de noodzaak van aanvullend onderzoek. Dat wil echter niet zeggen dat er niet op de korte termijn al begonnen kan worden met het reduceren van emissies.

In hoofdstuk 6 zijn diverse maatregelen met potentie beschreven, waarvan een deel op de korte en middellange termijn geïmplementeerd zou kunnen worden. Daar zitten echter geen maatregelen tussen die zoveel emissiereductie in de praktijk realiseren dat met een enkele maatregel de (nog vast te stellen) sectordoelen behaald kunnen worden. Zeker niet wanneer tegelijkertijd naar ammoniak én broeikasgassen wordt gekeken. Een effectieve emissiereductie vraagt dus om een combinatie van maatregelen, waarbij maatregelen via het rantsoen een goede basis zou kunnen leggen. Vermindering van stikstofopname via het voer of verbetering van stikstofefficiëntie in het dier draagt direct bij aan een lagere stikstofuitscheiding en dus ammoniakemissies. Aanpassingen in het voer kunnen ook aanzienlijke methaanreducties opleveren en doordat het grootste deel van de methaanemissie enterisch van aard is, ligt hier ook in absolute zin de meeste potentie.

Aanvullend kunnen stal- en mestmaatregelen veel opleveren. Daarbij is nog wel het nodige onderzoeks- en experimenteerwerk nodig, waarbij niet alleen naar emissiereductie gekeken moet worden, maar ook naar hoe een maatregel het beste in de bedrijfsvoering ingepast kan worden. Uit hoofdstuk 7 blijkt dat de praktische reductie van maatregelen vaak veel kleiner is dan de theoretische reductie. Het praktisch realiseren van reducties wordt beïnvloed door bedrijfsspecifieke omstandigheden en de interacties tussen maatregelen. Daarnaast zullen kosten, bedrijfsveranderingen en andere duurzaamheidsdoelen een belangrijke rol spelen bij de keuzes voor, en (mate van) implementatie van maatregelen. Ook bestaan er verschillen tussen reguliere en biologische melkgeitenbedrijven.

Ondanks de uitdagingen biedt een combinatie van maatregelen voldoende potentie om ammoniak- en methaanemissies in de melkgeitenhouderij aanzienlijk te verlagen. Verdere investeringen in specifiek onderzoek en implementatiestrategieën zijn cruciaal om deze potentie optimaal te benutten. Gezien de urgentie van de emissiereductieopgaven ligt een 2-sporenbeleid voor de hand. Aan de ene kant is meer onderzoek nodig om kennishiaten te vullen en om emissies c.q. reducties te kunnen kwantificeren. Aan de andere kant moet er zo snel mogelijk begonnen worden met praktijkervaring genereren en het demonstren van mogelijkheden door het implementeren van – of op zijn minst experimenteren met – (meer) emissiereducerende maatregelen. Een voortdurende afstemming tussen deze beide sporen is cruciaal voor succes.

Zoals in de discussie uitgebreid is besproken is er best veel mogelijk. Echter, zolang er geen prikkels zijn voor geitenhouders om emissies te reduceren, zullen zij de meeste van de hier besproken maatregelen niet toepassen. Om beweging te creëren zijn doelen en kaders nodig voor de langere termijn. Voor de geitenhouder is tijd en ruimte nodig om hierin hun eigen weg te vinden, aangevuld met informatie, begeleiding en stimulerende maatregelen.

---

## 9 Aanbevelingen

### Maatregelen voor de korte en middellange termijn:

- **Eiwitgehaltenes:** De sector kan starten met het optimaliseren van de eiwitgehaltenes in het rantsoen om de stikstofefficiëntie te verhogen, wat de stikstofuitscheiding in de potstal vermindert, waarmee ammoniakemissies worden gereduceerd. Voermaatregelen uit de melkveehouderij, zoals het verlagen van het ruw eiwitgehalte, kunnen direct worden toegepast. Als de sector hiermee aan de slag wil kan het goed zijn om meer informatie te verzamelen over in de praktijk gevoerde ruw eiwitgehaltenes en dierprestaties (melkproductie). Om geitenhouders te stimuleren hier daadwerkelijk mee aan de slag te gaan, lijkt het nuttig om projecten te initiëren die helpen deze maatregelen beter af te stemmen op de specifieke behoeften van de geiten en de melkgeitenhouderij. Daarin moet niet alleen aandacht zijn voor emissiereductie, maar ook voor bedrijfsprestaties en diergezondheid.
- **Methaanstrategie:** Het is goed om voerstrategieën gericht op methaanreductie te ontwikkelen. Dit kan gericht voer- en diermanagement zijn in combinatie met het introduceren van additieven (zoals 3NOP) in het voer.
- **Mestbeleid:** Het afdekken van geitenmesthoppen lijkt een kansrijke maatregel om ammoniakemissies te reduceren. Daarbij moet wel onderzocht worden hoe de uitstoot van methaan en lachgas beperkt kan worden. Ook moet aandacht zijn voor het wegnemen van praktische bezwaren en het oplossen van veiligheidsproblemen.

### Lange termijnvisie (sector en beleid):

- **Potstalsysteem:** Ontwikkel een langetermijnvisie voor de sector op toekomstige stalsystemen. Gezien de beperkte middelen is het belangrijk om keuzes te maken over de focus: doorontwikkeling van de potstal, ontwikkeling van een alternatief stalsysteem, of expliciet kiezen voor een meersporenbeleid. Alternatieven voor de potstal lijken vanuit emissiereductieperspectief het meest voor de hand liggend, maar andere aspecten, zoals kosten en dierenwelzijn, moeten worden meegewogen. Ook met aanpassingen aan de potstal zijn forse emissiereducties mogelijk. Een (volledige of gedeeltelijke) overgang naar andere stalsystemen voor de sector als geheel kost tijd. Het is belangrijk om deze tijd te nemen (en te krijgen). Daarvoor is een goede afstemming tussen sector, keten, overheden en maatschappelijke organisaties van belang.
- **Investeringszekerheid:** Om geitenhouders te laten investeren in emissiereducerende maatregelen is het van belang dat er een stabiel beleidskader komt, zodat de sector voor de langere termijn weet waar ze aan toe is. Daarnaast kunnen financiële prikkels en/of subsidies geitenhouders ondersteunen om maatregelen (versneld) te implementeren.

### Bedrijfsindividuele situaties:

- **Ruimte om op verschillende manieren tot emissiereductie te komen:** Er bestaan mogelijkheden om emissies te reduceren met voeroptimalisatie, managementmaatregelen, technische aanpassingen en innovatieve staltechnieken. Wanneer geitenhouders de ruimte krijgen om zelf te kiezen met welke maatregelen zij emissiereductiedoelen willen behalen, helpt dat bij het creëren van draagvlak en sluiten maatregelen uiteindelijk beter aan bij specifieke bedrijfsomstandigheden. Managementmaatregelen lijken een veelbelovende optie, omdat deze vaak een lagere economische drempel kennen.

### Onderzoek, ontwikkeling en innovatie:

- **Kennishiaten dichten:** Er is aanvullend onderzoek nodig specifiek gericht op emissies in de Nederlandse melkgeitenhouderij, met name voor de potstal en voor geiten relevante, voergerelateerde maatregelen. Het gaat hier zowel om het in kaart brengen van de huidige situatie als het (door)ontwikkelen van emissiereductiemaatregelen specifiek voor de Nederlandse melkgeitenhouderij.
- **Doorontwikkeling kennis en innovatie:** Voor het verder reduceren van emissies is ontwikkeling van nieuwe technieken vereist, zoals verbeterde mestmanagementpraktijken (bijvoorbeeld actief

---

composteren, vergisten, koelen en aanzuren). De melkgeitenhouderij kan profiteren van kennisuitwisseling tussen sectoren en landen. Praktische doorontwikkeling kan veel van de huidige kosten verlagen en onzekerheden wegnemen.

---

# Literatuur

- Aarnink, A. J. A., Roest, H. I. J., van Arkel, M., Hol, J., Losada, J. M., & Ogink, N. (2014). Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen: aanvullende metingen. Rapport nr. 489. Wageningen UR Livestock Research: Lelystad.
- Aarnink, A., & Vermeij, I. (2023). Sectoranalyse varkens om implementatie van emissiearme systemen via een investerings-regeling te stimuleren. Rapport nr. 1414. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Aarnink, A., Booijen, M., Huis, J., Benus, M. I., Hoste, R., Vermeij, I., & Vermeer, H. (2022). Opties voor ammoniakreductie in stallen voor biologische varkens. Rapport nr. 1387. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Aarnink, A., de Groot, J., & Ogink, N. (2019). Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Rapport nr. 1205. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Abecia, L., Toral, P. G., Martín-García, A. I., Martínez, G., Tomkins, N. W., Molina-Alcaide, E., ... & Yáñez-Ruiz, D. R. (2012). Effect of bromochloromethane on methane emission, rumen fermentation pattern, milk yield, and fatty acid profile in lactating dairy goats. *Journal of dairy science*, 95(4), 2027-2036.
- Almeida, J. G., Lorinquer, E., Robin, P., Ribeiro-Filho, H. M., & Edouard, N. (2022). Ammonia and nitrous oxide emissions from dairy cows on straw-based litter systems. *Atmosphere*, 13(2), 283.
- Amon, B., Amon, T., Boxberger, J., & Alt, C. (2001). Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 60, 103-113.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2-3), 153-162.
- Anzuino, K., Bell, N., Bazeley, K., & Nicol, C. (2010). Assessment of welfare on 24 commercial UK dairy goat farms based on direct observations. *Veterinary Record*, 167(20), 774-780.
- Askins, G. D., & Turner, E. E. (1972). A behavioral study of angora goats on west Texas range. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 25(2), 82-87.
- Ba, S., Qu, Q., Zhang, K., & Groot, J. C. (2020). Meta-analysis of greenhouse gas and ammonia emissions from dairy manure composting. *biosystems engineering*, 193, 126-137.
- Bannink, A., & Dijkstra, J. (2023). Mogelijkheden van additieven om de methaanemissie in runderen te verlagen. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1468). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/646495>
- Batista, E. D., Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Titgemeyer, E. C., & Valadares, R. F. D. (2017). The effect of CP concentration in the diet on urea kinetics and microbial usage of recycled urea in cattle: a meta-analysis. *Animal*, 11(8), 1303-1311.
- Battelli, M., Colombini, S., Crovetto, G. M., Galassi, G., Abeni, F., Petrera, F., ... & Rapetti, L. (2024). Condensed tannins fed to dairy goats: effects on digestibility, milk production, blood parameters, methane emission, and energy and nitrogen balances. *Journal of Dairy Science*, 107(6), 3614-3630.
- Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CABI Reviews*, (2009), 1-18.
- Beever, D. E., Dhanoa, M. S., Losada, H. R., Evans, R. T., Cammell, S. B., & France, J. (1986). The effect of forage species and stage of harvest on the processes of digestion occurring in the rumen of cattle. *British journal of nutrition*, 56(2), 439-454.
- Beldman, A., Kortstee, H., Voogd, H., van Roekel, H., & van Rietschoten, M. (2021). Implementatieplan voor het sectorplan 'Versnellen verduurzaming van de melkgeitenhouderij'. Platform Melkgeitenhouderij: Den Haag.
- Benchaar, C., Pomar, C., & Chiquette, J. (2001). Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(4), 563-574.
- Berkhout, P., van der Meulen, H., Ramaekers, P., Verhoog, A., Berkhout, P., Bergevoet, R., Daatselaar, C., van Horne, P., Hoste, R., & Janssens, S. (2022). Staat van Landbouw en Voedsel. Wageningen Economic Research: Wageningen.

- 
- Beurskens, A., de Gijsel, P., & Hol, J. (2004). Geuremissie van een stal voor melkgeiten. Agrotechnology & Food Sciences Group: Wageningen.
- Bikker, P., Šebek, L., van Bruggen, C., & Oenema, O. (2019). Stikstof-en fosfaatexcretie van gangbaar en biologisch gehouden landbouwhuisdieren: Herziening excretieforfaits Meststoffenwet 2019. Wot-technical report 152. Wageningen UR: Wageningen.
- Blanes-Vidal, V., Hansen, M. N., Pedersen, S., & Rom, H. B. (2008). Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124(3-4), 237-244.
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J., & Massé, D. (2004). Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(3), 319-335.
- Bode, M. d. (1989). Emissie van ammoniak en geur uit meststalo's en de vermindering van emissie door afdekking. Nota/Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG): Wageningen.
- Bøe, K. E., Andersen, I. L., Buisson, L., Simensen, E., & Jeksrud, W. K. (2007). Flooring preferences in dairy goats at moderate and low ambient temperature. *Applied Animal Behaviour Science*, 108(1-2), 45-57.
- Bondt, N., Kortstee, H., Splinter, G., Wattel, C., & Bremmer, B. (2022). Duurzaam perspectief voor melkgeitenbedrijven: Deelrapportage 1e stap: Maatschappelijke wensen en daaruit afgeleide doelstellingen voor verduurzaming. Wageningen Economic Research: Wageningen.
- Bremmer, B., Huisman, I., Toemen, F., Ellen, H., van Harn, J., van Dooren, H. J., de Jonge, I., Stouthart, F., & Ogink, N. (2022). Verbetering van effectiviteit emissiearme stalsystemen in de praktijk: inventarisatie, analyse kritische factoren en advies voor verbetering van toepassing van ammoniak reducerende technieken. Rapport nr. 1380. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Bremmer, B., Van Dijk, C., & Migchels, G. (2025). Van oplossing naar implementatie: realisatie van emissiereductie op melkveebedrijven. Rapport nr. 1557. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Broderick, G. A. (2003). Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 86(4), 1370-1381.
- Brusselman, E., Beck, B., De Campeneere, S., Demeyer, P., Goossens, K., Kerselaers, E., Maertens, L., Millet, S., Reubens, B., & Riebbels, G. (2016). Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig van landbouw. Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek.
- Bussink, D., & van Rotterdam-Los, A. (2011). Perspectieven om broeikasgas-en ammoniakemissies te reduceren door het aanzuren van mest. Rapport nr. 1426.N.11. Nutriënten Management Instituut: Wageningen.
- Bussink, D., van Rotterdam, A., & Wenzl, W. (2012). Biologische aanzuren van mest kansrijk voor melkveebedrijven. Rapport nr. 1422.N.11. Nutrient Management Institute: Wageningen.
- Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122.
- Cabaraux, J.-F., Philippe, F.-X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., & Nicks, B. (2009). Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130(3-4), 86-92.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C. K., Kristensen, N. B., & Van Vuuren, A. M. (2010). Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal* 4: 1184-1196.
- Castro-Montoya, J., Peiren, N., Cone, J. W., Zweifel, B., Fievez, V., & De Campeneere, S. (2015). In vivo and in vitro effects of a blend of essential oils on rumen methane mitigation. *Livestock Science*, 180, 134-142.
- Casu, F., & Verdoes, N. (2021). Circulaire inzet digestaat: berekening NPKC flows voor varkensmest en digestaat bij het varkensbedrijf van De Hoeve Innovatie. Rapport nr. 1328. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Chadwick, D. (2005). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric environment*, 39(4), 787-799.
- Crutzen, P. J., Aselmann, I., & Seiler, W. (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 38(3-4), 271-284.
- Dalby, F. R., Hafner, S. D., Petersen, S. O., VanderZaag, A. C., Habtewold, J., Dunfield, K., Chantigny, M. H., & Sommer, S. G. (2021). Understanding methane emission from stored animal manure: A review to guide model development. *Journal of Environmental Quality*, 50(4), 817-835.

- 
- De Haas, Y., Veerkamp, R., De Jong, G., & Aldridge, M. (2021). Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *Animal*, 15, 100294.
- De Rooij, M. M., Smit, L. A., Erbrink, H. J., Hagenaars, T. J., Hoek, G., Ogink, N. W., Winkel, A., Heederik, D. J., & Wouters, I. M. (2019). Endotoxin and particulate matter emitted by livestock farms and respiratory health effects in neighboring residents. *Environment international*, 132, 105009.
- Desnoyers, M., Duvaux-Ponter, C., Rigalma, K., Roussel, S., Martin, O., & Giger-Reverdin, S. (2008). Effect of concentrate percentage on ruminal pH and time-budget in dairy goats. *Animal*, 2(12), 1802-1808.
- Dijck, M. v., de Jong, P., Schaminée, W., & Wink, H. (2022). Toekomstbestendige en Emissiearme melkgeitenhouderij Studentenrapport, HAS Hogeschool: 's Hertogenbosch.
- Dijkstra, J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., & Van Gastelen, S. (2018). Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *Journal of dairy science*, 101(10), 9041-9047.
- Dijkstra, J., France, J., Ellis, J. L., Kebreab, E., López, S., Reijs, J. W., & Bannink, A. (2010). Effects of nutritional strategies on simulated nitrogen excretion and methane emission in dairy cattle. In *Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals* (pp. 394-402). Wageningen Academic.
- Dijkstra, J., Oenema, O., & Bannink, A. (2011). Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(5), 414-422.
- Dijkstra, J., Oenema, O., Van Groenigen, J. W., Spek, J. W., Van Vuuren, A. M., & Bannink, A. (2013). Diet effects on urine composition of cattle and N<sub>2</sub>O emissions. *Animal*, 7(s2), 292-302.
- Dubeuf, J.-P., Morand-Fehr, P., & Rubino, R. (2004). Situation, changes and future of goat industry around the world. *Small Ruminant Research*, 51(2), 165-173.
- Eekeren, N. v. (2002). Beter één geit in de wei dan tien op stal: discussiestuk voor optimalisatie van weidegang bij biologische melkgeiten. Publicatie nr. LV46. Louis Bolk Instituut: Driebergen.
- Ellen, H., Groenestein, K., & Smits, M. (2007). Emissies uit opslag van vaste mest. Rapport nr. 58. Animal Science Group, Wageningen UR: Lelystad.
- Ellen, H., Ogink, N., Smits, M., & Vermeij, I. (2010). Aanmerking BBT kleine sectoren. Rapport nr. 369. Wageningen UR Livestock Research: Lelystad.
- Evers, A., de Buisson, F., Melse, R., Verdoes, N., & de Haan, M. (2019). Scenariostudie mono-vergisten op melkveebedrijf met veengrond. Rapport nr. 1175. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- FAO (2023). Pathways towards lower emissions—A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. FAO: Rome.
- Fernández, C., Hernández, A., Gomis-Tena, J., & Llor, J. J. (2021). Changes in nutrient balance, methane emissions, physiologic biomarkers, and production performance in goats fed different forage-to-concentrate ratios during lactation. *Journal of animal science*, 99(7), skab114.
- Finlay, B. J., Esteban, G., Clarke, K. J., Williams, A. G., Embley, T. M., & Hirt, R. P. (1994). Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS microbiology letters*, 117(2), 157-161.
- Geelen, L., Boers, D., Brunekreef, B., & Wouters, I. (2015). Geurhinder van veehouderij nader onderzocht: meer hinder dan Handreiking Wgv doet vermoeden? Bureau Gezondheid, Milieu & Veiligheid: Tilburg.
- Gerber, P., Hristov, A., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., & Firkins, J. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, 7(s2), 220-234.
- Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C., & Steinfeld, H. (2011). Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science*, 139(1-2), 100-108.
- Gilhespy, S., Webb, J., Chadwick, D., Misselbrook, T., Kay, R., Camp, V., Retter, A., & Bason, A. (2009). Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions? *biosystems engineering*, 102(2), 180-189.
- Gollenbeek, L. (2022). Mest en digestaat als grondstof voor alternatieve teelten. WPR-OT 951. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Grainger, C., & Beauchemin, K. A. (2011). Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal feed science and technology*, 166, 308-320.
- Groenestein, C. M. (2006). Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw bedding. PhD-thesis, Wageningen University and Research: Wageningen.
- Groenestein, C., & Reitsma, B. (1993). Potstal voor melkvee. Rapport nr. 93-1005. IMAG: Wageningen.
- Groenestein, C., & Van Faassen, H. (1996). Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65(4), 269-274.

- Groenestein, C., Den Hartog, L., & Metz, J. (2006). Potential ammonia emissions from straw bedding, slurry pit and concrete floors in a group-housing system for sows. *biosystems engineering*, 95(2), 235-243.
- Groenestein, C., Mosquera, J., & Melse, R. (2016). Methaanemissie uit mest: schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF). Rapport nr. 961. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Groenestein, C., Smits, M., Huijsmans, J., & Oenema, O. (2011). Measures to reduce ammonia emissions from livestock manures: now, soon and later. Rapport nr. 488. Wageningen UR Livestock Research: Wageningen.
- Groenestein, K., Goedhart, P. W., van Bruggen, C., de Jonge, I., & Ogink, N. (2023). Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van de stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest: Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype. Rapport nr. 1426. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Groenestein, K., Melse, R., Mosquera, J., & Timmerman, M. (2020). Effect mestvergisting op de emissies van broeikasgassen uit mest van melkvee: een literatuur-en scenariostudie. Rapport nr. 1235. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Guyader, J., Eugène, M., Meunier, B., Doreau, M., Morgavi, D. P., Silberberg, M., ... & Martin, C. (2015). Additive methane-mitigating effect between linseed oil and nitrate fed to cattle. *Journal of Animal Science*, 93(7), 3564-3577.
- Hagenaars, T., Hoeksma, P., de Roda Husman, A. M., Swart, A., & Wouters, I. (2017). Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (aanvullende studies): Analyse van gezondheidseffecten, risicofactoren en uitstoot van bio-aerosolen. Rapport nr. 2017-0062. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: Bilthoven.
- Hammingh, P., van Seville, M., Hoff, M., Volkers, C., Koutstaal, P., & Menkveld, M. (2024). Klimaat- en Energieverkenning 2024. Publicatie nr. 5490. Planbureau voor de Leefomgeving: Den Haag.
- Hao, X., Chang, C., Larney, F. J., & Travis, G. R. (2001). Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. *Journal of Environmental Quality*, 30(2), 376-386.
- Hart, K. J., Jones, H. G., Waddams, K. E., Worgan, H. J., Zweifel, B., & Newbold, C. J. (2019). An essential oil blend decreases methane emissions and increases milk yield in dairy cows. *Open Journal of Animal Sciences*, 9(03), 259.
- Hassanat, F., Gervais, R., Julien, C., Massé, D. I., Lettat, A., Chouinard, P. Y., ... & Benchaar, C. (2013). Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4553-4567.
- Heezen, P. v., Schalk, J. A. C., Posthuma, L., & Wintersen, A. (2015). Feitenrelaas rond de aspecten 'Gezondheid en Veiligheid' van biovergisting. Brieftapport 2014-0162. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: Bilthoven.
- Hoving, I., Holshof, G., Evers, A., & de Haan, M. (2015). Ammoniakemissie en weidegang melkvee: verkenning weidegang als ammoniak reducerende maatregel Rapport nr. 856. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., ... & Duval, S. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the national academy of sciences*, 112(34), 10663-10668.
- Huis in 't Veld, J., Evers, E., & Mol, G. (2002). Onderzoek naar de ammoniak-en geuremissie van stallen LVII: natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. Rapport nr. 2002-18. IMAG: Wageningen.
- Huisman, I., & van Boxmeer, E. (2024). Ammoniakemissie in de paardenhouderij: Mogelijke bronnen en reductiemaatregelen. Rapport nr. 1500. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. OECD.
- Jenkins, T. C. (1993). Lipid metabolism in the rumen. *Journal of dairy science*, 76(12), 3851-3863.
- Jeppsson, K. (1998). Ammonia emission from different deep-litter materials for growing-finishing pigs. *Swedish Journal of Agricultural Research* 28(4), 197-206.
- Jeppsson, K. (1999). Volatilization of ammonia in deep-litter systems with different bedding materials for young cattle. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(1), 49-57.
- Jia, Y. Y., Wang, S. Q., Ni, Y. D., Zhang, Y. S., Zhuang, S., & Shen, X. Z. (2014). High concentrate-induced subacute ruminal acidosis (SARA) increases plasma acute phase proteins (APPs) and cortisol in goats. *Animal*, 8(9), 1433-1438.
- Joblin, K. N. (1999). Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(8), 1307-1314.

- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), 2483-2492.
- Kanyarushoki, C., Fuchs, F., & Van der Werf, H. (2008). Environmental evaluation of cow and goat milk chains in France. 6th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector: Zurich, Kebreab, E., France, J., Beever, D. E., & Castillo, A. R. (2001). Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 60, 275-285.
- Kinley, R. D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M. K., de Nys, R., Magnusson, M., & Tomkins, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner production*, 259, 120836.
- Klop, G., Dijkstra, J., Dieho, K., Hendriks, W. H., & Bannink, A. (2017). Enteric methane production in lactating dairy cows with continuous feeding of essential oils or rotational feeding of essential oils and lauric acid. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 3563-3575.
- Klop, G., Hatew, B., Bannink, A., & Dijkstra, J. (2016). Feeding nitrate and docosahexaenoic acid affects enteric methane production and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 99(2), 1161-1172.
- Koning, L., Holshof, G., Klop, A., & Klootwijk, C. (2022). Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit: Jaarrapport 2: 2021: Resultaten van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij weidegang, zomerstalvoeding en het voeren van graskuil. Rapport nr. 1402. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Kristensen, N. B., Storm, A. C., & Larsen, M. (2010). Effect of dietary nitrogen content and intravenous urea infusion on ruminal and portal-drained visceral extraction of arterial urea in lactating Holstein cows. *Journal of dairy science*, 93(6), 2670-2683.
- Külling, D. R., Menzi, H., Kröber, T. F., Neftel, A., Sutter, F., Lischer, P., & Kreuzer, M. (2001). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *The Journal of Agricultural Science*, 137(2), 235-250.
- Lassey, K. (2012). Methane emissions and nitrogen excretion rates for New Zealand goats. Ministry of Agriculture and Forestry, New Zealand: Wellington.
- Law, R. A., Young, F. J., Patterson, D. C., Kilpatrick, D. J., Wylie, A. R. G., & Mayne, C. S. (2009). Effect of dietary protein content on animal production and blood metabolites of dairy cows during lactation. *Journal of Dairy Science*, 92(3), 1001-1012.
- Lemes, Y. M., Nyord, T., Feilberg, A., & Kamp, J. N. (2023). Effect of covering deep litter stockpiles on methane and ammonia emissions analyzed by an inverse dispersion method. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(5), 399-412.
- LNV. (2022). Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering 2022-2035. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit: Den Haag.
- Loyon, L. (2018). Overview of animal manure management for beef, pig, and poultry farms in France. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 36.
- LTO, & NGZO. (2017). Welzijn geitenbokken: Plan van aanpak. LTO Melkgeitenhouderij & Nederlandse Geiten Zuivel Organisatie: Den Haag.
- Maasdam, E., Daatselaar, C., Oonk, H., Bondt, N., Jansen, L., & Kroes, K. (2024). Methaanoxidatie bij mestopslagen: Voortgangsverslag deel 1: werking en aandachtspunten voor 3 methaanoxidatie technieken. Rapport nr. 1472. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Maasdam, E., Melse, R., & Ogink, N. (2021). Onderzoek naar verbeterpunten voor combi-luchtwassers in de praktijk. Rapport 1337. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Martin, C., Morgavi, D. P., & Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 4(3), 351-365.
- Martinez-Fernandez, G., Denman, S. E., Yang, C., Cheung, J., Mitsumori, M., & McSweeney, C. S. (2016). Methane inhibition alters the microbial community, hydrogen flow, and fermentation response in the rumen of cattle. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1122.
- Mataveia, G. A., Visser, C., & Siteo, A. (2021). Smallholder goat production in Southern Africa: A review. In: S. Kykovics (ed.). *Goat science: Environment, Health and Economy*. IntechOpen.
- Mathot, M., Decruyenaere, V., Lambert, R., & Stilmant, D. (2016). Deep litter removal frequency rate influences on greenhouse gas emissions from barns for beef heifers and from manure stores. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 94-105.



- 
- Mathot, M., Lambert, R., Stilmant, D., & Decruyenaere, V. (2020). Carbon, nitrogen, phosphorus and potassium flows and losses from solid and semi-solid manures produced by beef cattle in deep litter barns and tied stalls. *Agricultural Systems*, 178, 102735.
- Mazhangara, I. R., Chivandi, E., Mupangwa, J. F., & Muchenje, V. (2019). The potential of goat meat in the red meat industry. *Sustainability*, 11(13), 3671.
- Meijer, E., Goerlich, V. C., Brom, R. v. d., Giersberg, M. F., Arndt, S. S., & Rodenburg, T. B. (2021). Perspectives for buck kids in dairy goat farming. *Frontiers in veterinary science*, 8, 662102.
- Melgar, A., Welter, K. C., Nedelkov, K., Martins, C. M. M. R., Harper, M. T., Oh, J., ... & Hristov, A. N. (2020). Dose-response effect of 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions in dairy cows. *Journal of dairy science*, 103(7), 6145-6156.
- Melse, R. W., de Sauvage, G., & Roest, H. I. J. (2010). Bepaling van de optredende temperaturen bij tunnelcompostering van geitenmest. Rapport nr. 10/CVI0280. Wageningen UR Centraal Veterinair Instituut: Lelystad.
- Migchels, G., Kuikman, P., Aarts, H., van Dooren, H., Ehlert, P., Luttik, J., Sebek, L., & Zwart, K. (2011). Kansen en bedreigingen voor mestvergiftiging en groengasproductie in de Gelderse landbouw: een eerste verkenning. Rapport nr. 505. Wageningen UR Livestock Research: Lelystad.
- Misselbrook, T., & Powell, J. (2005). Influence of bedding material on ammonia emissions from cattle excreta. *Journal of dairy science*, 88(12), 4304-4312.
- Mollenhorst, H., de Ridder, A., & Groenestein, C. (2020). Ontwikkeling klimaatatlas veehouderij. Rapport nr. 1236. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Møller, H. B., Sommer, S. G., & Ahring, B. K. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and bioenergy*, 26(5), 485-495.
- Monteny, G., Schulte, D., Elzing, A., & Lamaker, E. (1998). A conceptual mechanistic model for the ammonia emissions from free stall cubicle dairy cow houses. *Transactions of the ASAE*, 41(1), 193-201.
- Mosquera, J., Aarnink, A., Ellen, H., Van Dooren, H., Van Emous, R., Van Harn, J., & Ogink, N. (2017). Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken: Geactualiseerde versie 2017. Rapport nr. 645. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Mosquera, J., Goselink, Y., van Valkengoed, P. H. R., & Hol, J. M. G. (2025). Stalemissie van ammoniak, methaan, lachgas, geur en PM10: Resultaten van praktijkmetingen in stallen voor jongvee, blankvleeskalveren, rosé vleeskalveren, geiten, biggen, vleesvarkens en dragende zeugen.
- Mosquera, J., Groenestein, C., Timmerman, M., Aarnink, A., Winkel, A., Ploegaert, J., & Ogink, N. (2013). Deskstudie naar maatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies uit varkens- en pluimveestallen. Rapport nr. 750. Wageningen UR Livestock Research: Lelystad.
- Mosquera, J., Hol, J., & Huis in 't Veld, J. W. H. (2005). Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee I: stal. Rapport nr. 324. *Agrrotechnology & Food Innovations*: Wageningen.
- Mosquera, J., Hol, J., & Monteny, G. (2006). Gaseous emissions from a deep litter farming system for dairy cattle. *International Congress Series*, 1293, 291-294.
- Mosquera, J., van Dooren, H., Hol, J., Ploegaert, J., & Ogink, N. (2022). Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit twee natuurlijk geventileerde geitenstallen: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Rapport 1378. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Murphy, M. R., Baldwin, R. L., & Koong, L. J. (1982). Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 55(2), 411-421.
- Nationale methaanstrategie (2022). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-58633e5c94e98000e7ee9713c6357796811271be/pdf>
- NGZO. (2024). Handboek Kwaliteit: Protocol 2024. Nederlandse GeitenZuivel Organisatie: Den Haag.
- Nicholson, R., Webb, J., & Moore, A. (2002). A review of the environmental effects of different livestock manure storage systems, and a suggested procedure for assigning environmental ratings. *Biosystems Engineering*, 81(4), 363-377.
- Nicks, B., Laitat, M., Farnir, F., Vandenheede, M., Desiron, A., Verhaeghe, C., & Canart, B. (2004). Gaseous emissions from deep-litter pens with straw or sawdust for fattening pigs. *Animal Science*, 78(1), 99-107.
- Oenema, O., Velthof, G., Verdoes, N., Koerkamp, P. G., Monteny, G., Bannink, A., Van der Meer, H., & Van der Hoek, K. (2000). Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen. Rapport nr. 107. Alterra: Wageningen.

- Olijhoek, D. W., Hellwing, A. L. F., Brask, M., Weisbjerg, M. R., Højberg, O., Larsen, M. K., ... & Lund, P. (2016). Effect of dietary nitrate level on enteric methane production, hydrogen emission, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy cows. *Journal of dairy science*, 99(8), 6191-6205.
- O'Mara, F. P., Fitzgerald, J. J., Murphy, J. J., & Rath, M. (1998). The effect on milk production of replacing grass silage with maize silage in the diet of dairy cows. *Livestock Production Science*, 55(1), 79-87.
- Omgevingsregeling (2024). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2024-06-15>
- Oosting, S., van der Lee, J., Verdegem, M., de Vries, M., Vernooij, A., Bonilla-Cedrez, C., & Kabir, K. (2022). Farmed animal production in tropical circular food systems. *Food Security*, 14(1), 273-292.
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., & Steinfeld, H. (2013). Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains—A global life cycle assessment. Food and agriculture organization of the United Nations.
- Opsteegh, M., van Roon, A., Wit, B., Hagen-Lenselink, R., van Duijkeren, E., Dierikx, C., Hengeveld, P., Franz, E., Bouw, E., & van der Meij, A. (2018). Surveillance zoönosen in de melkgeiten- en melkschapenhouderij in 2016. Rapport nr. 2018-0059. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: Bilthoven.
- Pandey, A. (1980). Vegetation and bovine population interactions in the Savanna grazing lands of Chandraprabha sanctuary, Varanasi 1. seasonal behaviour of grazing lands [India]. *Tropical Ecology (India)*, 21(1), 138-150.
- PBL, TNO, CBS, & RIVM. (2022). Klimaat- en energieverkenning 2022. Planbureau voor de Leefomgeving: Den Haag.
- Peigné, J., & Girardin, P. (2004). Environmental impacts of farm-scale composting practices. *Water, Air, and Soil Pollution*, 153, 45-68.
- Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., & Sommer, S. G. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. *Animal*, 7(s2), 266-282.
- Petersen, S. O., Højberg, O., Poulsen, M., Schwab, C., & Eriksen, J. (2014). Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. *Journal of applied microbiology*, 117(1), 160-172.
- Philippe, F.-X., Cabaraux, J.-F., & Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(3-4), 245-260.
- Philippe, F.-X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., & Nicks, B. (2007). Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science*, 111(1-2), 144-152.
- Pijlman, J. (2009). Weidegang in de biologische melkgeitenhouderij: resultaten onderzoek 2008. Rapport nr. 17. Louis Bolk Instituut: Driebergen.
- Pijlman, J., Timmermans, B., Monteny, G.-J., & de Wi, J. (2018). Strooiselstalsystemen: ammoniak en andere emissies, dierwelzijn en mestkwaliteit. Publicatie nr. j 2018-027. Louis Bolk Instituut: Driebergen.
- Platform Melkgeitenhouderij (2019). Versnellen verduurzaming van de melkgeitenhouderij. Platform Melkgeitenhouderij: Den Haag.
- Platform Melkgeitenhouderij. (2024). Gezond, vertrouwd en duurzaam vooruit! Ketenvisie Platform Melkgeitenhouderij. Platform Melkgeitenhouderij: Den Haag.
- Plomp, M., & Migchels, G. (2021). Quick scan stikstofproblematiek en biologische veehouderij: Mogelijke bijdrage van de biologische sector aan oplossingsrichtingen voor ammoniakproblematiek. Rapport nr. 1306. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Plummer, P. J., McClure, J. T., Menzies, P., Morley, P. S., Van den Brom, R., & Van Metre, D. C. (2018). Management of *C. oxiella burnetii* infection in livestock populations and the associated zoonotic risk: A consensus statement. *Journal of veterinary internal medicine*, 32(5), 1481-1494.
- Powell, J., Broderick, G., & Misselbrook, T. (2008). Seasonal diet affects ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *Journal of dairy science*, 91(2), 857-869.
- Puente-Rodríguez, D., & Bos, A. (2019). Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20): Ontwerpen voor huisvestingssystemen van melkvee met lage ammoniakemissie. Rapport nr. 1162. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Puente-Rodríguez, D., & Groenestein, C. (2019). Duurzaamheids-ethische toetsing van methaanreducerende technische maatregelen: Evaluatie van technische maatregelen ten aanzien van de integrale verduurzaming van de veehouderij. Rapport nr. 1178. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Puente-Rodríguez, D., Bos, A., & Vonk, J. (2023). Milieutechnologieën in de melkveehouderij tegen klimaatverandering: Testen en bemeten van (bijna) praktijkrijpe combinaties van technieken om

- 
- methaanemissie uit mest in bestaande melkveestallen te verminderen. Rapport nr. 1419. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Puente-Rodríguez, D., Bremmer, B., & Hopster, H. (2025). Ontwerpen met melkgeiten en andere stakeholders: Eerste stappen voor het herontwerpen van melkgeitenstallen. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Puente-Rodríguez, D., Gollenbeek, L., Verdoes, N., & Bos, A. (2022). Perspectief van het aanzuren van mest in Nederland om methaan-en ammoniakemissie te reduceren. Rapport nr. 1375. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Puente-Rodríguez, D., Vonk, J., Bos, A., Maasdam, R., & Aarnink, A. J. (2024). Mest koelen tegen het opwarmen van de aarde: 'Mest koelen 1.0+ 2.0' en 'extern mest koelen' om de methaanemissie (en ammoniakemissie) in de melkveehouderij te reduceren technieken. Rapport nr. 1486. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Rapetti, L., Colombini, S., Battelli, G., Castiglioni, B., Turri, F., Galassi, G., ... & Crovetto, G. M. (2021). Effect of linseeds and hemp seeds on milk production, energy and nitrogen balance, and methane emissions in the dairy goat. *Animals*, 11(9), 2717.
- Rapetti, L., Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G. M., & Malagutti, L. (2014). Relationship between milk urea level, protein feeding and urinary nitrogen excretion in high producing dairy goats. *Small Ruminant Research*, 121(1), 96-100.
- Robertson, K., Symes, W., & Garnham, M. (2015). Carbon footprint of dairy goat milk production in New Zealand. *Journal of dairy science*, 98(7), 4279-4293.
- Rol, M., & van den Hurk, J. (2020). De toekomst van Food & melkgeitenhouderij. Rabobank, presentatie voor Studieclub melkgeitenhouderij Zuid-Nederland.
- Romero, P., Ungerfeld, E. M., Popova, M., Morgavi, D. P., Yáñez-Ruiz, D. R., & Belanche, A. (2024). Exploring the combination of *Asparagopsis taxiformis* and phloroglucinol to decrease rumen methanogenesis and redirect hydrogen production in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 316, 116060.
- Romero, T., Palomares, J. L., Moya, V. J., Loo, J. J., & Fernández, C. (2020). Alterations in energy partitioning and methane emissions in Murciano-Granadina goats fed orange leaves and rice straw as a replacement for beet pulp and barley straw. *Animals*, 11(1), 38.
- Rommers, J., de Jong, I., & van Weeghel, E. (2020). Pilot ten behoeve van substraatvoorkeur voor stofbadgedrag van leghennen. Rapport nr. 1264. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Roque, B. M., Salwen, J. K., Kinley, R., & Kebreab, E. (2019a). Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*, 234, 132-138.
- Roque, B. M., Van Lingen, H. J., Vrancken, H., & Kebreab, E. (2019b). Effect of Mootral—a garlic-and citrus-extract-based feed additive—on enteric methane emissions in feedlot cattle. *Translational Animal Science*, 3(4), 1383-1388.
- Ruiz Morales, F. d. A., Genís, J. M. C., & Guerrero, Y. M. (2019). Current status, challenges and the way forward for dairy goat production in Europe. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1256.
- Ruysenaars, P., Coenen, P., Rienstra, J., Zijlema, P., Arets, E., Baas, K., Dröge, R., Geilenkirchen, G., t Hoen, M., & Honig, E. (2021). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2019. Rapport nr. 2021-0007. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM): Bilthoven.
- RVO (2020). Subsidie onderzoeken en ontwikkelen innovaties stalsystemen 3e openstelling. <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sbv/innovatie-stalsystemen/3e-openstelling#voor-wie-en-waarvoor%3F>
- RVO (2021). Onderzoeken en ontwikkelen innovaties stalsystemen februari - mei 2021. <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sbv/innovatie-stalsystemen/2e-openstelling>
- Sailer, L. M., Holinger, M., Burla, J.-B., Wechsler, B., Zanolari, P., & Friedli, K. (2021). Influence of housing and management on claw health in Swiss dairy goats. *Animals*, 11(7), 1873.
- Schep, C., van Dooren, H., Mosquera, J., van Well, E., Keuskamp, J., & Ogink, N. (2022). Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Rapport nr. 1388. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Schrade, S., Zeyer, K., Mohn, J., & Zähler, M. (2023). Effect of diets with different crude protein levels on ammonia and greenhouse gas emissions from a naturally ventilated dairy housing. *Science of the Total Environment*, 896, 165027.

- 
- Schuiling, E. (2000). Handboek melkgeitenhouderij. Rapport nr. 44. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden: Lelystad.
- Schuiling, H. (2007). Duurmelken bij geiten. Rapport nr. 97. Animal Science Group Wageningen UR: Lelystad.
- Sebek, L., Mosquera, J., & Bannink, A. (2016). Rekenregels voor de enterische methaan-emissie op het melkveebedrijf en reductie van de methaan-emissie via mesthandling, het handelings-perspectief van het voerspoor inzichtelijk maken met de Kringloopwijzer. Rapport nr. 976. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- SER. (2021). Naar duurzame toekomstperspectieven voor de landbouw. Verkenning 21/06. Sociaal Economische Raad: Den Haag.
- Skapetas, B., & Bampidis, V. (2016). Goat production in the World: present situation and trends. Livestock research for Rural development, 28(11), 200.
- Slier, T., & Velthof, G. (2021). 30 vragen en antwoorden over lachgasemissie uit landbouwgronden. Wageningen Environmental Research: Wageningen.
- Slier, T., Stout, B., Vervuurt, W., Schepens, J., Garcia, L. M., Velthof, G., Lesschen, J., Westerik, B., Koopmans, C., & van Middelaar, J. (2022). Integratierapport Slim Landgebruik: Verdieping op de effecten van maatregelen binnen Slim Landgebruik. Wageningen Environmental Research: Wageningen.
- Smeding, F., & Langhout, J. (2006). Riet voor stro: natuurstrooisel in de potstal. Rapport nr. LV61. Louis Bolk Instituut: Driebergen.
- Sommer, S. G., & Møller, H. B. (2000). Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production—effect of straw content. The Journal of Agricultural Science, 134(3), 327-335.
- Starmans, D., Bruins, M., Melse, R., Veeken, A., & Willers, H. (2002). Mest: compostering, nutriëntenverliezen en toepassing: P398-1: beleidsondersteunend onderzoek op het terrein van voedsel en groen. IMAG: Wageningen.
- Stouthart, F. (2018). Veehouderij, geur en mogelijke effecten van andere geurnormen (fase 1). Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant: Eindhoven.
- Sutherland, M. A., Lowe, G. L., Watson, T. J., Ross, C. M., Rapp, D., & Zobel, G. A. (2017). Dairy goats prefer to use different flooring types to perform different behaviours. Applied Animal Behaviour Science, 197, 24-31.
- Sutherland, M., Lowe, G., Ross, C., Rapp, D., & Zobel, G. (2016). Evaluation of alternative flooring surfaces for dairy goats. Journal of Animal Science, 94, 38-38.
- Sutton, M. A., Howard, C., Mason, K., Brownlie, W., & Cordovil, C. (2022). Nitrogen opportunities for agriculture, food & environment. UNECE guidance document on integrated sustainable nitrogen management. UK Centre for Ecology & Hydrology: Edinburgh.
- Sutton, M., Dalgaard, T., Cordovil, C., & Howard, C. (2015). United Nations Economic Commission for Europe Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. United Nations Economic Commission for Europe.
- Tamminga, S., Bannink, A., Dijkstra, J., & Zom, R. L. G. (2007). Feeding strategies to reduce methane loss in cattle (No. 34). Animal Sciences Group.
- Timmerman, M., & Groenestein, C. (2020). Monitoring van mestparameters en methaanproductie van mest in mestsilo's. Rapport nr. 1252. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Tölü, C., & Savaş, T. (2019). Dairy goat usage of flooring types varied by material, slope and slot width. Applied Animal Behaviour Science, 215, 37-44.
- Udo, H., Aklilu, H., Phong, L., Bosma, R., Budisatria, I., Patil, B., Samdup, T., & Bebe, B. (2011). Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. Livestock Science, 139(1-2), 22-29.
- Van Bruggen, C., & Faqiri, F. (2015). Trends in beweiden en opstallen van melkkoeien en het effect op emissies naar lucht. Centraal Bureau voor de Statistiek: Den Haag.
- Van Bruggen, C., & Gosseling, M. (2019). Dierlijke mest en Mineralen. Centraal Bureau voor de Statistiek: Den Haag.
- Van Den Pol-Van Dasselaar, A., Blokland, P., Gies, T., Holshof, G., De Haan, M., Naeff, H., & Philipsen, A. (2015). Beweidbare oppervlakte en weidegang op melkveebedrijven in Nederland. Rapport nr. 917. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Van der Giessen, J., Hagenaars, T., de Rooij, M., Hewitt, B. C., Lotterman, A., Roof, I., ... & Smit, L. (2024). Veehouderij en gezondheid omwonenden (VGO-III): Actualisatie epidemiologische studies 2014-2019: onderzoek naar longontstekingen rond melkgeitenhouderijen 2018-2024.

- Van der Net, L., Coenen, P., Rienstra, J., Zijlema, P., Arets, E., Baas, K., Dröge, R., Geertjes, K., t Hoen, M., & Honig, E. (2023). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2021. Rapport nr. 2023-0052. Rijksdienst voor Volksgezondheid en Milieu: Bilthoven.
- Van der Net, L., Staats, N., Coenen, P., Rienstra, J., Zijlema, P., Arets, E., Baas, K., van Baren, S., Dröge, R., & Geertjes, K. (2024). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2022. National Inventory Report 2024. Rapport nr. 2024-0017. Rijksdienst voor Volksgezondheid en Milieu: Bilthoven.
- Van der Schans, F. (2000). Koeien binnen of buiten?: afwegingen bij het weiden van melkvee. Centrum voor Landbouw en Milieu: Utrecht.
- Van Dooren, H., Ogink, N., & Vermeij, I. (2023). Sectoranalyse melkvee: Fase 1: Overzicht integraal duurzame stalsystemen ten behoeve van de Subsidie modules brongerichte verduurzaming stal-en managementmaatregelen (Sbv). Rapport nr. 1434. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Van Dooren, H., Ogink, N., Van Riel, J., Mosquera, J., & Zonderland, J. (2019). Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding: onderzoek op Dairy Campus. Rapport nr. 1130. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Van Gastelen, S., Burgers, E. E., Dijkstra, J., de Mol, R., Muizelaar, W., Walker, N., & Bannink, A. (2024). Long-term effects of 3-nitrooxypropanol on methane emission and milk production characteristics in Holstein Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science*.
- van Gastelen, S., Dijkstra, J., & Bannink, A. (2019). Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep?. *Journal of dairy science*, 102(7), 6109-6130.
- Van Grinsven, H. J., van Eerdt, M. M., Westhoek, H., & Kruitwagen, S. (2019). Benchmarking eco-efficiency and footprints of Dutch agriculture in European context and implications for policies for climate and environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 13.
- Van Horne, P., & Sturkenboom, H. (1985). In plaats van melkvee. Publicatienummer: 33. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij: Lelystad.
- van Horne, P., & Zaalmink, B. (1987). Afzetperspectieven voor Nederlandse geitokaas op middellange termijn. Mededeling: 378. Landbouw-Economisch Instituut: Den Haag.
- Van Kessel, J. A. S., & Russell, J. B. (1996). The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS microbiology ecology*, 20(4), 205-210.
- Van Zijderveld, S. M., Dijkstra, J., Perdok, H. B., Newbold, J. R., & Gerrits, W. J. J. (2011b). Dietary inclusion of diallyl disulfide, yucca powder, calcium fumarate, an extruded linseed product, or medium-chain fatty acids does not affect methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(6), 3094-3104.
- Van Zijderveld, S. M., Gerrits, W. J. J., Apajalahti, J. A., Newbold, J. R., Dijkstra, J., Leng, R. A., & Perdok, H. B. (2010). Nitrate and sulfate: Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *Journal of dairy science*, 93(12), 5856-5866.
- Van Zijderveld, S. M., Gerrits, W. J. J., Dijkstra, J., Newbold, J. R., Hulshof, R. B. A., & Perdok, H. B. (2011a). Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *Journal of dairy science*, 94(8), 4028-4038.
- Vellinga, T. (2023). Verkenning van maatregelen voor vermindering van methaanemissie uit de melkvee- en varkenshouderij voor het bereiken van klimaatdoelen 2030. Rapport nr. 1418. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Velthof, G., & Oenema, O. (1997). Nitrous oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 45(3), 347-360.
- Vermeij, I., Blanken, K., Evers, A. G., Groeneveld, I., Ouweltjes, W., Verkaik, J. C., & Wemmenhove, H. (2023). KWIN 2023-2024: Kwantitatieve Informatie Veehouderij. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Vermorel, M., Jouany, J. P., Eugène, M., Sauvant, D., Noblet, J., & Dourmad, J.-Y. (2008). Evaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France. *INRAE Productions Animales*, 21(5), 403-418.
- Viaene, J., Nelissen, V., Reubens, B., Vandecasteele, B., & Willekens, K. (2015). Optimanure: Optimaliseren van de opslag en behandeling van vaste rundermest via compostering of inkuilen. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek.
- Vonk, J., van Bruggen, C., Lagerwerf, L., Huijsmans, J., Luesink, H., van der Zee, T., & Velthof, G. (2023). Raming van luchtmissies uit de landbouw tot 2030, met doorkijk naar 2040: Achtergronddocument

- 
- veehouderij en akkerbouw bij de Klimaat-en Energieverkenning 2022. Rapport nr. 1399. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Vries, A. D., & Eekeren, N. V. (2007). Graasgedrag van de landgeit in Nederland: een verkenning. Rapport nr. 9. Louis Bolk Instituut: Driebergen.
- Weaver, S. (2021). *The Goat: A natural history*. Ivy Press.
- Webb, J., Sommer, S. G., Kupper, T., Groenestein, K., Hutchings, N. J., Eurich-Menden, B., Rodhe, L., Misselbrook, T. H., & Amon, B. (2012). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during the management of solid manures. In: E. Lichtfouse (ed.). *Agroecology and strategies for climate change*, 67-107.
- Wevers, K., Hol, S., Meijvogel, D., van der Weide, R., & Gollenbeek, L. (2023). Mogelijke mest behandelingen op bedrijfsniveau: PPS, betere stal, betere mest, betere oogst. WPR-OT 952. Wageningen Plant Research: Wageningen.
- Winkel, A., Wouters, I., Hagenaars, T., Heederik, D., Ogink, N., & Vermeij, I. (2016). Additionele maatregelen ter vermindering van emissies van bioaerosolen uit stallen: verkenning van opties, kosten en effecten op de gezondheidslast van omwonenden. Rapport nr. 949. Wageningen Livestock Research: Wageningen.
- Wu, W., Tong, Z., Zhang, G., Malkawi, A., Wang, X., & Benner, J. (2019). An energy efficient hydraulic system to cool manure and reduce ammonia emissions from livestock buildings. *Journal of Cleaner Production*, 235, 920-929.
- Yamulki, S. (2006). Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2-3), 140-145.
- Zobel, G., Neave, H. W., & Webster, J. (2019). Understanding natural behavior to improve dairy goat (*Capra hircus*) management systems. *Translational animal science*, 3(1), 212-224.



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.

