



Milieutechnologieën voor de verduurzaming van de vleeskalverhouderij

Evaluatie van kansrijke maatregelen om de ammoniak- en methaanemissies uit mest (stal en opslag) in de vleeskalverhouderij te reduceren

Daniel Puente-Rodríguez, Hopster, H., Gollenbeek, L.R., Mica, J.H. en Bokma, S.

OPENBAAR
RAPPORT 1570



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Milieutechnologieën voor de verduurzaming van de vleeskalverhouderij

Evaluatie van kansrijke maatregelen om de ammoniak- en methaanemissies uit mest (stal en opslag) in de vleeskalverhouderij te reduceren.

D. Puente-Rodríguez¹, H. Hopster², L.R. Gollenbeek¹, J.H. Mica¹ en S. Bokma³

1 Wageningen Livestock Research

2 HopSterAdvies

3 Emsterhof Advies

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het TKI- Agri & Food- programma 'TKI-AF-LWV 1905' (PPS-nummer BO-59-001-004).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, april 2025

Rapport 1570

Puente-Rodríguez, D., Hopster, H., Gollenbeek, L.R., Mica, J.H. en Bokma, S., 2025. *Milieutechnologieën voor de verduurzaming van de vleeskalverhouderij; Evaluatie van kansrijke maatregelen om de ammoniak- en methaanemissies uit mest (stal en opslag) in de vleeskalverhouderij te reduceren*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1570.

Samenvatting NL. De vleeskalverhouderij staat, evenals andere schakels in de voedselketen, voor grote uitdagingen. Klimaatverandering, snel veranderende verdienmodellen en de teruggang van de biodiversiteit vereisen actie. In dit rapport worden een aantal emissiereductiemaatregelen geëvalueerd. Deze zijn kansrijk om met name de ammoniak- en methaanemissies uit vleeskalverstallen op de korte en middellange termijn te reduceren. De evaluatiecriteria zijn: emissiereductiepercentage, kosten, 'technology readiness level' en andere factoren zoals inpasbaarheid in bestaande stallen, ruimtebeslag op het bouwblok, etc. Daarnaast worden deze maatregelen getoetst aan andere duurzaamheidscriteria zoals dierenwelzijns- en diergezondheidsindicatoren.

Summary UK. Veal calf farming, as well as other elements in the food system, faces many challenges. Climate change, rapidly changing revenue models and the depletion of biodiversity require action. This report evaluates a number of measures to reduce emissions. These are promising for reducing ammonia and methane emissions in veal calf barns in the short and medium term. The evaluation criteria are: Emission reduction potential (%), costs, technology readiness level, and other factors such as the ease of implementation in existing barns, space requirement on the farm, etc. In addition to this, these measures are also assessed against indicators for animal welfare and animal health.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/692081> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

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

Wageningen Livestock Research Rapport 1570

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Ammoniak- en methaanemissie – mechanismen en maatregelen	6
1.1.1	Ammoniakemissie – mechanismen, sleutelfactoren en maatregelen	7
1.1.2	Methaanemissie uit de mest – mechanismen, sleutelfactoren en maatregelen	8
1.1.3	Maatregelen	10
2	Toetsingsindicatoren	11
2.1	Emissiereductie, kosten/baten, 'technology readiness level' en overige indicatoren	11
2.1.1	Emissiereductie van NH ₃ , CH ₄ en geur	11
2.1.2	Kosten en baten	15
2.1.3	Ontwikkelingsfase systeem – Technology Readiness Level	17
2.1.4	Overige factoren	19
2.2	Dierenwelzijns- en gezondheidsindicatoren	21
2.2.1	Maatschappelijke context	21
2.2.2	Emissiereductie en welzijn van kalveren	22
2.2.3	Kwaliteit van de stallucht	22
2.2.4	Mestgassen in relatie tot welzijn en gezondheid	23
2.2.5	Veranderingen aan of op de vloer	30
3	Evaluatie van maatregelen	34
3.1	Scheiding van feces en urine onder de roostervloer door middel van een mestband	34
3.1.1	Systeembeschrijving	34
3.1.2	Evaluatie	36
3.2	Opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing)	40
3.2.1	Systeembeschrijving	40
3.2.2	Evaluatie	41
3.3	Mest koelen	45
3.3.1	Systeembeschrijving	45
3.3.2	Evaluatie	46
3.4	Dagontmesting door middel van spoelgoten	50
3.4.1	Systeembeschrijving	50
3.4.2	Evaluatie	50
3.5	Mestschuif onder de roostervloer met lage urease-activiteit vanwege urease-remmer of rubber-uitvoering	54
3.5.1	Systeembeschrijving	54
3.5.2	Evaluatie	55
3.6	Mest verdunnen met water	59
3.6.1	Systeembeschrijving	59
3.6.2	Evaluatie	59
3.7	Aanzuren van mest	62
3.7.1	Systeembeschrijving	62
3.7.2	Evaluatie	63
3.8	Luchtwater	66
3.8.1	Systeembeschrijving	66
3.8.2	Evaluatie	67
3.9	Aanvullende vloermaatregelen	70
3.9.1	Rubberen (indrukbare) bolle toplaag	70
3.9.2	Doorlatende gecoate metalen vloer	72

3.9.3	Perspectief dichte vloeren - discussie	74
3.10	Aanvullende nageschakelde mest/fracties bewerken - perspectief	77
3.10.1	Mest tijdelijk opslaan en/of afvoeren	77
3.10.2	Mest vergisten	78
3.10.3	Na mestscheiding dikke fractie drogen/composteren	79
4	Conclusie en reflectie	81
4.1	Emissies	81
4.2	Kosten	83
4.3	'Technology Readiness Level'	85
4.4	Overige factoren	87
4.5	Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)	88
4.6	Dierenwelzijn en -gezondheid in relatie tot verandering aan de hokvloer	89
Literatuur		90
Bijlage 1	Dashboard kosten	100
Bijlage 2	Routinematig verzamelde praktijkgegevens	101

1 Inleiding

De vleeskalverhouderij, evenals andere schakels in de voedselketen, staat voor grote uitdagingen. Klimaatverandering en de uitputting van de biodiversiteit vereisen actie van de verschillende sectoren binnen de landbouw- en voedseldomeinen.

Nederland heeft in 2016 het Klimaatakkoord van Parijs (2015) geratificeerd. Het nationaal klimaat- en energieakkoord is verankerd in de Klimaatwet (2018). Het doel hiervan is om in de landbouw tot 2030 3,5 Mton CO₂-eq te reduceren. Voor de gehele veehouderij is in het Klimaatakkoord een reductieopgave van 1,2 - 2,7 Mton CO₂-eq voor 2030 afgesproken. Daarnaast is in het regeerakkoord opgenomen dat dit tenminste 1 Mton CO₂-eq emissiereductie van methaan betreft.

In het kader van biodiversiteitsbescherming stuurt Nederland op basis van de (EU) Vogel- en Habitatrichtlijnen. De stikstofemissies naar de lucht (vanuit de landbouw vooral in de vorm van ammoniak) moeten gereduceerd worden. In principe moet in 2030 21% minder ammoniak ten opzichte van 2005 worden uitgestoten¹. In Nederland moet op grond van de (Wet natuurbescherming en de) Omgevingswet stikstofreductie en natuurverbetering, in 2030 minimaal 50% en in 2035 minimaal 74% van het areaal aan stikstofgevoelige natuur in beschermde Natura 2000-gebieden de kritische depositiewaarde niet meer overschrijden. Wat dit betekent voor welke sectoren/bedrijven staat op het moment van schrijven nog ter discussie. Het onderwerp werd tot 2024 georganiseerd in provinciale gebiedsplannen in het kader van het Nationale Programma Landelijk Gebied (NPLG)².

Deze ambities passen binnen de trend waarbij burgers, consumenten, maatschappelijke organisaties, bedrijven en overheidsinstanties steeds kritischer worden over hoe voedsel wordt geproduceerd en over de impact op het klimaat, de natuur en de productiedieren. Het Kabinet heeft het initiatief genomen om in samenwerking met de belangrijkste partijen een convenant dierwaardige veehouderij op te stellen. Aan een deeltafel van dit proces worden tevens de contouren, qua dierenwelzijn en diergezondheid, voor de kalversector geschetst. Op het moment van schrijven van dit rapport is de invulling van een dierwaardige vleeskalverhouderij nog niet afgerond. Aan de basis van een dierwaardige (vleeskalver)veehouderij staan de zes leidende principes, op basis waarvan productiedieren een positieve staat van welzijn ervaren zoals door de Raad voor Dierenaangelegenheden is voorgesteld (RDA, 2021): erkenning van de intrinsieke waarde van dieren en het belang van goede voeding, goede omgeving, goede gezondheid en natuurlijk gedrag resulterend in een positieve emotionele toestand.

In deze context wordt het project 'vermindering emissies en verbetering stalklimaat door bronaanpak in kalverstallen' uitgevoerd om integrale ontwerpen van duurzamere vleeskalverstalsystemen te bedenken. De algemene doelstelling is om meerdere principes en concepten te integreren in bestaande en nieuwe kalverstallen om emissies (van ammoniak, methaan en andere broeikasgassen (BKG) en geur) te reduceren op een wijze die tegelijkertijd ook het stalklimaat, diergezondheid (inclusief antibiotica gebruik) en het dierenwelzijn verbeteren. Dit kan vervolgens leiden tot een betere aansluiting bij maatschappelijke wensen en doelen. Het project is een samenwerkingsverband van organisaties en bedrijven in de vleeskalversector, namelijk met vertegenwoordigers van Stichting Brancheorganisatie Kalversector (SBK), VanDrie Group, Denkavit, Pali Group, LTO Nederland en het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) samen met het onderzoeksinstituut Wageningen

¹ EU-doelen uitstoot luchtverontreiniging voor 2020 en 2030 binnen bereik, maar reductietempo neemt af | PBL Planbureau voor de Leefomgeving (geraadpleegd mei 2023).

² Zie bijvoorbeeld Consultatie ontwerp van het Nationaal Programma Landelijk Gebied | Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl (geraadpleegd januari 2024).

Livestock Research. Het project is medegefinancierd door de TopSector Agri & Food en wordt uitgevoerd tussen 2020 en 2024.

In dit rapport wordt een aantal combinaties van maatregelen geëvalueerd. Deze zijn kansrijk om met name de ammoniak- en methaanemissies in vleeskalverstallen op de korte en middellange termijn te reduceren. In eerdere publicaties werd gerelateerd werk uitgewerkt, zie Puente-Rodríguez et al., 2021 en Gollenbeek et al., 2023. In deze eerdere onderzoeken lag de nadruk op de technische en economische kansen van systemen voor bestaande stallen. In opdracht van de consortiumpartners van het project, valideert en versterkt het voorliggend rapport dat werk en voert een uitgebreidere beoordeling uit door ook criteria op het gebied van dierenwelzijn en diergezondheid toe te passen. In de volgende paragrafen in dit hoofdstuk wordt achtergrondinformatie uitgewerkt over de mechanismen, sleutelfactoren en maatregelen rondom ammoniak- en methaanemissies. In Hoofdstuk 2 worden de toetsingsindicatoren uitgewerkt en de methode om maatregelen te evalueren uitgelegd. In Hoofdstuk 3 worden de maatregelen geëvalueerd. In het laatste hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten samengevat, conclusies getrokken en vragen en punten voor discussie voorgesteld.

Procesaanpak: de definitie van de indicatoren, de beschrijving van de maatregelen evenals het verzamelen van informatie voor het uitvoeren van de evaluatie is gedaan op basis van een deskstudie. Voor een aantal maatregelen is er geen specifieke informatie over de vleeskalverhouderij beschikbaar, in deze gevallen is er gezocht naar informatie van andere veehouderijsectoren. Verder zijn er een aantal focusgroepen georganiseerd om: (1) kansrijke emissiereductiemaatregelen te identificeren, (2) toetsingsindicatoren te definiëren en (3) de evaluatie uit te voeren en resultaten te valideren. Inschattingen en berekeningen werden ook gevalideerd met experts, met één stalbouwbedrijf, één vleesvarkensbedrijf en leveranciers van technieken. Tijdens het evaluatiewerk werd met de projectpartners overgelegd en zijn er ook individuele of groepsoverleggen gevoerd om specifieke informatie te bespreken.

1.1 Ammoniak- en methaanemissie – mechanismen en maatregelen

Door de gestaag toegenomen productiviteit en efficiëntie van de kalversector zijn de milieuprestaties per eenheid product (kg kalfsvlees) de laatste jaren sterk verbeterd (Kool et al., 2020). De druk van klimaatverandering en biodiversiteitsuitdagingen die zich vertalen in wet- en regelgeving, vereisen dat deze milieuprestaties nog verder worden verbeterd. De vleeskalverbedrijven zijn sterk geconcentreerd in Gelderland en in de omgeving van Natura 2000-gebieden (Gollenbeek et al., 2023)³. Mogelijke oplossingen die de uitstoot kunnen reduceren zijn opkoopregelingen, verplaatsing van bedrijven en vernieuwende stalsystemen. Ook zijn er onderzoeksgelden vanuit het Rijk geïnvesteerd in methaanemissiereductie in de veehouderij (Klimaatenvelop – Integraal aanpakken van LVVN⁴) of via de 'Investeringsmodule – subsidiemodules brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen'⁵. In de volgende paragrafen gaan we kort in op de mechanismen achter de ammoniak- en methaanemissies in de vleeskalverhouderij en de maatregelen om deze emissies terug te dringen.

In het oorspronkelijke werkplan van dit project werd de focus sterk gericht op de zogenoemde brongerichte maatregelen. Brongerichte maatregelen hebben als doel het reduceren of geheel voorkomen van de emissie. In tegenstelling tot de zogenaamde 'end-of-pipe' maatregelen, die bedoeld zijn om de emissie af te vangen uit de stallucht die de stal verlaat. De luchtwasser is een bekend voorbeeld van zo'n 'end-of-pipe' maatregel.

³ Er wordt ingeschat dat van een totaal van 630 vleeskalverbedrijven die zijn aangemerkt als piekbelasters er 558 zijn in de provincie Gelderland. [Helft van kalverhouders is piekbelaster | Nieuws | Kalverhouder \(dekalverhouder.nl\)](#) (geraadpleegd november 2023).

⁴ [Integraal aanpakken](#) (geraadpleegd oktober 2023).

⁵ [Subsidie voor innovatie en verduurzaming van stallen \(rvo.nl\)](#) (geraadpleegd oktober 2023).

In de intensieve veehouderijsectoren hebben bronmaatregelen als voordeel dat ze in principe ook bijdragen aan de verbetering van de kwaliteit van de stallucht en daarmee de leefomgeving van het dier en de werkomgeving voor boer en personeel. Bij bronmaatregelen snijdt het mes dan aan twee kanten; zowel de dieren en mensen in de stal als de omgeving van het bedrijf buiten de stal worden er beter van. In dit rapport worden echter ook 'end-of-pipe' technieken, zoals de luchtwasser als ammoniakemissiereductiemaatregel geëvalueerd. Luchtwassers hebben zich in de praktijk namelijk bewezen en kunnen op de korte en middellange termijn kalverhouders helpen met de hoge ammoniakemissiereducties die binnenkort worden gevraagd.

1.1.1 Ammoniakemissie – mechanismen, sleutelfactoren en maatregelen

Stikstof (N) is essentieel voor het leven en de productie van dieren. Echter alle N uit het voer, die niet door het dier wordt vastgelegd, wordt via de feces en urine uitgescheiden. Niet-eiwit-N-verbindingen, voornamelijk in de vorm van ureum, worden met de urine uitgescheiden (Monteny & Erisman, 1998). Ammoniak (NH₃) ontstaat als het enzym urease het ureum in de urine katalyseert (Monteny & Erisman, 1998; Snoek, 2016). Het urease enzym wordt geproduceerd door micro-organismen die in de feces of in de biofilm op vloeren en oppervlakten actief zijn. In de stal is deze chemische reactie een snel verlopend proces. Het ureum in een urineplas in een stal kan bij normale omstandigheden al binnen twee uur worden omgezet in ammoniak.

Volgens het Besluit activiteiten leefomgeving (voorheen Regeling ammoniak en veehouderij - Rav) is de ammoniakemissiefactor bij gangbare (dus zonder emissiereductiemaatregelen) kalverstallen (Bijlage V Omgevingsregeling HA.3.100⁶) 3,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar (en geur 35,6 ouE/sec. en fijnstof 22 g PM₁₀/jaar) voor alle categorieën voor de vleesproductie bestemde kalveren tot een leeftijd van 8 maanden, dus zowel voor de blank- als voor de rosé vleesproductie. Hoewel de verschillen tussen deze twee sectoren qua voerrantsoen steeds kleiner worden, blijven er verschillen. Deze twee productiewijzen verschillen in voeding, duur van de productieronde (gemiddeld voor blankvleeskalveren 175 dagen, 210 dagen voor jong rosé en 280 dagen voor oud rosé) en levend eindgewicht (gemiddeld: blank 225 kg, 300 kg voor jong rosé en 360 kg voor oud rosé) (Berkhout et al., 2022). Voor de blankvleeskalversector gold in 2022, volgens het CBS, een productie van 2.500 kg mest per dierplaats per jaar, terwijl voor rosévleeskalveren een mestproductie gold van 4.500 kg mest per dierplaats per jaar (zie ook KWIN 2024-2025). De veranderingen in het rantsoen en andere factoren hebben hogere ammoniakemissies tot gevolg gehad (Groenestein et al., 2014). In 2020 werden de uitgangspunten voor de excretieberekeningen van blankvleeskalveren daarom herzien. Momenteel wordt er uitgegaan van een langere duur van de productieronde, een geactualiseerd voerrantsoen en een hoger aflevergewicht⁷. De indruk bestaat dat de ammoniakemissie van gangbare vleeskalverbedrijven hierdoor het afgelopen decennium verder is toegenomen/of in het verleden te laag is berekend (zie Mosquera et al., 2022, en Paragraaf 2.2.1).

Er is een aantal factoren dat de ammoniakemissie beïnvloedt. Bijvoorbeeld een hoog(er) gehalte aan stikstof in de urine verhoogt de ammoniakvervluchtiging en dus worden voermaatregelen om de TAN-excretie (Totaal Ammoniakaal N excretie) te reduceren als kansrijk gezien (Monteny & Erisman, 1998; Mosquera et al., 2017a). Voermaatregelen en andere dier-gerelateerde factoren (zoals leeftijd/gewicht) vallen echter buiten het bestek van dit onderzoek. Ook de ammoniakemissie bij aanwending maakt geen deel uit van het onderhavige onderzoek. De focus in dit rapport ligt op (hardwarematige) maatregelen die ingrijpen op mestmanagementpraktijken en daarmee invloed hebben op de concentraties en emissies van mestgassen naar de omgeving.

De ammonium-/ammoniakconcentratie in de urine/mest op de vloer of in de kelder kan niet alleen via het voer worden beïnvloed, maar ook bijvoorbeeld door de drinkwaterversprekking en het actief verdunnen van mest.

⁶ wetten.nl - Regeling - Omgevingsregeling - BWBR0045528 (overheid.nl) (geraadpleegd mei 2024).

⁷ Dierlijke mest en mineralen 2022 (cbs.nl) (geraadpleegd oktober 2023).

De verdunning werkt op de vloer en op de mest opgeslagen in de kelder (Van Dooren et al., 2022). Nog eerder in het uitstootproces kan de ammoniakemissie beperkt worden door te voorkomen dat het ureum in contact komt met het urease enzym. Bijvoorbeeld in de melkveehouderij bestaat een koe-toilet waarin de urine direct bij het plassen wordt opgevangen en niet op de vloer terecht komt (Verdoes & Bokma, 2017). Er zijn ook vloersystemen die zorgen dat urine apart van de feces en snel naar de mestkelder wordt afgevoerd. Ook het frequent verwijderen en volledig afvoeren van mest van het vloeroppervlak en uit de kelder kunnen voor een lagere uitstoot in de stal zorgen.

De temperatuur en pH van de mest zijn twee belangrijke factoren die de ammoniakemissie beïnvloeden. Ammoniak is in de vloeibare fase in evenwicht met ammonium (NH_4^+) als beide in de urine opgelost zijn. Om te voorkomen dat NH_3 als gas vervluchtigt kan het evenwicht tussen ammonium en ammoniak richting ammonium geschoven worden door de pH te verlagen (Puente-Rodríguez et al., 2022) en/of door de temperatuur van mest en urine te verlagen (Aarnink & Elzing, 1998; Aarnink et al., 2022; Aarnink et al., 2023).

De opgeloste NH_3 is in evenwicht met het NH_3 gas in de grenslaag net boven de urineplas/mest. Dit evenwicht is temperatuurafhankelijk; hoge temperaturen resulteren in een grotere hoeveelheid ammoniakgas. De vervluchtigingssnelheid is weer afhankelijk van temperatuur en de luchtsnelheid aan de grenslaag (Monteny & Erisman, 1998). Ammoniakgas in de grenslaag kan via diffusie naar de bulk lucht erboven vervluchtigen. Het proces is afhankelijk van het verschil in concentratie tussen NH_3 in het mest/urinemengsel en in de onderste luchtlaag (Mosquera et al., 2017a). In dit stadium kan ook de ammoniakemissie gereduceerd worden door bijvoorbeeld de luchtbeweging langs het emitterende (urine/mest)oppervlak te reduceren. Dit is een van de werkingsmechanismen van dichte vloeren waarmee de luchtuitwisseling tussen de stal en de mestkelders wordt beperkt.

De werkingsmechanismen van en maatregelen tegen de emissie van ammoniak worden verder in Paragraaf 2.1.1 behandeld. Bij de beschrijving van de maatregelen in Hoofdstuk 3 wordt verder op het reductieprincipe ingegaan.

1.1.2 Methaanemissie uit de mest – mechanismen, sleutelfactoren en maatregelen

Methaan wordt in de pens van herkauwers waaronder runderen (enterisch methaan), en in de mest gevormd. Kalveren zijn bij geboorte éénmagige dieren, geschikt om uitsluitend melk te verteren. Pas na het ontwikkelen van de voormagen worden het herkauwers en produceren ze enterisch methaan. De ontwikkeling van de voormagen wordt gestimuleerd door de opname van ruwvoer en is als de kalveren ongeveer 2 maanden oud zijn voltooid (Gerritzen et al., 2016). Roséveeskalveren krijgen meestal eerder en meer ruwvoer waardoor de pens ontwikkeling sneller op gang komt dan bij blankveeskalveren. Vanwege welzijnsoverwegingen wordt het voer van blankveeskalveren steeds vezelrijker maar de emissiefactor voor enterisch methaan is nog steeds ruim drie keer zo laag als voor roséveeskalveren (Van Bruggen et al., 2020; Mosquera et al., 2022). Voer- en fokkerijmaatregelen⁸ vallen buiten het bestek van dit onderzoek. Hier kijken we vooral naar (bron)maatregelen die methaanemissie uit de mest fors kunnen reduceren. De referentiewaarde voor vleeskalveren die de overheid hanteert binnen het Sbv kader is 62 kg CH_4 per dierplaats per jaar. Er wordt aangenomen dat 25% uit mest komt en 75% enterisch is⁹.

⁸ De enterische methaanemissie kan bijvoorbeeld met fokkerij (kruising en selectie) gereduceerd worden. Het is mogelijk om gericht herkauwers te fokken met een relatief lage methaanproductie. Het productie/uitstoot proces wordt beïnvloed door een variatie aan genen met heterogene effecten. Momenteel wordt gezocht naar de genetische architectuur van dit nieuwe fokkerijkenmerk (en beleid) (Bell et al., 2011; Manzanilla-Pech et al., 2016; Mirzaei-Aghsaghali & Maheri-Sis, 2016). Een andere mogelijkheid is om zogenaamde inhibitors te gebruiken om de vorming van enterisch methaan te beperken. Sommige chemische verbindingen kunnen een remmende werking hebben op methaanproducerende micro-organismen in de pens (Patra et al., 2017). Kansrijke inhibitors zijn 3-NOP (3-nitrooxypropanol) en nitraat (NO_3) (Van Zijderveld et al., 2011; Duval & Kindermann, 2012; Hristov et al., 2015; Troy et al., 2015; Aan de Brugh, 2016; Klop, 2016; Jayanegara et al., 2018; Martinez-Fernandez et al., 2018). Deze producten worden nog niet in de praktijk gebruikt. Het is te verwachten dat dit zal gebeuren als methaanemissiereductie verplicht en/of beloond wordt.

⁹ Subsidie onderzoeken en ontwikkelen innovaties stalsystemen 3e openstelling (rvo.nl) geraadpleegd december 2023.

Maar uit emissieonderzoek onder praktijkomstandigheden blijkt ook dat met bronmaatregelen een hoge (> 80%?) reductie van mestgebonden methaanemissie in de vleeskalverhouderij mogelijk kan zijn (Meijer et al., 2022). Vanwege deze grote verschillen moet er onderzoek worden gedaan naar de feitelijke verdeling tussen de enterische en uit de mest afkomstige methaanemissie.

In de mest wordt methaan gevormd door micro-organismen die onder anaerobe omstandigheden organische stof afbreken. De mestkelders in de vleeskalverhouderij bieden uitstekende omstandigheden voor methaanvorming. Als de mestkelders worden leeggezogen, wordt meestal niet alle mest eruit verwijderd. De laag oude mest die achterblijft is rijk aan methanogene micro-organismen, een startpopulatie waarmee de verse mest wordt geënt (geïnoculeerd). Het is aannemelijk dat er dan een snellere toename van de methaanemissie zal plaatsvinden dan wanneer er geen inoculum is (Massé et al., 2016; Sokolov et al., 2020a; Sokolov et al., 2020b). Kalvermest bevat voedings- en microbiel materiaal in verschillende stadia van afbraak, niet geabsorbeerde verteringsproducten (zoals aminozuren en vetzuren) en mineralen. De methaanemissie is sterk afhankelijk van het voerregiem en omgevingsfactoren zoals temperatuur, mestopslag(duur) en mestmanagement, etc. Deze variatie is niet goed bekend en pas recent wordt er onderzoek gedaan om emissiefactoren te kunnen bepalen. Deze zijn nog onvoldoende duidelijk om verschillen tussen bedrijven en huisvestingssystemen te duiden (Mosquera et al., 2022). Wel is het bekend welke principes kunnen worden toegepast om de methaanemissie terug te dringen.

In vleeskalverstallen kan door middel van het snel verwijderen van de mest uit de mestkelder de methaanemissie uit de mest bijna tot nul gereduceerd worden. De productie van methaan komt relatief traag op gang. Indien de mestkelder goed schoongemaakt is dan zijn weinig methaan producerende micro-organismen aanwezig en zal de methaanproductie traag op gang komen. In reguliere mestkelders valt de verse mest echter in oude mest die al langere tijd in de mestkelder aanwezig is en micro-organismen bevat die actief zijn, waardoor methanogene activiteit sneller opbouwt (enting of inoculatie) (Groenestein et al., 2010). Indien verse mest dagelijks uit de stal wordt verwijderd, moet bij de opslag buiten de stal uiteraard worden voorkomen dat methaan alsnog gevormd wordt en emitteert naar de buitenlucht. Verderop in de keten wordt de methaanemissie bij/na aanwending van de drijfmest als verwaarloosbaar beschouwd (Sherlock et al., 2002; Sommer et al., 2004; Van Bruggen et al., 2020).

Temperatuur is een belangrijke factor die de snelheid van de methaanproductie bepaalt. Kennis over de relatie tussen temperatuur en methaanvorming is vooral ontwikkeld binnen het (mest)vergistingsdomein. Daarin wordt juist gefocust op het maximaliseren van de methaanproductie uit mest (en co-producten) om biogas te winnen (Amon et al., 2006; Chadwick et al., 2011; De Vries et al., 2012; McVoitte & Clark, 2019; Rodhe et al., 2015; Groenestein et al., 2020). In de vleeskalverhouderij is weinig onderzoek gedaan naar het verlagen van de temperatuur van de mest als strategie om de uitstoot van methaan te verminderen (Monteny & Van Hoof, 2020). De literatuur laat zien dat er weinig methaan ontstaat bij mesttemperaturen onder 10 °C (Jabłonski et al., 2015; Baldé et al., 2016; Dalby et al., 2021; Puente-Rodríguez et al., 2023; 2024). Met een dergelijke temperatuur lijkt een reductie van 50-80% methaanemissie uit de mest haalbaar.

Naast temperatuur bepaalt de zuurgraad van mest de methaanvorming. Een lage zuurgraad remt de activiteit van methanogene micro-organismen. Om het effect van aanzuren op methanogene micro-organismen te begrijpen zie bijvoorbeeld Ottosen et al. (2009), Petersen et al. (2012), Habtewold et al. (2018), Chen et al. (2019), Ma et al. (2022). Bij een pH van < 6 wordt de populatie van methanogene micro-organismen negatief beïnvloed en kan de methaanemissie fors gereduceerd worden, zie Puente-Rodríguez et al. (2022) en referenties erin. Bijkomend voordeel is dat ammoniakemissies ook afnemen bij een lagere pH.

Vergelijkbaar met het terugdringen van de emissie van ammoniak is het bij methaan ook mogelijk om niet alleen bij de bron het ontstaan ervan tegen te gaan, maar het gevormde methaan af te vangen en te oxideren, dit is een 'end-of-pipe' oplossing.

'End-of-pipe' oplossingen hebben hier als groot voordeel dat daarmee niet alleen de mest gerelateerde, maar ook de enterische methaanemissie zal worden aangepakt. Methaanoxidatie kan op drie manieren uitgevoerd worden (zie Maasdam et al., 2024): (1) Methaanoxidatie ondergronds. Afgevangen methaan (of stal/mestopslag lucht) kan naar een dispergerende ondergrondse laag worden gevoerd. In de bodem wordt het methaan vervolgens door methanotrofe bacteriën geoxideerd (Oonk et al., 2015). (2) Methaan oxideren met een biofilter. Biofilters met organisch pakkingsmateriaal, een hoog specifiek oppervlak en een lange verblijftijd worden in theorie als geschikt gezien om methaan te 'wassen' (Melse & Van der Werf, 2005). (3) Methaan affakkelen. Door verbranding wordt methaan omgezet in CO₂, water en energie/warmte. CH₄ is een 28 keer sterker BKG dan CO₂. In principe zou deze maatregel toepasbaar kunnen zijn waar mest afgesloten wordt opgeslagen en methaan in voldoende hoge concentraties wordt geproduceerd, met nog groter voordeel als de energie/warmte kan worden benut. Het affakkelen van methaan in stallucht is daarom niet realistisch.

Methaanoxidatie bevindt zich nog in de ontwikkelfase en is nog niet praktijkrijp. Methaanoxidatiemaatregelen worden hier niet geëvalueerd. In theorie kunnen ze ingezet worden voor enterisch methaan en methaan uit de mest. Deze methaan kan tevens in een biovergister gebruikt worden. De werkingsmechanismen van en maatregelen om de methaanemissie uit mest te reduceren worden verder besproken in Paragraaf 2.1.1. Bij de beschrijving van de maatregelen in Hoofdstuk 3 wordt verder op het reductieprincipe ingegaan.

1.1.3 Maatregelen

In dit rapport worden de volgende kansrijke maatregelen om emissies uit vleeskalverstallen te reduceren uitgewerkt en geëvalueerd:

1. Scheiding van feces en urine onder de roostervloer door middel van een mestband.
2. Opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing).
3. Mest koelen.
4. Dagontmesting door middel van spoelgoten.
5. Mestschuif onder de roostervloer met lage urease-activiteit vanwege urease-remmer of rubber-uitvoering.
6. Mest verdunnen met water.
7. Aanzuren van mest.
8. Luchtwassers.

Deze maatregelen worden in Hoofdstuk 3 verder toegelicht en er worden ook twee andere aspecten besproken en geëvalueerd:

1. Vloermaatregelen (Paragraaf 3.9). De meeste geëvalueerde maatregelen worden in de mestkelders toegepast. Voor de ammoniakemissie zal het soms ook nodig zijn om maatregelen op de hokvloeren te implementeren om hoge ammoniakemissiereductie te kunnen bereiken. Voor ammoniak is de vloer wel een belangrijke bron van emissie (Groenestein et al., 2014; Heeres et al., 2017). De vloer in de hokken is in principe geen bron van methaanemissie.
2. Mestfracties verwerken (Paragraaf 3.10). Bij bronmaatregelen kunnen verschillende meststromen ontstaan bijvoorbeeld door urine en feces voor zover mogelijk gescheiden te houden. Dit is niet alleen om emissies te voorkomen, maar kan ook een kans bieden om efficiënter om te gaan met mineralen in het kader van de kringlooptransitie en het afbouwen van kunstmestgebruik.

2 Toetsingsindicatoren

In dit hoofdstuk zijn de verschillende toetsingsindicatoren beschreven waarbij onderscheid is gemaakt tussen algemene (milieu en economische) indicatoren en indicatoren voor (dier)gezondheid en dierenwelzijn. In Hoofdstuk 3 zijn deze indicatoren beschouwd voor de gedefinieerde 'emissiearme stalsystemen'.

Als referentie voor de evaluatie worden reguliere kalverstallen zonder ammoniakemissiereductiemaatregel (luchtwater) genomen. We gaan ervanuit dat deze reguliere stallen zijn voorzien van een houten of betonnen roostervloer met daaronder een mestkelder. Het bouwen van nieuwe stallen zonder emissiereductiemaatregelen is echter niet meer toegestaan. Daarom is ook een variant opgenomen met een luchtwater waarbij wel aanvullende maatregelen voor de reductie van methaan zijn meegenomen.

2.1 Emissiereductie, kosten/baten, 'technology readiness level' en overige indicatoren

2.1.1 Emissiereductie van NH₃, CH₄ en geur

Toetsingsindicator: *bemeten/gerapporteerd of ingeschatte NH₃-, CH₄- en geuremissiereductiepercentage.*

Ammoniak

De vleeskalversector is op te delen in meerdere marktsegmenten: (1) blankvleesproductie (2) jong rosé vleesproductie en (3) oud rosé vleesproductie.

Deze segmenten verschillen in voeding, duur van de productieronde en levend eindgewicht terwijl er voor het houden van vleeskalveren één referentiewaarde (HA.3.100) is, namelijk 3,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Uit recente metingen bij blankvleeskalveren blijkt echter dat dit voor ammoniak wel eens hoger zou kunnen zijn (5 kg NH₃/dierplaats) (Mosquera et al., 2017b; 2019). De huidige referentiewaarde is vastgesteld op basis van het advies om de ammoniakemissiefactor van de referentiestal te verhogen (Groenestein et al., 2014). Destijds gold 2,5 kg NH₃/dierplaats/jaar en aanbevolen werd naar 3,1 kg NH₃/dierplaats/jaar voor blankvleeskalveren en naar 3,7 kg NH₃/dierplaats/jaar voor rosé vleeskalveren te gaan. De overheid heeft destijds besloten om van een opsplitsing van emissie naar blank en rosé af te zien, maar wel een emissietoename in de regelgeving toe te passen, namelijk van 2,5 naar 3,5 kg ammoniak per dierplaats per jaar. Volgens het Besluit emissiearme huisvesting geldt sinds 1 januari 2020 een maximale ammoniakuitstoot bij een nieuw op te richten, of te renoveren dierenverblijf van 2,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar¹⁰.

De urine en feces die vleeskalveren uitscheiden komen in reguliere systemen deels op de roostervloer terecht en worden vervolgens via de roosters afgevoerd naar de kelder onder de kalveren, waar de drijfmest wordt opgeslagen. In de urine is stikstof aanwezig in de vorm van ureum (CO(NH₂)₂). Het enzym urease is een katalysator in het proces van afbraak van ureum naar ammonium (NH₄⁺). Urease is een veelvoorkomend enzym dat aanwezig is in de feces (bacteriën en plantmateriaal) en daarmee ook op de (rooster)vloer en in de mestkelder.

¹⁰ wetten.nl - Regeling - Besluit emissiearme huisvesting - BWBR0036748 (geraadpleegd november 2024), dit besluit is sinds 1 januari 2024 opgegaan in het Besluit Activiteiten Leefomgeving wetten.nl - Regeling - Besluit activiteiten leefomgeving - BWBR0041330.

Risico's op ammoniakemissies zijn ook aanwezig bij verdere opslag, mestbewerking en het aanwenden van de mest. Veranderingen in de mestsamenstelling door het aanpassen van de stal kan dan ook gevolgen hebben voor emissies verderop in de mestketen.

De gevormde ammoniak kan emitteren middels fysisch-chemische processen. De mate van emissie is afhankelijk van een aantal factoren zoals: concentratie van ammonium, pH, oppervlakte drijfmest, temperatuur en ventilatiedebiet, zie Snoek (2016) en Paragraaf 1.1.1. In *Tabel 1* zijn de effecten van de verschillende factoren weergegeven en de verschillen voor blankvlees- en rosé vleeskalveren.

Tabel 1 Sleutelfactoren die de emissie van NH_3 uit de stal beïnvloeden en het effect daarvan op de emissie. +: toename emissie door toename van factor; -: afname emissie door toename van factor; b: hogere emissie voor blankvleeskalveren op basis van factor; r: hogere emissie voor rosé vleeskalveren op basis van factor; =: geen verschil in emissie op basis van factor (Groenestein et al., 2014).

Toenemende factor	Invloed op NH_3 -emissie	Hogere emissie voor blank- of rosé vleeskalveren
Dier		
Leeftijd dieren bij slacht	+	r
Hoeveelheid voer/nutriënten	+	r
Watergebruik	-	b
Mest		
Mestsamenstelling		
NH_4^+ -concentratie	+	r
pH	+	b
Droge stofgehalte	+	r
C/N-ratio	-	b
O_2 -concentratie	+	=
Mestoppervlakte	+	=
Mesttemperatuur	+	=
Omgeving		
Lucht-/windsnelheid	+	=
Temperatuur binnenlucht	+	=
Temperatuur buitenlucht	+	=

In dit rapport wordt, bij gebrek aan betere bronnen, uitgegaan van de volgende verdeling van ammoniakemissie in de stal tussen vloer en mestkelder: voor blankvleesstallen ontstaat 30 à 40% van de ammoniakemissie op de roostervloer en dus 60 à 70% komt vanuit de mestkelder, terwijl bij rosé een verdeling van 50-50% tussen kelder en vloer verondersteld wordt (Groenestein et al., 2014; Heeres et al., 2017).

Broeikasgassen

Broeikasgassen als methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en koolstofdioxide (CO_2) kunnen emitteren bij het houden van vleeskalveren. Zoals eerder gemeld kan methaan uitgestoten worden door het dier zelf (enterische uitstoot) en gevormd worden in de drijfmest. Drijfmest kan ook een bron zijn van lachgas. Bij de berekening van de CO_2 footprint zal CO_2 uit dier of mest niet meegenomen worden omdat deze wordt toegekend aan de korte kringloop. CH_4 en N_2O leiden wel tot verhoogde uitstoot en worden omgerekend in CO_2 equivalenten, omdat deze gassen sterkere broeikasgassen zijn dan CO_2 . Voor CH_4 wordt gerekend met een factor 28 en voor N_2O een factor 265.

In *Tabel 2* zijn de op basis van rantsoenen berekende enterische uitstoot van methaan voor melkvee en vleeskalveren weergegeven. Kalveren voor de productie van blankvlees hebben de laagste enterische uitstoot aan methaan, terwijl bij de productie van rosévlees deze uitstoot circa een factor 4 hoger ligt (Van Bruggen et al., 2020). Bij melkvee ten opzichte van rosékalveren is deze uitstoot weer circa een factor 4 hoger. Ten opzichte van de enterische methaanemissie is de berekende methaanemissie uit drijfmest voor melkvee en vleeskalveren lager. Ook hier heeft blankvlees de laagste berekende emissie, dan rosévlees en melkvee de hoogste.

In *Figuur 1* zijn de resultaten van methaanemissie metingen uit twee rosévleeskalverstallen weergegeven (Mosquera et al., 2022). Let op, dit is uitgedrukt in gram CH₄/dier/dag. De methaan uitstoot per dier per dag is beduidend hoger bij oud dan bij jong rosévleeskalveren. Omgerekend naar kg methaan per dierplaats per jaar zal voor jong rosé een vergelijkbare waarde als Van Bruggen en collega's (2020) rapporteerden, voor oud rosé zal dit een factor twee hoger zijn. In *Tabel 2* en *3* zijn de emissiefactoren voor methaan uit pens- en darmfermentatie (*Tabel 2*) en uit mest (*Tabel 3*) weergegeven. Zoals eerder aangegeven is ons advies om deze verdeling vast te leggen met emissiedata in praktijkomstandigheden, omdat recent onderzoek erop kan wijzen dat het aandeel van methaanemissie uit mest groter kan zijn dat het tot nu toe is aangenomen (zie Meijer et al., 2022).

Tabel 2 Emissiefactoren voor methaan uit pens- en darmfermentatie (kg CH₄/dier/jaar) (Van Bruggen et al., 2020).

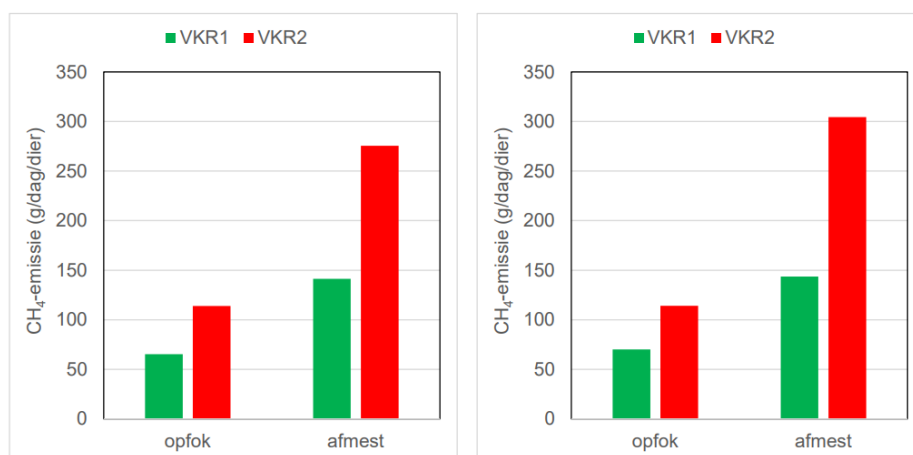
Diersoort	2015 ^a
Melk en kalfkoeien NW NL	131,2
Melk en kalfkoeien ZO NL	127,6
Blankvleeskalveren	7,4
Rosévleeskalveren	31,9

^a Berekend door vermenigvuldiging van de bruto energieopname per jaar met de methaanconversiefactor (volgens IPCC default).

Tabel 3 Emissiefactoren voor methaan uit drijfmest (kg CH₄/dier/jaar) (Van Bruggen et al., 2020).

Diersoort	2015 ^a
Melk en Kalkoeien	42,7
Blankvleeskalveren	2,6
Rosévleeskalveren	8,3

^a Berekend volgens de berekeningsmethode (Vonk et al., 2016; Vonk et al., 2018).



Figuur 1 Methaan stalemissies in g /dag/dier gemeten op twee rosévleeskalverbedrijven VKR1 jong rosé en VKR2 oud rosé, linker grafiek op basis van 6 referentiemetingen en rechter grafiek op basis van continue metingen (Mosquera et al., 2022).

In *Tabel 3* is duidelijk het verschil tussen de blank- en de rosé vleeskalverenmest te zien. De pensfermentatie is bij rosé vleeskalveren verder ontwikkeld en het rantsoen is rijker aan vezels dan bij blankvleeskalveren. De rosé vleeskalvermest bevat meer organische stof en hieruit kan dus potentieel meer methaan ontstaan.

Voor het ontstaan van lachgas zijn specifieke omstandigheden nodig. Onder anaerobe omstandigheden zal er geen lachgas ontstaan (situatie in reguliere mestputten) en onder volledig aerobe (zuurstofrijke) omstandigheden ook niet. Mosquera et al. (2010) vonden in rundvee en varkensmest dat na mechanische scheiding van de mest lachgas ontstond uit de dikke fractie (zie ook Melse & Groenestein, 2016). Uit de dunne fractie en de drijfmest ontstond een verwaarloosbare hoeveelheid lachgas. Vooral bij het aanwenden op het land ontstaat door bodemprocessen lachgas, de hoeveelheid is afhankelijk van de omstandigheden en de manier van aanwenden.

Geur en fijnstof

Geur is een belangrijke vorm van hinder voor de omgeving. Voor de emissie van geur zijn dan ook restricties opgenomen in wet- en regelgeving¹¹. Vleeskalvergeur is een waarneming van een mix van verschillende componenten (bijvoorbeeld ammoniak, vluchtige vetzuren en waterstofsulfide) leidend tot het ervaren van een bepaalde geur. Onderzoek laat zien dat geurhinder tot gezondheidsproblemen bij mensen kan leiden (Huber et al., 2011; Hooiveld et al., 2015; Huber et al., 2016). Gedurende de productieronde neemt de uitstoot van geur toe. De wetgeving gaat juist uit van jaargemiddelden waardoor zonder het overschrijden van vergunningseisen piekbelasting van de omgeving (bijvoorbeeld bij het af- of aanvoeren van kalveren) kan optreden.

Fijnstof is een bekende emissie uit de veehouderij, al is dit in de kalverhouderij een minder groot probleem dan bijvoorbeeld in de pluimveehouderij. Fijnstof is een verzamelnaam voor vaste deeltjes die in de lucht zweven met een diameter van minder dan 10 µm ('particulate matter' 10, PM₁₀). Fijnstof is een complexe mix van vloeibare en vaste materialen, zoals delen van voer, haar, urine, huidschilfers, ontlasting, endotoxinen en micro-organismen. De hoeveelheid fijnstof kan afhangen van: type huisvesting, strooisel, voermanagement, dierdichtheid, seizoen, hygiëne, moment op de dag en ventilatiesysteem (Tan & Zhang, 2004). Chardon en Van der Hoek (2002) gebruikten een fijnstof uitstoot van 104 g PM₁₀/vleeskalverplaats/jaar vastgesteld op basis van metingen en berekeningen. Terwijl in dezelfde publicatie voor legpluimvee 61 g PM₁₀/dierplaats/jaar is vastgesteld.

Fijnstof wordt ingedeeld in verschillende grootten, meest gangbare indeling is PM₁₀ < 10 µm, PM_{2,5} < 2,5 µm en PM_{0,1} (ultrafijnstof; UFP). PM₁₀ is een verzameling van primair en secundair fijnstof. Hoe kleiner het fijnstof is hoe groter het effect dat dit op de humane gezondheid kan hebben. Het primaire fijnstof ontstaat bij de bron en is te meten in stal en de omgeving. Het secundair fijnstof wordt gevormd in de atmosfeer onder andere uit ammoniak. Het effect van het secundaire fijnstof op de gezondheid is dus niet lokaal te verwachten, en moet eerder gezien worden als een verhoogde regionale achtergrondwaarde (Maassen et al., 2016).

Er zijn voor de uitstoot van fijnstof geen wettelijke restricties opgenomen voor kalverhouderij (Van der Peet et al., 2018). Het effect van maatregelen op de fijnstofemissie wordt in dit rapport niet geëvalueerd.

Mestgassen

Uit de mest kunnen ook nog andere schadelijke gassen ontstaan als waterstofsulfide (H₂S, rotte eierenlucht) en blauwzuurgas (HCN). Vanwege de lage concentraties zijn de emissies niet het probleem maar ophoping kan optreden vooral aan het einde van de winter als de mestopslag vol zit. Als het evenwicht (mixin, pH) in de mestput wordt veranderd dan kunnen deze gassen in verhoogde en levensgevaarlijke concentraties vrijkomen, bronmaatregelen zullen de kans hierop niet mogen verhogen. Deze gassen vallen verder buiten het bestek van dit onderzoek.

¹¹ De hindersystematiek voor geur staat in artikel 2.7a van het Activiteitenbesluit Wet- en regelgeving - Kenniscentrum InfoMil (geraadpleegd maart 2024), het Activiteitenbesluit is als 'bruidsschat' overgenomen in de Omgevingswet.

Toetsingsmethode: voor elke combinatie van maatregelen wordt, per emissie, op basis van wetenschappelijke literatuur en/of expert judgement een reductiepercentage in een tabel verwerkt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen blank- en rosé vleeskalveren¹². Vervolgens worden de resultaten toegelicht. De reductiepercentages worden ten opzichte van de referentiestal ingeschat, waarbij niet gekeken is naar het effect van het eventueel aanpassen van de referentiewaarde. Voor methaan is het reductiepercentage ingeschat voor het methaan uit mest. Enterisch methaan is hier niet in meegenomen.

Tabel 4 Blauwdruk-tabel voor de evaluatie van emissiereductie (%).

	Blankvleeskalveren	Rosé vleeskalveren
Ammoniakemissie		
Methaanemissie		
Geur		

2.1.2 Kosten en baten

Toetsingsindicator: investerings- en operationele (vaste en variabele) kosten en economische baten bij het implementeren van het systeem in de vleeskalverstal.

De kosten voor de emissiearme stalsystemen worden in drie opgedeeld:

- Investeringskosten betreffen het aanschaffen en installeren van het apparaat/systeem (mestband, luchtwasser, extra mestopslag, etc.).
- Vaste jaarkosten van de investering betreffen rente¹³, afschrijving gebaseerd op levensduur en onderhoud, de laatste is gebaseerd op onderhoudsgevoeligheid van de elementen van het systeem.
- Variabele jaarkosten betreffen kosten voor aanschaf van bijvoorbeeld chemicaliën en energieverbruik. Bij energieverbruik is standaard gerekend met een kilowattuur-prijs van € 0,30 (KWIN 2024-2025).

De kosten zijn zoveel mogelijk gebaseerd op gegevens uit de praktijk (kalveren, varkens en melkvee), echter indien geen gegevens beschikbaar waren zijn op basis van de verschillende componenten van de systemen de kosten zo goed mogelijk ingeschat. De kosten worden ingeschat als zijnde meerkosten ten opzichte van het bouwen van een reguliere stal zonder (ammoniak) emissiereductiemaatregelen. Hierdoor wordt het mogelijk om de verschillende emissiereductiemaatregelen te kunnen vergelijken. Echter in de praktijk is het bij nieuwbouw verplicht om emissiereductie te behalen. Dan is het eerder de afweging tussen een luchtwasser of een bronmaatregel of een combinatie van beiden. In Bijlage 1 staan de basisuitgangspunten voor het berekenen van kosten.

De kosten voor brongerichte systemen zijn moeilijk in te schatten aangezien er nog maar weinig systemen in praktijksituaties zijn toegepast en vaak onbekend is of deze voldoen. In KWIN worden wel prijzen genoemd voor (erkende) emissiearme technieken die al in de Rav-lijst waren opgenomen (beide emissiearme huisvestingssystemen zijn in bijlage V Omgevingsregeling HA3.1 en HA3.2 alleen opgenomen indien vergund voor respectievelijk mei 2020 en januari 2024, en de luchtwassers zijn opgenomen in bijlage VI Omgevingsregeling). Het betreft dan luchtwassers en een tweetal bronmaatregelen.

De stalsystemen vragen een extra investering maar dit levert soms ook wat op. Veelal zijn niet alle kosten en baten tegen elkaar af te zetten.

¹² In dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen de twee grote diercategorieën blank- en rosé vleeskalveren. Vanuit een emissieperspectief zitten rosé starters dichterbij blankvleeskalveren dan bij rosé vleeskalveren. Het evalueren van rosé starters als aparte categorie valt echter buiten het bestek van dit onderzoek.

¹³ Rentepercentage 4,5% gebaseerd op de norm van de bancaire rente op zakelijke kredieten (KWIN 2024-2025). Om het volledige afschrijvingsbedrag tot een restwaardebedrag van € 0 te brengen wordt hier dan gemiddeld 2,25% rente.

Mogelijkheden als mestverwaarden, hogere groei, betere diergezondheid en dierenwelzijn, energie, warmte en betere werkomstandigheden zijn moeilijk te kwantificeren en op kosten te zetten.

Uit de verschillende emissiearme systemen komen ook verschillende mestproducten. De afzetmogelijkheden zijn benoemd, evenals eigenschappen van de producten als stabiliteit en circulariteit. Hierbij zijn de berekeningen en inschattingen uit Gollenbeek et al. (2021a; 2021b) als basis genomen. De onzekerheidsmarge voor de geraamde kosten voor de meeste emissiereducerende maatregelen is groot omdat er nog maar weinig ervaring is met dergelijke systemen en de kosten per situatie sterk kunnen verschillen. Voor de hier gecalculeerde kosten moet naar schatting een onzekerheidsmarge van $\approx 40\%$ worden gehanteerd.

Toetsingsmethode: kosten en baten (indien aanwezig) worden per maatregel toegelicht. Dit wordt gedaan op basis van wetenschappelijke literatuur, expert judgement en/of prijzen van aanbieders op de markt. Per systeem wordt er, indien mogelijk rekening gehouden met de variaties voor blankvleeskalveren en rosévleeskalveren. Er wordt ook uitgelegd hoe deze kosten/baten tot stand zijn gekomen en waar rekening mee gehouden moet worden voor de interpretatie ervan. Hierbij kan gedacht worden aan de geraadpleegde bronnen, de extrapolatie vanuit een ander (niet kalveren) veehouderijsysteem, wat meegenomen is in de opbouw van de waarde en hoe de eenheid €/kalverplaats tot stand is gekomen, zie *Tabel 5*.

Getoonde kosten zijn gepresenteerd per *kalverplaats* – al dan niet met een omrekening vanuit een ander veehouderijsysteem. Bij de bepaling van een kalverplaats is uitgegaan van 2,0 m² per vleeskalf¹⁴. Verder werd uitgegaan van een standaardstal van 800 dieren voor blankvleeskalveren en 600 voor rosévleeskalveren. Dit faciliteert een relatief eenvoudige doorkijk naar de reëel benodigde bedrijfsspecifieke investering. Voor de genoemde waarden, en gezien de zakelijke insteek van de toepassingen is het uitgangspunt dat kosten worden uitgedrukt in euro's (€) en exclusief BTW.

Tabel 5 Blauwdruk-tabel voor de evaluatie van kosten (€ excl. BTW).

	Blankvleeskalveren			Rosévleeskalveren		
	Investering	Vaste	Variabele	Investering	Vaste	Variabele
		jaarkosten	jaarkosten		jaarkosten	jaarkosten
		investering			investering	
Maatregel component (€/m ² of €/m ³ of €/kalverplaats)						
Volledige maatregel (€/kalverplaats)						

De referentiestal voor blankvlees- en rosévleeskalveren wordt in de volgende tabel getoond.

¹⁴ Bij nieuwbouw gaan ruimere oppervlakenormen gelden - DeKalverhouder.nl wetten.nl - Regeling - Besluit houders van dieren - BWBR0035217 (overheid.nl). Nota bene: In de quick-scan financiële impact maatregelen "Voorgenomen invulling regelgeving dierwaardige veehouderij" is het voornemen besproken om de ruimte per kalf te verhogen wordt naar 2,5 m² of 3,0 m² per 2030 file (overheid.nl).

Tabel 6 Investeringskosten (€ excl. BTW) gangbare stal voor blankvlees- en rosévleeskalveren (KWIN 2024-2025).

	Blankvleeskalveren			Rosévleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Investering* (€/dierplaats)	1.650	166	50	1.325	130	14

* Binnen deze investeringen zijn de kosten per m2 houten roostervloer (blankvleeskalveren) en betonnen roostervloer (rosévleeskalveren) respectievelijk € 55,- (gebaseerd op Heeres et al., 2017; en indexatie van + 25%), - en € 45,- (Taxatieboekje 2024).

Kosten voor arbeid en engineering (ontwerp en voorbereiding) zijn per maatregel niet gespecificeerd, om stapeling van deze kosten bij gezamenlijke toepassing van maatregelen te voorkomen, en uiteindelijk maar éénmalig hoeven te worden uitgegeven. Daarnaast, kan de beschikbaarheid of de realiteit van een maatregel beperkt zijn door het ontwikkelstadium en daarmee de inpasbaarheid in een bedrijf. Prijs(elasticiteit) kan beïnvloed worden bijvoorbeeld door de hoeveelheid aanbieders die in de toekomst een bepaald systeem gaan commercialiseren.

Indien een maatregel extra, tijdelijke of permanente opslag vereist is dit meegenomen in het kostenoverzicht. De reden voor deze opslag wordt per maatregel aangegeven. Gerekend wordt met € 65,- investeringskosten per m³ mest voor buitenopslag van mest in een mestsilo met vaste investering en variabele jaarkosten van respectievelijk 5% en 1,5% (KWIN, 2024-2025) en dat mest voor maximaal een half jaar wordt opgeslagen, zie Tabel 7.

Tabel 7 Opslagkosten (€ excl. BTW) voor blank- en rosévleeskalveren op basis van mestopslag in een buitenopslag.

	Blankvleeskalveren			Rosévleeskalveren		
Mestproductie (m ³ /jaar)*	2,5			4,5		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Opslag voor een half jaar** mestproductie (€/kalverplaats)	81,25	4,10	1,20	146,25	7,30	2,20

* Mestproductie per gemiddeld aanwezig dier (in m³/jaar) (KWIN 2024/2025 op basis van BedrijfsBegrotingsProgramma Rundveehouderij (BBPR; 2019) van WLR en Dierlijke mest en mineralen 2021, CBS).

**€ 32,5/m³ mest/half jaar -> Blankvleeskalveren 32,5 x 2,5 = € 81,25/kalverplaats & 32,5 x 4,5 = €146,25/rosé kalverplaats.

Mogelijke baten worden toegelicht. Deze kunnen nominaal zijn, indien bekend maar ook in de vorm van een besparing of andere duidelijke voordelen aan de implementatie van een maatregel. Netto kosten-opbrengsten worden niet gegeven, aangezien er variaties per bedrijf en per maatregel kunnen ontstaan.

2.1.3 Ontwikkelingsfase systeem – Technology Readiness Level

Toetsingsindicator: aangegeven wordt in welke ontwikkelingsfase (TRL-niveau) de maatregelen zich bevinden.

TRL's, ofwel Technology Readiness Level is door de NASA bedacht om aan te geven in welke fase de ontwikkeling van een nieuwe technologie zit. Voor veel Europese en nationale subsidies wordt dit model gebruikt om te duiden voor welke fase van een innovatietraject een subsidie bedoeld is¹⁵. We onderscheiden 9 TRL's. Hoe hoger het niveau, hoe dichterbij het op de markt brengen van de innovatie.

¹⁵ www.snn.nl/kennisbank/trl-niveaus-uitgelegd.

De 9 levels worden vaak in vier overkoepelende fasen gegroepeerd, namelijk:

- De ontdekkingsfase (TRL 1, 2 & 3)
- De ontwikkelingsfase (TRL 4, 5 en 6)
- De demonstratiefase (TRL 7 & 8)
- De toepassingsfase (TRL 9)

De meeste (brongerichte emissiereducerende) maatregelen zijn voor de kalversector nog in de ontwikkelings- of demonstratiefase. De trajecten die de verschillende bronmaatregelen nog moeten doorlopen verschillen, wel kan gesteld worden dat doorontwikkeling en marktrijp maken een traject van circa 2 tot 10 jaar kan behelzen.

De volgende 9 TRL levels worden onderscheiden:

- *Level 1: Fundamenteel onderzoek.* Er wordt onderzoek uitgevoerd naar het innovatieve idee en de basisprincipes van de innovatie. Het gaat hierbij over fundamenteel onderzoek en deskresearch.
- *Level 2: Toegepast onderzoek.* De basisprincipes zijn al onderzocht en nu worden het technologisch concept en de praktische toepassingen geformuleerd. In deze fase worden experimenten en/of analytisch onderzoek uitgevoerd.
- *Level 3: Proof of concept.* Toepasbaarheid van het concept wordt op experimentele basis (experimenteel proof of concept) onderzocht. Verder worden hypothesen over verschillende componenten van het concept gevalideerd.
- *Level 4: Implementatie en test prototype.* De proof of concept van de innovatie wordt op labschaal getest. Het design, de ontwikkeling en het testen van technologische componenten vinden plaats in een lab-omgeving. Technische basiscomponenten worden geïntegreerd om de werking te garanderen. Een prototype dat in deze fase wordt ontwikkeld, kost relatief weinig geld en tijd en is daarmee nog ver verwijderd van een definitief product, proces of dienst.
- *Level 5: Validatie prototype.* Er wordt onderzoek naar de werking van het technologisch concept in een relevante omgeving uitgevoerd. Dit is de eerste stap in de demonstratie van de technologie. Een prototype ontwikkeld in deze fase, kost relatief veel tijd en geld en is niet ver verwijderd van het uiteindelijke product of systeem.
- *Level 6: Demonstratie prototype in testomgeving.* Het concept wordt uitgebreid getest en gepresenteerd. Testen en demonstraties vinden plaats in een relevante testomgeving. Deze testomgeving lijkt op een operationele omgeving, bijvoorbeeld in een pilot plant. Het testen vindt plaats na de technische validatie in een relevante (pilot) omgeving.
- *Level 7: Demonstratie prototype in operationele omgeving.* Het concept testen en demonstreren in een gebruikersomgeving om werking te bewijzen. De demonstratie van het concept in een praktijkomgeving levert nieuwe inzichten op voor de definitieve markttoepassing van de innovatie.
- *Level 8: Product/dienst is compleet en operationeel.* In deze fase krijgt de innovatie zijn definitieve vorm. De technologische werking is al getest en het is bewezen dat het voldoet aan gestelde verwachtingen, kwalificaties en normen (certificering). Daarnaast worden de financiële kaders voor (massa)productie en lancering bepaald.
- *Level 9: Marktintroductie product/dienst/procedé.* De innovatie is technisch en commercieel gereed, productierijp en klaar voor lancering in de gewenste marktomgeving. Nu dat het totale ontwikkelingsproces is afgerond is de volgende stap het commercieel wegzetten van een product bij de gewenste doelgroep in de juiste markt.

Toetsingsmethode: op basis van beschikbare kennis over betreffende technieken zijn de TRL's zo goed mogelijk ingeschat. Belangrijk hierbij is dat een techniek die al wel voor een andere diercategorie wordt toegepast (dus TRL 9 voor die sector), specifiek voor de vleeskalverhouderij een lagere TRL kan krijgen.

2.1.4 Overige factoren

Toetsingsindicator: *maatregelen worden geëvalueerd op een aantal factoren, namelijk, de inpasbaarheid in bestaande stallen, brandveiligheid/risico, arbeid (complexiteit/plezier), onderhoudsgevoeligheid en kansen van verstoring van de bedrijfsvoering, eventuele impact op omwonenden en geen/wel behoefte aan ruimte in het bouwblok.*

De verschillende emissiearme systemen hebben een effect op het beeld van de sector en een direct effect op de omgeving. Een aantal factoren die van belang kunnen zijn in het afwegingsproces voor brongerichte maatregelen zijn als criteria opgenomen.

Inpasbaarheid in bestaande stallen

De meeste maatregelen zijn technisch in te passen in bestaande stallen en uiteraard in nieuw te bouwen stallen. De meerkosten voor het inpassen van brongerichte maatregelen in bestaande stallen zijn meestal hoger dan bij nieuwbouw. Deze meerkosten en inpassingsmogelijkheden zullen sterk variëren door enerzijds de variaties in stallen en anderzijds de specifieke eisen en kenmerken van de emissiearme techniek. Een systeem dat gebruik kan maken van veel van de bestaande voorzieningen, zoals bijvoorbeeld de opvang van urine en feces in ammoniumarme vloeistof in bestaande mestkelders, vraagt in de regel weinig aanpassingen in de stal. Maar deze systemen vragen wel relatief hoge investeringen en ruimte voor mestverwerking en ruimte op het bouwblok voor eventuele externe mestopslagen. Andere technieken, zoals mestbanden en hellende keldervloer met mestschuif, zijn vaak gebaat bij lange lengtes en standaardbreedtes, wat een kostenefficiënte en inpasbaarheid in bestaande bouw bemoeilijkt. Ook de mate waarin de te veranderen/vervangen stalonderdelen reeds zijn afgeschreven heeft invloed op de kosten en inpasbaarheid. Maar ook de staluitvoering kan van belang zijn: lengte- of dwarsopstelling, ventilatiemogelijkheden, mogelijkheid tot afscheiden van technische installatie van de dierverblijven in de stal in verband met brandveiligheid etc.

Bij brontechnieken (afhankelijk van de techniek) is er vaak sprake van bijkomende kosten voor opslag buiten de stal en verdere verwerking van de verkregen mestfracties. Of een bronmaatregel kan worden toegepast gaat enerzijds over kosten en anderzijds spelen ook zaken als grootte van het bouwblok, vergunningeisen en bestaande situatie mee. Schaalgrootte kan ook een punt zijn, en de mogelijkheden om mest te verwaarden zal ook afhangen of het gehele bedrijf overgaat op een nieuw systeem of dat slechts een enkele stal wordt omgebouwd.

Er is geen onderzoek gedaan naar de effectiviteit van bronmaatregelen in bestaande ten opzichte van nieuwbouwstallen. Bij nieuwbouw wordt de bronmaatregel opgenomen in het ontwerp waardoor stal en maatregel perfect op elkaar kunnen aansluiten. Mogelijk dat inpassing in een bestaande situatie leidt tot compromissen waardoor reductie in emissies niet maximaal zijn.

55% van de stallen is ouder dan 15 jaar en is afgeschreven of binnen vijf jaar afgeschreven, en zou mogelijk vervangen kunnen worden (zie *Tabel 8*). 45% van de stallen is jonger dan 15 jaar, en zou eerder in aanmerking komen voor renovatie in plaats van gehele nieuwbouw.

Tabel 8 Leeftijd kalverstallen in 2020 uitgedrukt in percentage van de veestapel (Landbouwtelling 2021, overgenomen uit Gollenbeek et al., 2023).

	0-5 jaar	5-10 jaar	10-15 jaar	15-20 jaar	20-25 jaar	> 25 jaar
Vleeskalverstallen	14%	14%	17%	15%	9%	31%

Brandveiligheid

Het realiseren van emissiearme stalsystemen kan een effect hebben op de brandveiligheid. Van Boxmeer et al. (2023a) melden dat huisvestingssystemen/technieken om emissies te reduceren doorgaans bestaan uit extra elektrische apparatuur die het risico op brand vergroot. Ingeschat is wat de grootste voor- en nadelen zijn in relatie tot brandveiligheid met de nieuwe stalsystemen. Er is gekeken naar de kans op het ontstaan van stalbranden (elektrische installaties/apparaten) en de mate van potentiële verspreiding van de brand. Bijvoorbeeld via een luchtkanaal of door het toepassen van brandbare materialen. Het gaat dan om algemeenheden want als brandveiligheid in het ontwerpproces/product wordt meegenomen kan de kans op ontstaan en verspreiding van brand verlaagd worden.

Arbeid (complexiteit/plezier), onderhoudsgevoeligheid en risico verstoring van bedrijfsvoering

Complexe systemen zijn meestal geautomatiseerd maar zijn ook, in principe, onderhouds- en storingsgevoelig. En sommige systemen zijn moeilijker te onderhouden dan andere. Het kan zijn dat de kalverhouder het onderhoud zelf doet, of dat een gespecialiseerd bedrijf moet worden ingeschakeld. Soms vindt het onderhoud plaats in een kastje in de stal, soms moet deze onder de roostervloeren uitgevoerd worden waarbij soms ook de roosters gedemonteerd moeten worden en de dieren tijdens het onderhoud, tijdelijk ergens anders gehuisvest moeten worden. Een belangrijk aspect is dan of bij een storing er een risico ontstaat dat de bedrijfsvoering (primaire proces = dierlijke productie) wordt verstoord.

Omwonenden/hinder

Er zijn maatregelen die de vervoersbewegingen van vrachtwagens vergroten, andere vereisen installaties buiten de stallen (denk aan monovergisters bijvoorbeeld) wat meestal niet wordt gewaardeerd door omwonenden van veehouderijbedrijven. Daarentegen zijn er ook factoren die juist de acceptatie kunnen vergroten zoals bedrijven die maatregelen implementeren die schadelijke emissies voor de natuur of de mens beperken. Ingeschat wordt of de betreffende emissiereductiemaatregelen hinder voor de directe omgeving vergroten dan wel verkleinen.

Ruimte binnen bouwblok

Vleeskalverenbedrijven zijn intensief en hebben vaak weinig ruimte beschikbaar in het bouwblok¹⁶. Afhankelijk van de keuze voor emissiereductiemaatregelen kan het soms nodig zijn om extra ruimte beschikbaar te hebben binnen het bouwblok voor bijvoorbeeld mestopslag of mestverwerkingstechnieken. Deze extra ruimtebehoefte is geschat.

Toetsingsmethode: bovenstaande criteria zijn per emissiebeperkend systeem gescoord volgens de systematiek in *Tabel 9*. Bij de beoordeling in Hoofdstuk 3 wordt bij alle criteria de betreffende score toegelicht. De maatregelen zijn beoordeeld op basis van de verwachte werking en praktijkervaring.

¹⁶ Volgens Agrimatie had in 2022 57% van de vleeskalverbedrijven minder dan 20 ha cultuurgrond agrimatie.nl/PublicatiePage.aspx?subpubID=2523&themaID=2753§orID=3534 (geraadpleegd augustus 2024).

Tabel 9 Blauwdruk-tabel voor de evaluatie van overige factoren. Er is een beoordelingsschaal: --, -, 0, +, ++.

Criterion	--, -, 0, +, ++	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	--	Alleen toe te passen bij nieuwbouw.
	0	Toe te passen in bestaande bouw, wel met aanpassingen.
	++	Makkelijk toe te passen in bestaande bouw.
Brandveiligheid/risico	--	Risico op brand verhoogd.
	0	Risico op brand vergelijkbaar met referentiestal zonder maatregelen.
	++	Risico op brand verlaagd.
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	--	Verhoging van complexiteit/onderhoud/verstoring bedrijfsvoering.
	0	Situatie vergelijkbaar met de referentiestal.
	++	Verlaging van complexiteit/onderhoud/risico bedrijfsvoering.
Omwonenden hinder	--	Hinder verwacht voor omgeving.
(landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	0	Niet meer hinder dan bij een referentiestal.
	++	Aanwijsbare verbetering in hinder omgeving.
Ruimte binnen bouwblok, buiten de stal	--	Emissiearme systeem heeft veel ruimte nodig.
	0	Emissiearme systeem vraagt beperkte ruimte.
	++	Emissiearme systeem bespaart/neemt geen extra ruimte in beslag van het bouwblok.

2.2 Dierenwelzijns- en gezondheidsindicatoren

Toetsingsindicator: maatregelen worden geëvalueerd op het effect op (1) de kwaliteit van de stallucht en (2) bij vloermaatregelen, op het gedrag en het welzijn en gezondheid van dieren.

2.2.1 Maatschappelijke context

Maatregelen die worden geïmplementeerd om emissies te reduceren, kunnen ook een positief effect hebben op de gezondheid en het welzijn van kalveren door bijvoorbeeld de concentraties van ammoniak te verlagen, maar mogen deze zeker niet verslechteren.

Het denken over hoe we in onze samenleving met dieren omgaan, evolueert gestaag onder invloed van toenemende kennis, inzichten, en veranderende waardenpatronen (De Cock Buning et al., 2012; Schukken et al., 2019). Dit leidt ertoe dat het begrip 'dierenwelzijn' ook aan verandering onderhevig is. Lang golden de 'Vijf vrijheden' (FAWC, 1993) als basis voor Europese en daarvan afgeleide nationale dierenwelzijnswetgeving. Echter, de uitgangspunten voor beleid ontwikkelen zich gestaag in de richting van meer aandacht voor het perspectief van het dier. Dit vertaalt zich onder andere in de behoefte om het welzijn van dieren beter meetbaar te maken op basis van diergebonden indicatoren voor doelsturing (Blokhuys et al., 2010; Van Reenen et al., 2012) en aangepaste concepten waarbij natuurlijk gedrag en positieve ervaringen in het leven van een dier meer aandacht krijgen dan voorheen (Bracke & Hopster, 2006; Browning, 2020; Mellor & Beausoleil, 2020; RDA, 2021).

De toegenomen aandacht voor het perspectief van het dier en de meetbaarheid van dierenwelzijn heeft ook geleid tot het voornemen van de Europese Commissie om de Europese regelgeving aangaande dieren te herzien. Daarbij wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met ingrepen en natuurlijk gedrag in relatie tot huisvestingssystemen. In dat kader is het welzijn van dieren met het begrip 'dierwaardige veehouderij' recentelijk opnieuw onder de aandacht gebracht, om dit vervolgens via een brede dialoog in het Convenant Dierwaardige Veehouderij te operationaliseren, conform het advies van de Raad van State (LNV, 2023). Op 4 maart 2024 steunde de Tweede Kamer het amendement De Groot/Van Campen¹⁷ waarmee ruimte ontstond voor de voortzetting van de gesprekken over het Convenant Dierwaardige Veehouderij.

¹⁷ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/amendementen/detail?id=2024Z03414&did=2024D08028>.

Deze recente ontwikkelingen hebben tot gevolg dat er gedurende de uitvoeringsperiode van het onderhavige project, in afwachting van het Convenant Dierwaardige Veehouderij en de herziening van Europese dierenwelzijnswetgeving in het kader van de 'Farm to Fork'-strategie, onduidelijkheid heerst over toekomstige uitgangspunten en hernieuwde welzijnsnormen die voor vleeskalveren en andere veehouderijsectoren zouden kunnen gaan gelden. Ondanks deze onzekerheid is bij het evalueren van maatregelen om voor de reductie van emissies, met name ammoniak maar ook methaan en geur in dit project de randvoorwaarde gesteld dat er moet worden voorkomen dat het welzijn van vleeskalveren door deze maatregelen verslechtert. Dit uitgangspunt wordt ook gehanteerd in het recent gesloten Convenant Regieorgaan Versnellen Innovatie Emissiereductie Duurzame Veehouderij (LNV, 2023). Tegen deze achtergrond is gevraagd om in dit project een toetsingskader te ontwikkelen op basis waarvan het effect van emissiereductiemaatregelen op het welzijn en de gezondheid van vleeskalveren in de praktijk kan worden geëvalueerd.

2.2.2 Emissiereductie en welzijn van kalveren

Kalveren verschillen onderling in eigenschappen als genetische aanleg, immunocompetentie (verworven en aangeboren afweer tegen ziektekiemen), gewicht, leeftijd, ras, herkomst etc. (Chase et al., 2008; Hulbert & Moisés, 2016). Deze individuele eigenschappen stellen het kalf in staat om zich in meer of mindere mate aan te passen aan de heersende omstandigheden (huisvesting, ziektedruk, voeding, management, etc.). Dieren die hiertoe onvoldoende in staat zijn, krijgen problemen met de gezondheid en/of ervaren aantasting van hun welzijn (Brščić et al., 2011b; Roland et al., 2016; Marcato 2021; Chen et al., 2022; Marcato et al., 2022a; 2022b; Donlon et al., 2023). Bij het nemen van emissiereductiemaatregelen kan de leefomgeving van het kalf veranderen en is het relevant te weten via welke weg deze veranderingen het welzijn en de gezondheid van kalveren kunnen beïnvloeden. Maatregelen die de emissie van ammoniak en broeikasgassen kunnen reduceren, zoals genoemd in Hoofdstuk 3, zijn vrijwel allemaal maatregelen die bestaan uit veranderingen onder, op of aan de vloer (vloermaatregelen) die op hun beurt indirect de stalluchtkwaliteit kunnen beïnvloeden. Vanuit het perspectief van het kalf, zijn er van de maatregelen dus effecten op het welzijn en de gezondheid te verwachten via veranderingen in de stallucht en/of via fysieke veranderingen aan of op de vloer. In de volgende paragrafen worden mogelijke effecten daarom via deze twee routes nader uitgewerkt.

2.2.3 Kwaliteit van de stallucht

Het is aannemelijk dat de invloed van stallucht op de gezondheid en het welzijn van kalveren zich in eerste instantie zal manifesteren in de gezondheid van de luchtwegen: de neus, de bek, de luchtpijp, de luchtpijpvertakkingen en de longen, waaronder de bronchioli (kleinste vertakkingen) en alveoli (longblaasjes). Via deze luchtwegen vindt immers de gasuitwisseling tussen het kalf en diens omgeving plaats. Zuurstofrijke stallucht wordt door het kalf ingeademd en lucht met bepaalde concentraties aan o.a. CO₂ en (enterische) methaan wordt vervolgens uitgeademd. Naast zuurstof bevat stallucht dus CO₂ en methaan, maar ook verontreinigingen uit de stalomgeving als ammoniak, (fijn)stof, bacteriën, virussen en endotoxinen (Van Leenen et al., 2020). Ventilatie met relatief schone, zuurstofrijke buitenlucht moet ervoor zorgen dat concentraties aan schadelijke stoffen in de stal beperkt blijven. Ventilatie brengt de stallucht in beweging (met tocht als risico) en beïnvloedt daarmee tevens de luchttemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid. Er zijn een aantal ontwikkelingen zoals grotere afdelingen, diepere mestkelders en volledige onderkeldering die luchtbewegingspatronen onvoorspelbaarder maken en een homogeen stalklimaat verstoren.

Bij de opfok van fokkalveren is er toenemende aandacht voor ventilatie en het creëren van een gezond microklimaat voor het kalf (Hillman et al., 1992; Lago et al., 2006; Nordlund, 2008; Roland et al., 2016; Nordlund & Halbach, 2019; Ollivett, 2020). In dat kader is er bijvoorbeeld meer aandacht voor de toepassing van overdrukventilatie (positive-pressure tube ventilation; Nordlund, 2008; Nordlund & Halbach, 2019). Met deze vorm van buisventilatie, in combinatie met natuurlijke ventilatie, kan volgens Nordlund en Halbach (2019) een tochtvrije luchtverversing worden bereikt op inademingshoogte met minder ammoniak, een betere T en RV, minder circulerende ziektekiemen en stof, vooral ook bij koude buitentemperaturen en windstille zomerdagen, met een gezonder microklimaat voor het kalf en minder luchtwegaandoeningen als resultaat (Jorgensen, 2016; Nordlund & Halbach, 2019).

2.2.4 Mestgassen in relatie tot welzijn en gezondheid

Bronmaatregelen die gericht zijn op mestbehandeling kunnen invloed hebben op de emissie van mestgassen die ontstaan in mestputten en mestkanalen. Voor zover er, via bijvoorbeeld een roostervloer, uitwisseling mogelijk is van deze gassen met de lucht in de stal, wordt de kwaliteit van de stallucht daardoor negatief beïnvloed. Bij het opslaan, verpompen en mengen van drijfmest kunnen grote hoeveelheden van deze gassen vrijkomen. Meermalen daags verwijderen van de mest uit de stal daarentegen, zal de vorming van mestgassen buiten de stal doen plaatsvinden waardoor de kwaliteit van de stallucht zal verbeteren. En door toepassing van gerichte afzuiging, bijvoorbeeld kelderafzuiging, kunnen de gasconcentraties in de omgeving van het dier (de stallucht) worden verlaagd. De belangrijkste mestgassen die het welzijn en de gezondheid van mens en dier kunnen aantasten zijn waterstofsulfide (H_2S), ammoniak (NH_3), methaan (CH_4), koolstofdioxide (CO_2) en waterstofcyanide (HCN) (De Sutter, 2014; Zappavigna et al., 2014).

In de arbeidsomstandighedenregeling, bijlage XIII¹⁸, zijn voor deze gassen voor de mens maximale aanvaarde concentraties vastgesteld bij een blootstellingduur (tijd-gewogen gemiddelde, afgekort TGG) tot 8 uur per dag en een temperatuur van 20 °C en een luchtdruk van 101,3 kPa. Voor enkele gassen is tevens een grenswaarde vastgesteld voor een kortdurende blootstelling van ten hoogste 15 minuten. Voor de genoemde mestgassen zijn deze grenswaarden in *Tabel 10* weergegeven. Anders dan het uitgangspunt voor de maximale aanvaardbare concentraties voor de mens, is voor vleeskalveren in een stal de blootstellingsduur echter geen 8 uur gedurende 5 dagen per week, maar 24 uur gedurende 7 dagen per week. In vergelijking met de gekozen blootstellingsduur bij mensen, worden kalveren tijdens hun verblijf in de stal daardoor 4,2 keer zo lang blootgesteld aan mestgassen. Daar staat tegenover dat vleeskalveren worden geslacht voordat ze 1 jaar oud zijn. Cumulatieve effecten van langdurige blootstelling aan lage concentraties, zoals bij mensen aangetoond (Mahdinia et al., 2020; Batterman et al., 2023), blijven daardoor misschien beperkt. De mogelijke gevolgen van deze gassen voor het welzijn en de gezondheid van kalveren, worden in de volgende paragrafen besproken.

¹⁸ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0008587/2023-07-01/#BijlageXIII> (geraadpleegd december 2023).

Tabel 10 Wettelijke grenswaarden* voor mensen van concentraties van mestgassen volgens bijlage XIII van de arbeidsomstandighedenregeling bij een tijd-gewogen gemiddelde blootstellingsduur (TGG) van 8 uur, respectievelijk 15 minuten (tussen haakjes).

Gas	TGG 8 uur (15 min)		Symptomen (De Sutter, 2014)
	mg/m ³	ppm	
Waterstofsulfide (H ₂ S)	2,3	1,64	Tranende ogen, hoofdpijn, misselijkheid, braken, keelpijn en hoesten, duizeligheid, verwarring, kortademigheid, pijn in de borst, hartkloppingen, bewusteloosheid en ademstilstand.
Ammoniak (NH ₃)	14 (36)	20 (50)	Ademnood, tranende ogen, keelpijn, hoesten, moeilijke ademhaling. Sterk irriterend aan ogen en slijmvliezen.
Methaan (CH ₄)	Niet vermeld.		Ademnood, hoofdpijn, sufheid, bewusteloosheid door zuurstofgebrek.
Koolstofdioxide (CO ₂)**	9.000	5.000	Hartkloppingen, ademnood, duizeligheid, hoofdpijn, misselijkheid, braken, zwaktegevoel, bewusteloosheid door zuurstofgebrek.
Waterstofcyanide*** (HCN)	1 (5)	0,9 (4,5)	Bewusteloosheid, ademstilstand, hartstilstand.

* De grenswaarde voor een gevaarlijke stof geldt in beginsel alleen voor blootstelling aan de stof in zuivere vorm en is niet zonder meer van toepassing indien de stof een bestanddeel is van een mengsel van stoffen, waaraan blootstelling plaatsvindt of kan plaatsvinden. Mogelijk dat bij een gecombineerde blootstelling het gezondheidkundige gevolg van de afzonderlijke stoffen aanzienlijk wordt versterkt of verminderd.

** 5.000 ppm is gebaseerd op toxische waarden. CO₂ wordt echter gezien als indicator voor voldoende/gezonde ventilatie. Zo adviseert de GGD een bovengrens van 950 ppm voor openbare ruimten waar groepen mensen samenkomen.

*** In bijlage XIII weergegeven als Cyaniden (CN).

2.2.4.1 Waterstofsulfide (H₂S)

Waterstofsulfide kan ontstaan in zuurstofarme, met name zure condities, wanneer de groei van sulfaat reducerende bacteriën toeneemt en sulfaat wordt omgezet in sulfiden, die samen met waterstofionen waterstofsulfide vormen. Waterstofsulfide is zwaarder dan lucht en kan zich daardoor ophopen in lagergelegen putten, kanalen of kelders. Waterstofsulfide wordt ook in het maagdkanaal van dieren geproduceerd en is recent erkend als de derde fysiologisch meest significante 'gasotransmitter' (Shah et al., 2020). Over het algemeen hebben 'gasotransmitters' in de biologie/fysiologie een bifasisch werkingsmechanisme: bij lage concentraties hebben ze een gunstige rol, meestal een signaalfunctie, terwijl ze bij hogere concentraties giftig zijn.

Waterstofsulfide heeft de karakteristieke geur van rotte eieren en is met de neus detecteerbaar vanaf 0,1 ppm. De reukzin raakt echter verlamd bij concentraties vanaf 100 ppm, waardoor hoge concentraties met de neus niet meer waargenomen worden (Batterman et al., 2023). Blootstelling gedurende 5 minuten aan concentraties van 800 ppm is voor 50% van de mensen dodelijk, en bij meer dan 1.000 ppm kan het ademhalingsapparaat al na één keer ademen uitvallen, wat leidt tot onmiddellijke bewusteloosheid. Waterstofsulfide ontstaat bij de afbraak van zwavelhoudende, organische stoffen en komt vooral vrij bij het mixen en overpompen van mest, omdat dan de drijfslag (mestkorst) wordt doorbroken. Het is ook brandbaar, maar eerder toxisch bij lagere concentraties en explosief in combinatie met lucht.

Over het effect van lage concentraties waterstofsulfide op het welzijn en de gezondheid van kalveren is niets bekend. Bij mensen en bij proefdieren zijn bij concentraties tussen 50 en 200 ppm fysieke klachten beschreven, zoals ontsteking en irritatie van de ademhalingsorganen, schade aan de ogen, verlies van reukzin, neuspijn, vermoeidheid, slaperigheid en lichtschuwheid (Chou, 2003). Chou (2003) concludeert dat bij concentraties tot 10 ppm geen effecten op het reukorgaan zijn vastgesteld. Er zijn echter geen lange termijn studies uitgevoerd. Door de complexiteit van het vaststellen van specifieke blootstelling en verschillen in onderzoeksopzet is het volgens Batterman et al. (2023) moeilijk een veilige maximumwaarde voor waterstofsulfide te bepalen. In een recente review concluderen zij dat nadelige gezondheidseffecten bij mensen kunnen optreden bij blootstelling aan waterstofsulfide in concentraties, lager dan 0,1 ppm.

Uit onderzoek van Shi et al. (2023) blijkt dat in de onderzochte melkveestallen H₂S-concentraties varieerden tussen 0,07 en 0,18 ppm, afhankelijk van het productieniveau (voeropname). De niveaus in vleeskalverstallen zijn niet bekend, maar het is niet uitgesloten dat bijvoorbeeld het aanzuren van mest de vorming van H₂S onder anaerobe condities stimuleert.

2.2.4.2 Ammoniak (NH₃)

Ammoniak, en de reductie ervan in het kader van de stikstofproblematiek, lijkt bij het nemen van bronmaatregelen en de gevolgen voor het welzijn en de gezondheid van kalveren, voor de hier uit te voeren evaluatie het meest relevant. Ammoniak is lichter dan lucht en emitteert onder of op de (rooster)vloer uit de met urine vermengde mest. Blootstelling van de luchtwegen aan ammoniak kan leiden tot irritaties en schade aan slijmvliezen van luchtwegen met ademhalingsstoornissen als gevolg. Ademhalingsstoornissen leiden bij kalveren tot negatieve gevoelstoestanden zoals pijn, kortademigheid en/of ongemak als gevolg van een verminderde functie of laesies van de longen of luchtwegen (EFSA, 2023). Irritatie en schade aan luchtwegen zijn afhankelijk van de concentratie aan ammoniak in de stallucht en de duur van de blootstelling.

Als veilig maximum voor ammoniakconcentraties in rundveestallen wordt 20 ppm aanbevolen (CIGR, 1984). In de recentere literatuur zijn echter aanwijzingen dat relatief lage concentraties ammoniak (gemiddeld $1,7 \pm 0,9$ ppm; blootstelling in uren > 4 ppm) bij kalveren verband houden met longconsolidaties¹⁹ > 1 cm (Van Leenen et al., 2020). Experimentele blootstelling van varkens aan ammoniakconcentraties van 0-25 ppm toonde aan dat de samenstelling van de nasale microbiota geassocieerd is met relatief lage niveaus van blootstelling aan ammoniak (Wang et al., 2019). Bij ammoniakconcentraties hoger dan 20 ppm nam de hoeveelheid microbiota in de neusholte van varkens af en nam de kolonisatie van schadelijke bacteriën toe, en daarmee het risico op luchtwegaandoeningen. In een cohortstudie werden ook bij mensen effecten van blootstelling aan lage concentraties ammoniak aangetoond. Bij arbeiders in een kunstmestfabriek vergrootte langdurige blootstelling (tot 5 jaar) aan gemiddeld relatief lage concentraties ammoniak het risico op hoesten, kortademigheid, slijm en piepende ademhaling (Mahdinia et al., 2020).

In hoeverre resultaten, gevonden bij varkens en mensen, naar runderen kunnen worden geëxtrapoleerd is niet duidelijk. Veit en Farrell (1978) stellen bijvoorbeeld dat genetische selectie bij runderen op grotere verteringscapaciteit, spiermassa, melkproductie of groeisnelheid heeft geleid tot een relatieve toename van de metabolische zuurstofbehoefte ten koste van de anatomische gasuitwisselingscapaciteit. Dit kan runderen allengs vatbaarder hebben gemaakt voor luchtwegaandoeningen. Costa et al. (2003) vatten dit als volgt samen:

‘De anatomie van de luchtwegen van herkauwers brengt enkele opmerkelijke verschillen met die van de mens en andere dieren aan het licht. Van sommige van deze factoren – waaronder de relatieve nauwheid van de bovenste luchtwegen, een hoge mate van anatomische compartimentering, kleine longgrootte, overvloed aan lymfoïde weefsel en frequente blootstelling aan pensgassen – kan worden voorspeld dat ze een inherente vatbaarheid voor ademhalingspathologie en disfunctie met zich meebrengen’.

Reden om de gangbare maximumnorm van 20 ppm in rundveestallen ter discussie te stellen. Costa et al. (2003) concluderen op basis van onderzoek aan runderen in Australische ‘feedlots’ dat atmosferische ammoniakwaarden van 12 tot 16 ppm, hoewel irriterend, geen enkele waarneembare verstoring van het ademhalingssysteem van de dieren veroorzaken. Zij stellen daarom maximum concentraties van 25 ppm voor als werkbaar compromis tussen welzijnseisen en concentraties die in de praktijk redelijkerwijs haalbaar zijn.

¹⁹ Longconsolidatie is een medische term die verwijst naar het proces waarbij longweefsel dichter en steviger wordt als gevolg van de vervanging van met lucht gevulde ruimtes in de longblaasjes (kleine luchtzakjes in de longen) door stoffen zoals vloeistof, bloed, cellen of andere materialen. Dit kan leiden tot een vermindering van het vermogen van de longen om zuurstof en koolstofdioxide uit te wisselen, wat resulteert in een verminderde longfunctie.

Tegelijkertijd pleitten zij voor meer onderzoek naar effecten van chronische blootstelling in relatie tot hogere temperaturen. De vluchtigheid van ammoniak is erg temperatuurafhankelijk, waarbij bij 0 °C uit de mest vrijwel geen ammoniak vrijkomt, maar de vluchtigheid aanzienlijk is bij 13 °C en hoger (Sommer et al., 1991). Ook de CIGR (Zappavigna et al., 2014) is in een latere publicatie beduidend voorzichtiger, getuige het volgende citaat: 'ammoniak is lichter dan lucht. Het kan ogen en luchtwegen irriteren bij relatief lage concentraties van 5 ppm'. In diezelfde publicatie stelt het CIGR dat in rundveestallen en bij langdurige blootstelling de veilige maximum concentratie aan ammoniak in stallucht niet hoger zou moeten zijn dan 10 ppm. Bij welke omstandigheden irritatie overgaat in klinische luchtwegproblemen is onbekend en vanwege het multifactoriële karakter van luchtwegproblemen lastig aan te geven, maar onderzoek van Wang et al. (2019) wijst duidelijk op de predisponerende rol van ammoniak bij het ontstaan van luchtwegaandoeningen. Dit wordt bevestigd door EFSA (2021) die concludeert dat ammoniakconcentratie, naast gebrek aan ventilatie, hoge dierdichtheid, extreme temperaturen en hoge relatieve vochtigheid, predisponeert voor luchtwegaandoeningen. Ventilatie dient daarom zodanig te worden ingeregeld dat ammoniakconcentraties zo laag mogelijk zijn, echter zonder tocht te veroorzaken ter hoogte van de kalveren.

Bij het ontstaan van luchtwegaandoeningen spelen meerdere factoren een rol (Taylor et al., 2010; Roland et al., 2016; Chen et al., 2022; Donlon et al., 2023). Gemiddelde omgevingstemperatuur, en in sterke mate lichtsnelheid (> 0,8 m/s) bleken in het onderzoek van Van Leenen et al. (2020) eveneens samen te hangen met het ontstaan van longconsolidaties > 1 cm. Een veelvoorkomende luchtwegaandoening bij kalveren is Bovine Respiratory Disease (BRD). Dit is een ernstige ziekte die de lagere luchtwegen aantast en een belangrijke oorzaak is van sterfte bij jonge runderen (EFSA, 2023). BRD ontstaat door een combinatie van factoren, waaronder virale en bacteriële infecties, omgevingsinvloeden (zoals luchttemperatuur, luchtvochtigheid, luchtbeweging (tocht) en ammoniakconcentraties) en stress als gevolg van transport. Een belangrijke rol is verder weggelegd voor de weerstand van het kalf (ras, leeftijd, biestvoorziening, gezondheidsstatus van het herkomstbedrijf - IBR, BVD) en de infectiedruk in de stal als gevolg van het bijeenbrengen van kalveren van diverse herkomstbedrijven, al dan niet via verzamelcentra. Een initiële virusinfectie kan de afweer verzwakken, waardoor bacteriële infecties de lagere luchtwegen koloniseren, met symptomen die variëren van mild tot ernstig (Chen et al. 2022; Donlon et al. 2023). Kortom, ammoniakconcentratie is slechts één van de vele factoren die bij het ontstaan van luchtwegaandoeningen een rol spelen.

Van Reenen (2021) concludeerde uit onderzoek gedurende 4 rondes op 65 vleeskalverbedrijven dat de verschillen in luchtwegproblemen tussen vleeskalverbedrijven, zowel in termen van pathologische afwijkingen na slachting als met betrekking tot het klinische beeld op het vleeskalverbedrijf, niet of nauwelijks consistent waren tussen de verschillende rondes. Dit ondersteunt de gedachte dat naast factoren gerelateerd aan het vleeskalverbedrijf, ook factoren gerelateerd aan de individuele koppel (zoals bijvoorbeeld ras, kwaliteit, herkomst of de omstandigheden op het melkveebedrijf dat de kalveren levert) van invloed zijn op dit type gezondheidsproblemen.

Naast een te verwachten positieve invloed van lagere concentraties ammoniak in de stallucht op luchtwegaandoeningen, geldt dit ook voor irritatie en ontsteking van de slijmvliezen van de ogen (minder gezwollen, minder rood). Overigens spelen ook bij irritatie en ontsteking van de slijmvliezen van de ogen (conjunctivitis), naast ammoniak, infecties (virus, bacterie) en stof een rol. Onderzoek bij schapen tijdens transport over zee, naar de relatie tussen ammoniakgehalten in de stallucht en conjunctivitis, liet bij relatief hoge concentraties (44-64 ppm) bijvoorbeeld een duidelijk verband zien (Pines & Phillips, 2013). Ook waren er effecten op hun gedrag. Schapen hielden hun hoofd bij hoge concentraties hoger, stonden meer en aten minder. In hoeverre dergelijke reacties ook bij veel lagere concentraties < 10 ppm bij kalveren te verwachten zijn is onbekend.

In het kader van onderzoek naar alternatieve vloeren voor vleeskalveren zijn op twee blankvleesbedrijven case (ICE en Easyfix-vloer) – control (hardhouten roostervloer) metingen uitgevoerd naar ammoniak- en geuremissie (Heeres et al., 2017). In dit onderzoek werden binnen een afdeling twee verschillende vloertypen toegepast, waardoor emissie per vloertype niet op afdelingsniveau kon worden gemeten. Daarom is de zogenaamde dynamische boxmethode toegepast, waarbij een Lindvall-box over een te onderzoeken vloergedeelte wordt geplaatst. Het betreft hier dus niet meer dan oriënterende metingen, waaruit geen verschillen bleken in ammoniakemissie tussen ICE, Easyfix en de referentievloer en ook het voorkomen van beschadigingen aan de longen hield geen verband met het type vloer. Gelet op de beperkingen in de meetmethodiek en de complexiteit van de relatie tussen ammoniak en longaandoeningen is dit niet verwonderlijk. Tijdens indicatieve concentratie metingen (Gollenbeek et al., 2025) in één roséleeskalverstal en één blankvleeskalverstal lagen gemiddeld genomen de ammoniakconcentraties tussen de 5 en 10 ppm. Op het rosébedrijf werden tijdelijk uitschieters tot soms ver boven de 30 ppm gemeten. Op het blankvleesbedrijf werden uitschieters tot 25 ppm gemeten. Uitschieters waren vaak te relateren aan verminderde ventilatie bijvoorbeeld vanwege kou bij jonge dieren.

2.2.4.3 Methaan (CH₄)

Methaan is een krachtig broeikasgas en kan in grote hoeveelheden ontstaan in mest, waardoor het de aanwezige lucht kan verdringen en indirect voor gevaarlijke situaties kan zorgen door een gebrek aan zuurstof (De Sutter, 2014). Methaan is lichter dan lucht, blijft niet hangen boven de grond en kan daardoor gemakkelijker geventileerd worden. Bij onvoldoende ventilatie (met verse buitenlucht) kan het zich in afgesloten kelders ophopen en een explosief mengsel vormen. Duncan (2015) komt in een review van de literatuur tot de conclusie dat de volumeconcentratie die nodig is voor bewustzijnsverlies als gevolg van hypoxie door methaan in de lucht, groter is dan 50%. Dergelijke concentraties zijn in stallen niet waarschijnlijk, tenzij in gesloten (gasdichte) kelders zonder ventilatie. Volgens Duncan (2015) zijn er geen aanwijzingen dat blootstelling aan lage en matige methaanconcentraties in de lucht enig toxisch effect heeft op mensen. Over de gevolgen van verhoogde, niet lethale concentraties methaan voor het welzijn en de gezondheid van kalveren is niets bekend, maar vooralsnog lijkt explosiegevaar bij methaanophoping in afgesloten kelders het belangrijkste risico.

2.2.4.4 Koolstofdioxide (CO₂)

Algemeen wordt aangenomen dat CO₂-toxiciteit wordt veroorzaakt door het verdringen van zuurstof door CO₂, wat leidt tot verstikking. Volgens Ter Burg en Bos (2009) is dit slechts gedeeltelijk waar. Het inademen van hoge concentraties CO₂ kan de pH van het bloed verlagen en zo effecten veroorzaken op de luchtwegen, het cardiovasculaire systeem en het centrale zenuwstelsel. De blootstelling aan CO₂ kan daarom aanleiding geven tot een verscheidenheid aan effecten, waaronder verhoging van de ademhaling, hartslag en bloeddruk. Ook kunnen er cardiovasculaire gevolgen ontstaan. Aangenomen wordt dat sterfte te wijten is aan effecten op de luchtwegen en de zuurstoftoevoer. Vrijwilligers tolereerden CO₂ concentraties van 75.000 ppm gedurende 60 minuten, maar concentraties van 90.000 ppm bleken al na 10 minuten niet voor iedereen draaglijk waarop enkele vrijwilligers afhaakten met paniek- en hyperventilatieklachten (Ter Burg, 2022). Zoals eerder aangegeven adviseert de GGD een bovengrens van 950 ppm voor voldoende/gezonde ventilatie in openbare ruimten waar groepen mensen samenkomen. Koolstofdioxide kan in lagergelegen putten en afgesloten of onvoldoende geventileerde ruimten bij hoge concentraties leiden tot verstikking. Over de gevolgen van verhoogde, niet lethale concentraties CO₂ voor het welzijn en de gezondheid van kalveren is niets bekend.

2.2.4.5 Waterstofcyanide (HCN)

Waterstofcyanide of blauwzuurgas is een zeer giftig gas dat zowel via de ademhaling als via de huid door het lichaam kan worden opgenomen. Het is reeds in zeer lage concentraties dodelijk, daarboven vormt het gemakkelijk brandbare en explosieve mengsels (De Sutter, 2014). In het Technisch ondersteuningsdocument Waterstofcyanide van het RIVM (Ter Burg, 2017) worden het ademhalingssysteem, het centrale zenuwstelsel en het cardiovasculaire systeem als belangrijkste doelorganen en weefsels voor acute blootstelling door inademing aan waterstofcyanide beschreven.

Waterstofcyanide remt de cellulaire ademhaling, hetgeen vooral schadelijk is voor weefsels en organen met een hoge energiebehoefte, zoals de hersenen. Blootstelling aan waterstofcyanide kan neurologische symptomen veroorzaken, zoals bewustzijnsverlies en remming van de luchtwegen. Bovendien kan blootstelling aan waterstofcyanide leiden tot zwakte, verlamming en hartonregelmatigheden. Over de gevolgen van verhoogde, niet lethale concentraties HCN voor het welzijn en de gezondheid van kalveren is niets bekend. Waterstofcyanide en waterstofsulfide (H₂S) worden door rotting in oude mest gevormd en komen in hogere concentraties vrij als deze mest wordt gemixt alvorens het af te voeren.

2.2.4.6 Toetsen van veranderingen in stallucht – mestgassen

Toetsingsindicator: *het beoordelen van het effect van emissiereductiemaatregelen op de kwaliteit van de stallucht in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid.*

Afgezien van informatie over de gevolgen van ammoniak, is er over de invloed op het welzijn en de gezondheid van kalveren van de overige gassen die voortkomen uit mest en uitgeademde lucht, bij lagere dan lethale concentraties vrijwel niets bekend. Hoge concentraties kunnen ontstaan bij onvoldoende ventilatie, vooral bij mixen, overpompen en andere bewerkingen van de mest in de mestkelder onder een roostervloer. Om gevaarlijke situaties te voorkomen, beveelt de Gezondheidsdienst voor Dieren een aantal maatregelen aan. Organen en weefsels die bij inademing en contact met relatief lage, niet lethale concentraties van genoemde gassen, het meeste risico op schade lopen zijn het ademhalingssysteem en de ogen. Brongerichte maatregelen die de vloer- en kelderemissie van mestgassen naar de stallucht beperken leiden, gesteld dat de stal adequaat wordt geventileerd, hoogstwaarschijnlijk tot lagere concentraties mestgassen in de stallucht waarmee het risico op schade aan de luchtwegen en ogen afneemt. In grootschalig onderzoek met voldoende statistische power, zou dat in de stal kunnen blijken uit de criteria die zijn opgenomen in *Tabel 11*.

Tabel 11 Diergebonden criteria en scores voor het toetsen van welzijns- en gezondheidseffecten van emissiereductiemaatregelen op luchtwegen en ogen van kalveren.

Ante-mortem waarnemingen (hokniveau)		
Scores: Gunstiger (+), Neutraal (0) of Ongunstiger (-)		
<i>Criterion</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Referentie</i>
<i>Percentage dieren dat hoest, met name op warme dagen</i>	Duidelijk hoorbare, met kracht via de bek uitgevoerde uitstoot van ingeademde lucht (Ja/Nee).	Welfare Quality® Protocol voor vleeskalveren (Brščić et al., 2011a), Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021.
<i>Percentage dieren met neusuitvloeiing</i>	Aanwezigheid van afscheiding uit één of beide neusgaten (Ja/Nee).	Welfare Quality® Protocol voor vleeskalveren (Brščić et al., 2011a); Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021.
<i>Percentage dieren met rode en/of traanogen</i>	Aanwezigheid van afscheiding uit één of beide ogen en/of rood ontstoken ooglid of oogbol (Ja/Nee).	Welfare Quality® Protocol voor vleeskalveren (Brščić et al., 2011a); Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021.
<i>Percentage dieren met een snelle ademhaling</i>	Snelle ademhaling (> 40 ademhalingen/min), overmatige buikademhaling (Ja/Nee).	Welfare Quality® Protocol voor vleeskalveren (Brščić et al., 2011a); Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021.
<i>Percentage trage, inactieve dieren</i>	Kalveren (niet eerder gescoord) die een algemeen zieke indruk geven, traag, niet alert (Ja/Nee).	Welfare Quality® Protocol voor vleeskalveren (Brščić et al., 2011a); Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021.
<i>Percentage dieren met longconsolidaties > 1 cm</i>	De aanwezigheid van longconsolidaties op basis van locatie (dorsaal/ventraal; links/rechts) en diepte in centimeters gemeten in een dorso-ventraal vlak.	Van Leenen et al., 2020.
<i>Percentage dieren met een afwijkende vacht</i>	Doffe vacht met abnormale structuur, glans en lengte (Ja/Nee).	Welfare Quality® Protocol voor vleeskalveren (Brščić et al., 2011a); Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021.
Post-mortem waarnemingen (individueel)		
Scores: Gunstiger (+), Neutraal (0) of Ongunstiger (-)		
<i>Criterion</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Referentie</i>
<i>Percentage dieren met verschijnselen van een longontsteking</i>	Ontsteking van het longweefsel met of zonder een bovenliggende pleuritis.	EFSA 2021, Annex B.
<i>Percentage dieren met verschijnselen van een borstvliesontsteking</i>	Ontsteking van de pleurae met fibrineuze pleurale verklevingen.	EFSA 2021, Annex B.

Het lijkt veilig te stellen dat reductie van de concentratie aan mestgassen in de stallucht een gunstige invloed heeft op de gezondheid van luchtwegen en ogen van kalveren, ook al zal het specifieke effect als zodanig lastig zijn vast te stellen. Mestgassen zijn in de stallucht als 'cocktail' aanwezig en de specifieke invloed van elk van deze gassen kan in de praktijk als zodanig onmogelijk worden vastgesteld. Daarbij komt de multifactoriële oorzaak van irritatie van en schade aan luchtwegen en ogen van kalveren, waardoor Ollivett (2020) waarschuwt voor studies die te weinig power hebben om betekenisvolle verbanden aan te tonen. Zonder alle relevante factoren in de analyse te betrekken, zal het niet mogelijk zijn om een (causaal) verband aan te tonen tussen maatregelen die met name het ammoniakgehalte in stallucht beperken en de gezondheid van de luchtwegen en ogen van kalveren. Dit maakt onderzoek naar deze samenhang complex, bijzonder omvangrijk en tijdrovend en vergt voldoende koppels op verschillende bedrijven gedurende opeenvolgende mest rondes over de diverse seizoenen. Vanwege de vele factoren die meespelen, zal het in de praktijk vrijwel onmogelijk zijn om een causaal verband tussen ammoniakgehalte in de stallucht en luchtwegaandoeningen vast te stellen.

Het lijkt daarom praktisch en wetenschappelijk goed verdedigbaar om in plaats van tijdrovende diergebonden metingen uit te voeren, het gehalte aan mestgassen in de stallucht op dierhoogte te registreren. Gelet op de inzet om met name de emissie van ammoniak te reduceren, lijkt het relevant om vooral het gehalte aan ammoniak in stallucht in de evaluatie te betrekken.

Toetsingsmethode: bovenstaande criteria zijn per emissiereductiemaatregel gescoord volgens de criteria in Tabel 12. Waar dit noodzakelijk wordt geacht, wordt bij de beoordeling een toelichting op de score gegeven.

Tabel 12 Kwalitatieve scores voor de inschatting van relatieve effecten van emissiereductiemaatregelen op de kwaliteit van de stallucht, relevant voor het welzijn en de gezondheid van vleeskalveren.

Criterium	Score	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	+	Structureel lager.
	0	Geen verschil.
	-	Structureel hoger.
Tocht	+	Kleiner risico op tocht.
	0	Geen verschil in kans op tocht.
	-	Groter risico op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	+	Kleiner risico op T buiten de comfortzone.
	0	Geen verschil in kans T buiten de comfortzone.
	-	Groter risico op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	+	Kleiner risico op RV buiten de comfortzone.
	0	Geen verschil in kans RV buiten de comfortzone.
	-	Groter risico op RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	+	Structureel lager.
	0	Geen verschil.
	-	Structureel hoger.

2.2.5 Veranderingen aan of op de vloer

Toetsingsindicator: *het toetsen van het effect op het gedrag, welzijn en de gezondheid van kalveren bij aanpassingen aan de vloeren bij implementatie van emissiereductiemaatregelen.*

Vloermaatregelen kunnen van invloed zijn op het comfort (indrukbaarheid, isolatie) en de reinheid (vocht, mest) van de ondergrond waarop kalveren lopen en liggen, op de beloopbaarheid (stroefheid) en op de kans dat dieren zich verwonden aan of gehinderd worden door obstakels (mestschuiven, katrollen, mestrobots).

Een diergebonden criterium dat onder invloed van veranderingen in de vochtigheid van de vloer kan wijzigen, is het aantal kalveren met een natte vacht. Vocht in de vacht verlaagt de isolerende werking en werkt vervuiling in de hand. Bij de vacht van een veulen bijvoorbeeld, bleek de isolatiewaarde voor een volledig natte vacht slechts ongeveer een derde van de isolatiewaarde wanneer deze droog was (McArthur & Ousey, 1996). Een natte vacht verhoogt de warmteafgifte via geleiding en verdamping; reden vermoedelijk dat kalveren bij een normale omgevingstemperatuur een duidelijke voorkeur voor een droge ligplaats vertonen (Camiloti et al., 2012). In hoeverre een natte vacht kalveren buiten of juist binnen de thermoneutrale zone doet belanden zal sterk samenhangen met de voeropname, de omgevingstemperatuur en de luchtbeweging. Bij hoge omgevingstemperaturen gaan kalveren immers zweten om via verdamping meer lichaamswarmte kwijt te kunnen raken, en het bevochtigen van melkkoeien via sprinklers en vernevelaars wordt aanbevolen om bij deze dieren hittestress te reduceren (Ji et al., 2020). Een natte vacht bij kalveren is altijd ongewenst. Het wijst óf op te hoge omgevingstemperaturen in relatie met luchtvochtigheid, óf bij normale omgevingstemperaturen op ongerief als gevolg van te veel afkoeling.

In het onderzoek naar alternatieve vloeren voor vleeskalveren (Heeres et al., 2017) is onder andere de ligtijd van vleeskalveren bij vrije keuze om te liggen op een bepaald type vloer, als maat gehanteerd voor het door de kalveren ervaren ligcomfort. Daarnaast is de invloed van vloertypen op het gedrag (uitglijden, gaan staan/gaan liggen, spelgedrag) bestudeerd. Ook is de klinische gezondheidstoestand van klauwen en gewrichten, en het vóórkomen van kreupelheid beoordeeld door ervaren vleeskalverdieners, conform het protocol klinische gezondheid zoals dat ten behoeve van de welzijnsmonitor is ontwikkeld. In relatie tot vloeren is met name aandacht besteed aan kreupelheid (licht respectievelijk ernstig) en dikke knieën. Dikke knieën ontstaan door (overmatige) herhaalde druk en zijn volgens Ostner et al. (2018) doorgaans niet pijnlijke verdikkingen van de knieën door ophoping van vocht (verkregen slijmbeurs), bedoeld om onderliggende weefsels te beschermen. Ook Bršćić et al. (2011b) stellen, met verwijzing naar McAfee en Smith (1988), dat bursitis (zwellen van de carpale slijmbeursen) niet pijnlijk is en geen kreupelheid veroorzaakt.

McAfee en Smith (1988) geven echter aan dat dit uitsluitend geldt voor niet-septische bursitis en dat bij extreme buiging van het gewricht, ook deze vorm van bursitis pijnlijk kan zijn. Los van pijn is bursitis een pathologische aanpassing aan een suboptimale leefomgeving. Onderzoek van Brščić et al. (2011b) bij vleeskalveren toonde aan dat verschillen tussen vloertypen in relatie tot het vóórkomen van dikke knieën groter werden naarmate de dieren ouder (zwaarder) werden. Dit pleit ervoor om met name aan het einde van de productieperiode dit kenmerk te registreren, of post-mortem waarnemingen te doen. In het onderzoek naar alternatieve vloeren (Heeres et al., 2017) zijn van elk kalf dat bij het onderzoek betrokken was, tenminste drie poten (en bijbehorende kniegewrichten) op pathologische afwijkingen beoordeeld. Daarbij is vooral gelet op beschadigingen aan de klauw en de huid rond de klauw, de lengte van de klauw, en afwijkingen aan het carpaal gewricht. De alternatieve vloeren (ICE, Easyfix en Van Beek Hout) scoorden met respectievelijk 0, 4 en 7% dikke knieën ten opzichte van 25% op een houten roostervloer beduidend beter. Duidelijke verbeteringen bij alternatieve vloeren werden ook gevonden bij het aantal keren uitglijden.

Diergebonden indicatoren kunnen inzicht verschaffen in de mate waarin er sprake is van welzijnsbeperkingen en gezondheidsschade als gevolg van vloermaatregelen. Heeres et al. (2017) onderscheiden hierbij waarnemingen aan: (a) gedrag, (b) klinische gezondheid, (c) pathologie (post mortem onderzoek), (d) bevuilding en bezoedeling, (e) technische resultaten en (f) behandelingen met diergeneesmiddelen.

Tabel 13 Diergebonden criteria voor het toetsen van welzijns- en gezondheidseffecten van emissiereductiemaatregelen op het gedrag en gezondheid van kalveren.

Ante-mortem waarnemingen (hokniveau)			
	Criterium	Beschrijving	Referentie
GEDRAG	Percentage dieren dat uitglijdt	Evenwichtsverlies waarbij het kalf de grip op de vloer verliest, of een of meerdere klauwen over de vloer glijden. Kalf glijdt met 1 of meerdere poten uit.	Welfare Quality®, 2009 in EFSA 2023; Heeres et al., 2017.
	Percentage dieren dat valt	Evenwichtsverlies waarbij andere delen van het lichaam dan de klauwen en poten in contact komen met het vloeroppervlak. Kalf komt met flank op grond terecht.	Welfare Quality®, 2009 in EFSA 2023; Heeres et al., 2017.
	Percentage dieren dat tijdens liggen wordt verstoord	Liggende kalveren worden door (aanraking met) bewegende mestschuiven of -robots, of andere objecten opgeschrikt en staan op.	
BEVUILING	Percentage dieren met een natte vacht	Kalveren met een natte vacht over de hele ruglijn.	Welfare Quality®, 2023.
	Percentage dieren met een bevuilde buik	De bevuiling van het kalf wordt beoordeeld als schoon (niet bevuild met mest), matig bevuild (< 25% van de buik bevuild met mest) of sterk bevuild (> 25% van de buik bevuild met mest).	Welfare Quality®, 2023; Heeres et al., 2017.
KLINISCHE GEZONDHEID	Percentage kreupele dieren	Kalveren belasten niet alle poten gelijk of staan niet op één of meerdere poten. Wordt beoordeeld als licht of ernstig kreupel.	Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021; Marcato et al., 2022a; Welfare Quality®, 2023.
	Percentage dieren met dikke knieën (verkregen slijmbeurs)	Duidelijke verdikking (schijf- of rondvormig) van het kniegewricht, meestal niet pijnlijk en het kalf is niet kreupel.	Supplemental Table S2, Van Reenen, 2021; Marcato et al., 2022a; Welfare Quality®, 2023.
Post-mortem waarnemingen (individueel)			
	Criterium	Beschrijving	Referentie
PATHOLOGIE	Percentage dieren met een afwijkend carpaal gewricht		Welfare Quality® 2023; EFSA 2023.
	Percentage dieren met een beschadigde staart	Beschadigde staart met/zonder aanwezigheid van vers bloed of korst	Welfare Quality®, 2023.

Uit een pilotstudie van Van Reenen et al. (2021) naar de mogelijkheden voor implementatie van de Welfare Quality® welzijnsmonitor op vleeskalverbedrijven zijn een aantal belangrijke voorwaarden afgeleid.

De waarnemingen zijn arbeidsintensief, om vleeskalverbedrijven en slachthuizen op het juiste moment te kunnen bezoeken, is een beroep op de expertise en faciliteiten van SKV en adequate training en tussentijds 'onderhoud' van kennis en vaardigheden van (SKV) waarnemers onontbeerlijk. Met betrekking tot de validiteit en betrouwbaarheid van een welzijnsprotocol stellen Van Reenen et al. (2021) dat deze voor een belangrijk deel worden bepaald door de kwaliteit van de training van de waarnemers. Met name is aandacht vereist voor het minimaliseren van afwijkingen tussen de waarnemers en de referentie ("drift"). Voor de routinematig te verzamelen technische praktijkgegevens zie Bijlage 2.

Toetsingsmethode: bovenstaande criteria worden in een compacte tabel (*Tabel 14*) gebruikt om maatregelen te evalueren. Deze tabel wordt alleen toegepast bij de vloermaatregelen in Paragraaf 3.9. Dit omdat alle andere maatregelen geen impact op de hokvloeren hebben.

Tabel 14 *Blauwdruk-tabel voor de evaluatie van welzijns- en gezondheidseffecten van emissiereductiemaatregelen op of aan de vloer op het gedrag en gezondheid van kalveren.*

Criterium	Score	Uitleg/inschatting ten opzichte van referentiestal
Gedrag	-/0/+	
Bevuiling	-/0/+	
Klinische gezondheid	-/0/+	
Pathologie	-/0/+	

3 Evaluatie van maatregelen

In dit hoofdstuk worden de emissiereductiemaatregelen in achtereenvolgende paragrafen geëvalueerd. Vervolgens worden in Paragraaf 3.9 de vloermaatregelen ook geëvalueerd. In elke paragraaf wordt eerst ingegaan op de principes van emissiereductie waarop de maatregelen zijn gebaseerd. Vervolgens wordt het systeem/de maatregel beschreven dat in de stal kan worden geïmplementeerd. Waar mogelijk worden er ook variaties, frequenties, etc. beschreven. Tenslotte worden aan het eind van iedere paragraaf de maatregelen geëvalueerd zoals in Hoofdstuk 2 is uitgelegd. Paragraaf 3.10 gaat in op een aantal nageschakelde systemen om de mest(fracties) te bewerken.

3.1 Scheiding van feces en urine onder de roostervloer door middel van een mestband

Principe: scheiding van feces en urine door middel van een mestband, waardoor zo veel mogelijk wordt voorkomen dat de urease-activiteit plaatsvindt.

Zoals eerder vermeld ontstaat ammoniak als het ureum in de urine in contact komt met het enzym urease. Het enzym urease wordt geproduceerd door bacteriën in de verse feces of in de biofilm op de stalvloeren. De mestband zorgt voor, bij regelmatig laten draaien, dat feces en urine zo snel mogelijk worden gescheiden waardoor relatief weinig menging tussen feces en urine plaatsvindt. Idealiter worden mestbanden gebruikt van thermoplastisch rubber, of andere kunststoffen zoals polyethyleen of rubberachtige materialen. Dit vanwege hun lage urease-activiteit (Kasper et al., 2010; Puente-Rodríguez & Bos, 2019). Mosquera et al. (2019) rapporteren dat in een vleeskalverbedrijf de urease-activiteit op de daar gebruikte mestband laag is (vanwege het gebruikte materiaal, de reinheid ervan en door vermindering van contacttijd tussen urine en feces) en dat gemiddeld slechts 25% van het ureum op de mestband wordt omgezet in ammonium voordat de urine bij de opslag komt. Daardoor wordt slechts een klein deel in de vorm van ammoniak vanuit de mestput/mestband uitgestoten.

Mestfracties meerdere keren daags en volledig uit de stal verwijderen heeft ook een positief effect op de reductie van de methaanemissie uit de mest in de stal. Immers wordt hierbij de bron (mest) van deze emissie uit de stal verwijderd. De literatuur rapporteert dat het frequent verwijderen van drijfmest of mestfracties uit de kelder (in het geval van deze combi met een mestband) om deze vervolgens op te slaan in een gasdichte opslag met een aanvullende techniek (vergisting, oxidatie, koeling, etc.), de methaanemissie uit de mest tot wel 80% kan reduceren (Groenestein et al., 2010; Massé et al., 2016; Šebek et al., 2016; Willeghems et al., 2016).

3.1.1 Systeembeschrijving

De vleeskalverstal heeft een roostervloer met een kelder eronder. Er is een mestband onder de roostervloer geplaatst. Deze mestband heeft een V-vorm in dwarsrichting, is wel of niet geperforeerd en gemonteerd onder een gering afschot in lengterichting. De dunne fractie stroomt daardoor eerst naar het midden van de V en vervolgens naar het laagste punt. Deze fractie wordt continue afgevoerd naar een afgesloten (gasdichte) opslag. De dikke fractie blijft op de band liggen en wordt bij het afdraaien van de band getransporteerd en aan het einde ervan afgestort. Deze fractie wordt ook opgeslagen.

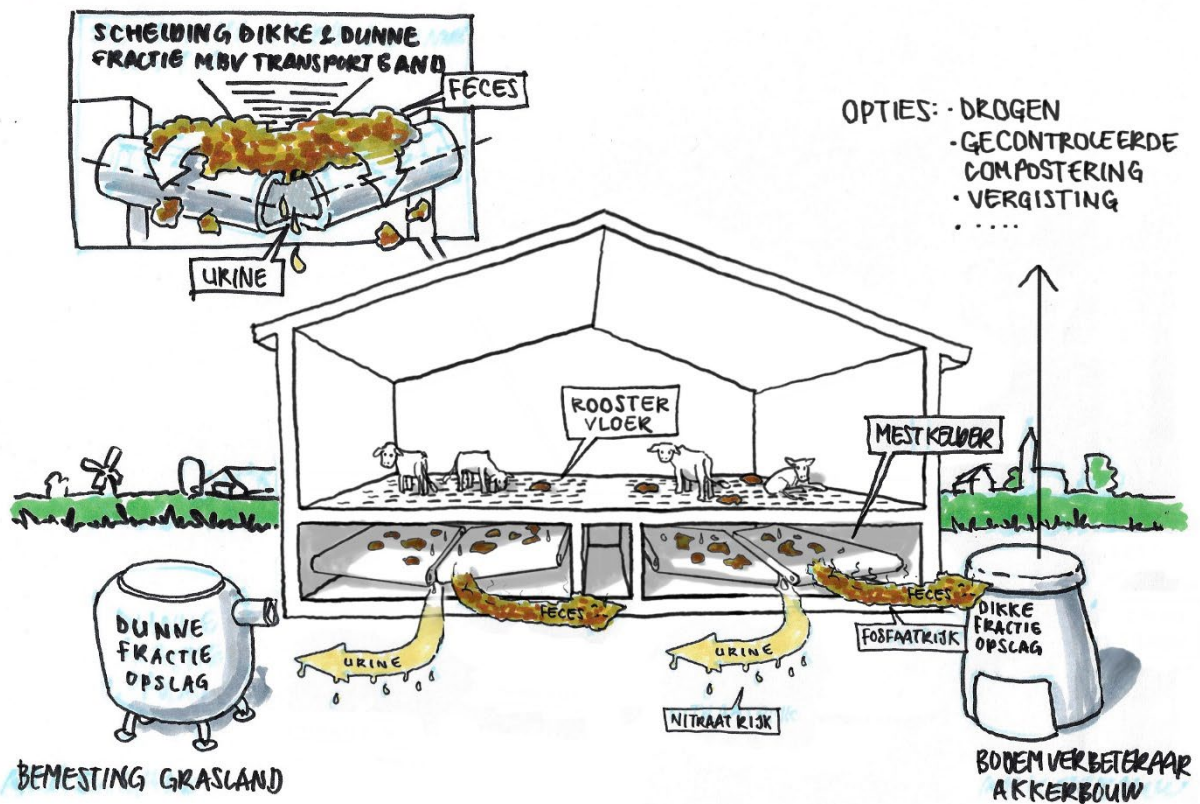
Idealiter wordt de mestband eens per 1 of 2 uur afgedraaid. Uit optimalisatie en emissiemetingen aan het systeem moet blijken of met 1 à 2 keer afdraaien per dag ook aan de strenge ammoniakemissiereductie normen kan worden voldaan.



Figuur 2 Visualisatie van het systeem (links) (Van Boxmeer et al., 2023b). V-vormige mestband, opvangruimte van urine en feces (midden) en mestband onder roostervloer (rechts) (Mosquera et al., 2019).

Bij dit systeem komen dunne en dikke fractie minder en korter in contact met elkaar dan bij een traditionele mestkelder. Verschillende studies laten een reductie van de ammoniakemissie zien van rond de 50% ten opzichte van het gangbare systeem (Mosquera et al., 2019; Monteny & Van Hoof, 2020).

Om een nog hogere ammoniakemissiereductie te bereiken zijn additionele vloermaatregelen nodig. Dikke en dunne fracties worden apart gehouden en opgeslagen. Maatregelen worden genomen om de emissies uit deze opgeslagen fracties te beperken (zie Paragraaf 3.10).



3.1.2 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

De scheidende mestband is recent bij een blankvleeskalverbedrijf doorontwikkeld en de ammoniak- en methaanemissies zijn gemeten. In Monteny en Van Hoof (2020) en Meijer et al. (2022) zijn de resultaten van de emissie metingen gerapporteerd, het betrof hier een geperforeerde mestband. Onderstaande reductiepercentages zijn gebaseerd op de resultaten van de emissiemetingen op dit ene blankvleeskalverbedrijf en eerdere inschattingen (Mosquera et al., 2019; Monteny & Van Hoof, 2020; Puente-Rodríguez et al., 2021; Gollenbeek et al., 2023). Voor vleeskalveren zijn voor de inschatting van de ammoniakemissies de verhoudingen tussen vloer en kelderemissies aangehouden: blankvleeskalveren 30 à 40% vloer en 60-70% mestkelder; rosévvleeskalveren 50% vloer en 50% mestkelder. Voor methaan en geur wordt verwacht dat een mestbanden systeem eenzelfde effect kan hebben voor rosévvleeskalveren als voor blankvleeskalveren. De verwachte methaanemissiereductie uit mest in de stal is fors (80-100%), uitgaande van de berekende mest- en enterische methaanemissie (Van Bruggen et al., 2020) is de maximale theoretische reductie van de emissies uit de stalmest plus enterisch 20-25%. Zoals eerder vermeld, rapporteerden Meijer et al. (2022) echter een hogere methaanemissiereductie (> 80%) met bronmaatregelen bij blankvleeskalveren. Blijkbaar is de verhouding tussen enterisch- en mestmethaan nog niet voldoende vastgesteld of wijkt deze bij deze emissiemetingen sterk af.

Tabel 15 Emissiereductie (%) - scheiding van feces en urine onder de roostervloer d.m.v. een mestband.

	Blankvleeskalveren	Rosévvleeskalveren
Ammoniakemissie	40-60%	30-45%
Methaanemissie*	80-100%	80-100%
Geur	50-70%	50-70%

* Deze inschatting is alleen voor methaan uit mest, enterisch methaan is hierbuiten gehouden. Uitgegaan wordt van emissiearme opslag of verdere verwerking buiten de stal.

Kosten

Gegevens werden verzameld op basis van Aarnink et al. (2007) en aangevuld met recentere gegevens (Gollenbeek et al., 2021a; 2021b)²⁰. Kosten zijn in onderstaand overzicht geïndexeerd met 3% per jaar. Uitgegaan is van gescheiden opslag van feces en urine buiten de stal. Dergelijke opslagen zullen bij langdurige opslag wel emissiearm uitgevoerd moeten worden, hiervoor zijn nog geen kosten geraamd. Vaste jaarkosten van de investering (19,75%) zijn bepaald op basis van 2,25% rente en een afschrijving van 8 jaar (12,5% en de hogere onderhoudsgraad (5%). Energiekosten voor de mestband (0,55 kW) zijn geschat op 8 kWh per dag tegen € 0.30/kWh, waarbij de banden elke twee uur een uur draaien. Verdere mestverwerking is mogelijk, hiervoor wordt verwezen naar Paragraaf 3.10.

²⁰ [Next Level mestverwaarden - WUR](#) (geraadpleegd februari 2024).

Tabel 16 Kosten (excl. BTW) - scheiding van feces en urine onder de roostervloer d.m.v. een mestband.

	Blankveeskalveren			Roséveeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Jaarkosten	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Mestband (€/kalverplaats)	317	59,25	2,2	317	59,25	3
Opslag (x2) (€/kalverplaats)	162,5	8,2	2,4	292,5	14,6	4,4
<i>Totaal</i> (€/kalverplaats)	<i>480</i>	<i>68</i>	<i>4,6</i>	<i>610</i>	<i>74</i>	<i>7,4</i>

* Voor de omrekening naar kalverplaats werd uitgegaan van een standaardstal van 800 dieren voor blankvees, en 600 voor roséveeskalveren.

Baten

Mogelijke baten van een mestbandsysteem ten opzichte van een traditioneel systeem zijn:

- Dagelijkse verwijdering van mest maakt het mogelijk mest vers te vergisten en daardoor in potentie een hogere biogasopbrengst te creëren. Hierbij moet wel rekening worden gehouden dat deze mest praktisch gezien lastig te verwerken is vanwege de fysische kenmerken van de dikke fractie, d.w.z. plakkerigheid en daardoor slechte verpompbaarheid.
- De beschikbaarheid van een dikke en dunne fractie geeft de mogelijkheid om minder mest af te voeren zodat afvoerkosten verlaagd kunnen worden, door andere bestemmingen te vinden zoals toepassing van de dunne fractie op eigen land of bouwland of afvoer naar centrale mestverwerker (urinefractie → N-kunstmestvervanger).

CO₂ emissierechten

De emissiereductie qua broeikasgassen kan een baat zijn als deze als CO₂ emissierecht kan gelden. Voor zover bekend bij de auteurs bestaan binnen en voor de kalverhouderijsector (nog) geen gerichte duurzaamheidsprogramma's, ondersteunend beleid of beloningssystemen voor verlaging van de carbon footprint of CO₂-equivalenten van kalfsvlees. Dat betekent echter niet dat emissiereductie op zichzelf geen waarde in de toekomst zal hebben; er bestaat immers een koolstofmarkt: emissiehandel. Bedrijven die BKG-emissies uitstoten, kunnen investeren in het verminderen van emissies of betalen voor emissierechten. Vraag en aanbod van overtollige (CO₂-)emissierechten creëren hiervoor een prijs. In onderstaande tabel geeft de Nederlandse Emissieautoriteit een overzicht van de huidige tarieven en een indicatie van de verwachte toekomstige tarieven. Tegelijkertijd is er ook een handelssysteem met actuele marktprijzen²¹.

Tabel 17 Tariefreëks tot en met 2030 in euro per ton CO₂²².

2012	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
30,48	41,75	55,94	74,17	86,86	99,55	112,24	124,93	137,62	150,31

TRL

TRL wordt ingeschaald op 7 tot 8. De techniek is oorspronkelijk ontwikkeld in andere sectoren (pluimvee en varkens). Het is al doorontwikkeld en getest in een paar blankveeskalverbedrijven (Mosquera et al., 2019; Monteny & Van Hoof, 2020; Meijer et al., 2022). Grootschalige toepassing is echter nog niet aan de orde, mede vanwege de hoge investeringskosten. Het emissiearme huisvestingssysteem is voor vleeskalveren nog niet opgenomen in Bijlage V van de Omgevingsregeling.

²¹ Carbon Price Tracker | Ember (ember-climate.org) (geraadpleegd december 2023).

²² Bron: Tarieven CO₂-heffing | Nederlandse Emissieautoriteit (geraadpleegd oktober 2024).

Daarbij is er een verscheidenheid aan materialen en uitvoeringen mogelijk waarvan de prestaties kunnen afwijken. Een R&D traject kan dit systeem naar een hogere TRL brengen.

Overige factoren

Tabel 18 Evaluatie van overige factoren - scheiding van feces en urine onder de roostervloer d.m.v. een mestband.

Criterium	-- 0 ++*	Uitleg
<i>Inpasbaarheid in bestaande stallen</i>	-- / -	Systeem kan aangebracht worden eventueel boven op de bestaande keldervloer. Echter, moeilijk inpasbaar in traditionele dwarsopstellingen vanwege korte lengtes. Er zijn de nodige aanpassingen nodig (afstorten, technische ruimte). Bij ondiepe kelders eventueel verhoogde roostervloer aanleggen (extra kosten). Beter geschikt voor nieuwbouw. Inpasbaarheid zal sterk afhangen van ruimte onder vloer, ruimte voor afdraaien mest, opslagmogelijkheden buiten stal, lengte of breedte opstelling.
<i>Brandveiligheid/risico</i>	- / 0	Extra techniek in de stal. Materiaal van de band moet zo gekozen worden dat verspreiding brand niet kan optreden.
<i>Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering</i>	-	Simpele techniek wel met veel draaiende onderdelen. Twee fracties en opslagen. Eventuele verdere verwerking van de mest kan leiden tot meer complexiteit. Techniek onder de roosters, moeilijk te bereiken. Tijdig ingrijpen bij storing is nodig om ophoping van mest op de band tegen te gaan. Geen terugvaloptie bij storing, systeem vraagt om additionele huisvestingsruimte in geval van calamiteiten.
<i>Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)</i>	0	Geen duidelijk effect op de omgeving. Minder geurhinder.
<i>Ruimte binnen bouwblok</i>	-	Feces en urine fracties moeten afzonderlijk en ten minste tijdelijk buiten de stal worden opgeslagen. Eventueel verdere verwaarding van deze fracties op locatie zorgt voor ruimtedruk.

*Zie Paragraaf 2.1.4.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 19 Evaluatie van kwaliteit stallucht i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid – scheiding van feces en urine onder de roostervloer d.m.v. een mestband.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
<i>Ammoniakconcentratie</i>	+	Structureel lager.
<i>Tocht</i>	+	Er is geen (koude en diepe) mestkelder.
<i>Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)</i>	0 / +	Er is geen (koude en diepe) mestkelder. Klein verschil in kans T buiten de comfortzone.
<i>Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)</i>	0	Geen verschil in kans RV buiten de comfortzone.
<i>Concentraties overige mestgassen</i>	+	Structureel lager.

* Zie Tabel 12 (Paragraaf 2.2.4.6).

De verwijdering meermaals daags van de feces en urine uit de stal heeft een gunstige uitwerking op de emissie van ammoniak en methaan en, afhankelijk van de stalventilatie, op de concentratie daarvan in de stallucht. In hoeverre dit ook tot uitdrukking komt in minder irritatie en/of een betere gezondheid van de luchtwegen en ogen van de kalveren, is ook afhankelijk van ziektedruk, bezettingsgraad etc. (zie Hoofdstuk 2). Gelet op de predisponerende rol van ammoniak bij luchtweginfecties is minder kelder- en vloeremissie voor de gezondheid en het welzijn van kalveren echter zondermeer gunstig te noemen. Dat geldt eveneens voor de lagere concentraties van overige mestgassen.

Omdat er geen diepe en koude mestkelders meer zijn kan deze maatregel de situatie rondom tocht en temperatuur verbeteren. Echter zal deze verbetering waarschijnlijk niet zo groot zijn voor de dieren. Invloed op de relatieve vochtigheid wordt niet voorzien.

3.2 Opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing)

Principe: verdunnen van drijfmest met ammoniumarme vloeistof waardoor het ammoniumgehalte per eenheid mest afneemt en minder ammoniakvervluchtiging optreedt en mengsel van mest en ammoniakarme vloeistof regelmatig uit kelder afvoeren.

De belangrijkste potentiële bron van ammoniakemissie is het ureum dat door de kalveren in de urine wordt uitgescheiden. Het ureum wordt omgezet in ammonium. Het ureumgehalte en ammoniumconcentratie in urine (-plassen op de vloer en/) of in de drijfmest die is opgeslagen in de kelder kan beïnvloed worden door verdunning met water of andere ammoniakarme vloeistof (Hoeksma et al., 1993; Monteny & Erisman, 1998; Van Dooren et al., 2022). In de melkveehouderij zijn hiermee goede resultaten behaald voor het reduceren van de ammoniakemissie (zie Paragraaf 3.6). Echter, vanwege de toename van het mestvolume en het ontbreken van een emissiefactor, is dit uitsluitend op experimentele basis toegepast. In deze paragraaf wordt deze optie voor de vleeskalverhouderij geëvalueerd: het opvangen van mest in een ammoniakarme vloeistof zodat verdunning optreedt. Hierdoor wordt de vervluchtiging van ammoniak naar verwachting verminderd. Het mengsel van drijfmest en ammoniakarme vloeistof wordt regelmatig uit de kelder afgevoerd waardoor de bron van de emissie ook uit het mestkanaal en uit de stal verdwijnt. De ammoniakemissie vanaf de roostervloer wordt met dit systeem niet beïnvloed.

3.2.1 Systeembeschrijving

De kalverstal heeft een roostervloer met een mestkelder eronder. Uitgescheiden feces en urine worden in een ammoniumarme vloeistof in het mestkanaal opgevangen. Hiervoor wordt een gezuiverd ammoniumarme vloeistof gebruikt - de dunne fractie²³. De dunne fractie kan ammoniak-arm gemaakt worden door middel van een biologisch afbraakproces in een zuiveringsinstallatie. De vloeistof met feces en urine moet regelmatig worden verversd afhankelijk van de mestproductie en de hoeveelheid ammoniumarme vloeistof die in de kelder is gezet. Verondersteld wordt eens per één of twee weken. De met mest verrijkte fractie wordt afgevoerd en nieuwe ammoniumarme vloeistof wordt in de kelder gebracht. Uitgegaan wordt van een systeem waarbij 20 cm vloeistof in de kelder gezet wordt en dat vervanging minimaal plaatsvindt voordat de verhouding tussen de mest en de spoelvloeistof 1:1 bereikt. Vaker verversen zou het risico op emissies verlagen, echter er moet een bepaalde massa aanwezig zijn in de mestkelder om een redelijke afvoer van de vaste delen te krijgen. In het systeem wat er voor ogen is worden geen mestgoten of iets dergelijks opgenomen, we gaan uit van een bestaande kelder, waarbij de vloeistof met feces en urine af moeten stromen en beperkt wordt nagespoeld. Vaker spoelen heeft ook als nadeel dat de biologische zuivering sterker belast wordt.

Het mengsel van spoelvloeistof met feces en urine wordt door middel van het proces van nitrificatie-denitrificatie ammoniumarm gemaakt. Dit is een proces waarbij de te behandelen vloeistof intensief wordt belucht²⁴. De ammonium-N (en een groot deel van de organische stof) wordt daarbij afgebroken en omgezet in nitraat. In een silo met anaerobe condities en met toevoeging van een gemakkelijk afbreekbare koolstofbron (bijvoorbeeld melasse) zetten denitrificerende bacteriën het ontstane nitraat om in stikstofgas (N₂) wat onschadelijk is en uitgestoten wordt naar de buitenlucht. Bij dit proces kan echter ook lachgas worden gevormd en vrijkomen, een zeer sterk broeikasgas. De mate waarin dit gebeurt is sterk afhankelijk van de procesbeheersing.

Als input voor de zuivering kan de dunne fractie gebruikt worden nadat drijfmest (in dit geval verdunde drijfmest) mechanisch is gescheiden. Het systeem kan echter zo gedimensioneerd worden dat de verdunde drijfmest direct de zuivering in gaat.

²³ Water zou ook een optie kunnen zijn echter wordt dan het volume mest aanzienlijk verhoogd.

²⁴ Een andere optie is om deze fractie aan te zuren.

De inschatting van de emissiereductie is gedaan op basis van theoretisch te verwachten reducties en eerste indicatieve metingen bij een andere blankvleeskalverhouder. Voor methaan is een vergelijkbaar reductiepercentage aangehouden als voor andere bronmaatregelen waarbij de mest regelmatig wordt afgevoerd. De reductie van geur is niet goed in te schatten vanwege de complexiteit van de processen die plaatsvinden in de mestkelder. Voor vleeskalveren zijn voor de inschatting van de ammoniakemissies de verhoudingen tussen vloer- en kelderemissies aangehouden: blankvleeskalveren 30 à 40% vloer en 60-70% mestkelder; roséleeskalveren 50% vloer en 50% mestkelder. Voor methaan en geur wordt ingeschat dat het spoelsysteem eenzelfde effect kan hebben voor roséleeskalveren als voor blankvleeskalveren. De verwachte methaanemissiereductie uit mest is fors (60-90%), uitgaande van de berekende mest en enterische methaanemissies (Van Bruggen et al., 2020) is de maximale theoretische reductie van de emissies uit de stal (mest plus enterisch) 12-23%. Maar deze methaanemissiereductie uit de stal zou hoger kunnen zijn uitgaande van de resultaten van het onderzoek bij Thelosen (Meijer et al., 2022). Verder zijn de ondergrenzen van 30% ammoniakemissiereductie bij blankvleeskalveren en 20% reductie bij roséleeskalveren laag ingeschat vanwege eerste ervaringen met dergelijke systemen in de vleeskalverhouderij. Bij geoptimaliseerde systemen zijn de theoretisch bovengrenzen haalbaar.

Tabel 20 Emissiereductie (%) – opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing).

	Blankvleeskalveren	Roséleeskalveren
Ammoniakemissie	30-60%	20-45%
Methaanemissie*	60-90%	60-90%
Geur	n.n.b.	n.n.b.

* Deze inschatting is alleen voor methaan uit mest, enterisch methaan is hierbuiten gehouden. Uitgegaan wordt van emissiearme opslag of verdere verwerking buiten de stal.

N.n.b: Nog niet bekend.

Kosten

De kosten voor het verdunnen met een ammoniumarme vloeistof zijn geraamd²⁵. Bij deze raming is ervan uitgegaan dat de veehouder op eigen bedrijf de ammoniumarme vloeistof maakt²⁶. Rekening is gehouden met de investering in de installatie, het verbruik van chemicaliën en de benodigde energie (Gollenbeek & Aarnink, 2020). Aangenomen is dat het energieverbruik (1.680 kWh) voor het verwerken van 80 m³ mest per dag, op basis van een maximaal vermogen van de blowers tegen € 0,30 /kWh (KWIN 2024-2025) de kosten oplevert zoals in onderstaande tabel verwerkt. De kosten voor het produceren van een ammoniumarme vloeistof is op basis van gebruikerservaringen en expert judgement uitgevoerd; hierbij is een simpele uitvoering van het systeem aangenomen. Er wordt rekening gehouden met externe mestopslag, die als bufferopslag kan dienen. In Tabel 21 zijn de kosten per ton mest aangegeven, uitgesplitst in de investeringen in pompen en leidingwerk (het stalsysteem) en de mestverwerking (ammoniumarme vloeistof-productie) en uiteindelijk de kosten per kalverplaats. Jaarkosten van de investering (12,58%) zijn bepaald op basis van 2,25% rente, een afschrijving van 12 jaar (8,33%) en lage onderhoudsgraad (2%).

²⁵ Verdunnen en spoelen met water zal leiden tot een ander kostenplaatje en ook tot een verhoging van het volume van de mest, zie Paragraaf 3.6.

²⁶ Bij gebruik van ammoniakarme vloeistof uit een kalvergierbewerkingsinstallatie zijn de totale kosten mede afhankelijk van de mate waarin deze ammoniakarme vloeistof kan worden aangevoerd en verdunde mest kan worden afgevoerd met dezelfde tankwagen. Op deze manier worden de transportkosten (en -milieubelasting) geoptimaliseerd. Een eerste voorzichtige schatting bij grootschalige toepassing levert ca. € 20 /m³ ammoniakarme vloeistof op voor aan- en afvoer en verwerking in een kalvergierbewerkingsinstallatie. Bij een mestproductie van 2,5 m³ per jaar zijn de jaarlijkse kosten ca. 50 euro per dierplaats per jaar.

Tabel 21 Kosten (€ excl. BTW) - opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing).

	Blankvleeskalveren			Rosé vleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Investering pompen en leidingwerk (€/m ³ mest)	20	2,5		20	2,5	
Ammoniakarme vloeistofproductie op locatie (€/m ³ mest)	15	5	6,3	15	5	6,3
<i>Subtotaal (€/m³ mest)</i>	<i>35</i>	<i>7,5</i>	<i>6,3</i>	<i>35</i>	<i>7,5</i>	<i>6,3</i>
Mestproductie (m ³ /jaar/kalverplaats)		2,5			4,5	
<i>Subtotaal (€/kalverplaats)</i>	<i>87,5</i>	<i>18,8</i>	<i>15,75</i>	<i>157,5</i>	<i>33,8</i>	<i>28,35</i>
Opslag (€/kalverplaats)	81,25	4,1	1,22	146,25	7,31	2,2
<i>Totaal (€/kalverplaats)</i>	<i>169</i>	<i>23</i>	<i>17</i>	<i>304</i>	<i>41</i>	<i>31</i>

Baten

Een deel van de mest wordt gezuiverde vloeistof die mogelijk geloosd kan worden op het riool²⁷ in plaats van af te voeren. Tevens zorgt deze methode voor een lager stikstofoverschot. Hiermee kunnen mest-afvoerkosten (€ 20/m³) deels worden vermeden. Indien uitgegaan wordt van centrale mestverwerking zal een poorttarief en bijkomend transport betaald moeten worden. Het voordeel van minder mestafzet geldt dan niet. Een kanttekening bij deze zuiveringstechniek is dat het verwijderen van nutriënten uit mest niet als circulair wordt gezien.

De emissiereductie qua broeikasgassen kan een baat zijn als deze als CO₂ emissierecht kan gelden. Zie argumenten hierboven in Paragraaf 3.1.2.

TRL

TRL wordt ingeschaald op 7 tot 8. Is een bekende en bewezen techniek in de varkenshouderij en is daar 30 jaar een erkende emissiereducerende techniek. De techniek wordt inmiddels ook al toegepast op een blankvleeskalverbedrijf, grootschalige toepassing is nog niet aan de orde. Het emissiearme huisvestingssysteem moet nog worden ontwikkeld en in de praktijk worden getest, en is daarom nog niet opgenomen in Bijlage V van de Omgevingsregeling.

²⁷ Dit is niet gratis, maar dit is niet meegenomen in de berekening.

Overige factoren

Tabel 22 Evaluatie overige factoren - opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing).

Criterium	--0++*	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	0 / +	Systeem kan aangebracht worden in bestaande mestputten. Er zal wel een goed afsluit- en afvoersysteem moeten worden gerealiseerd, en buiten de stal opslag en verwerking van de mest plaatsvinden.
Brandveiligheid/risico	- / 0	Het systeem bestaat uit een aantal pompen, een mestscheider en beluchter wat het risico op het ontstaan van een brand licht kan verhogen. Deze technieken hoeven echter niet in de dierverblijven te worden gesitueerd.
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	- / 0	Robuuste techniek, benodigde arbeid zal zeer afhangen van het aangelegde systeem en mate van automatisering. Kleine kans op problemen met pompen of verstoppingen.
Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	-	Mestbewerking op locatie kan leiden tot verschillende vormen van hinder.
Ruimte binnen bouwblok	-- / 0	Biologische zuivering en mestopslag kost veel ruimte. Bij aanvoer spoelvloeistof van elders dan neemt de maatregel minder ruimte in.

* Zie Paragraaf 2.1.4.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 23 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) - opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing).

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	+	Structureel lager.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	+	Structureel lager.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Het verdunnen van mest met water, dan wel met een ammoniakarme vloeistof, heeft een gunstige uitwerking op de emissie van ammoniak en, afhankelijk van de stalventilatie, op de concentratie daarvan in de stallucht. In hoeverre dit ook tot uitdrukking komt in minder irritatie en/of een betere gezondheid van de luchtwegen en ogen van de kalveren, is ook afhankelijk van ziektedruk, bezettingsgraad etc. (zie Hoofdstuk 2). Gelet op de predisponerende rol van ammoniak bij luchtweginfecties is minder kelder- en vloeremissie voor de gezondheid en het welzijn van kalveren echter zondermeer gunstig te noemen. Dat de maatregel invloed heeft op de kans op tocht, op de staltemperatuur of op de relatieve vochtigheid wordt niet voorzien.

3.3 Mest koelen

Principe: door de temperatuur van de mest te verlagen worden de afbraakprocessen vertraagd en komt er minder methaan en ammoniak per tijdseenheid vrij.

Ten aanzien van methaan bevat kalvermest plantaardig en microbieel materiaal in verschillende afbraakstadia, niet geabsorbeerde verteringsproducten (zoals aminozuren en vetzuren) en mineralen. Deze kunnen onder zuurstofarme omstandigheden door methanogene micro-organismen worden afgebroken en omgezet worden in methaan. Zeeman (1991) bestudeerde het verband tussen mesttemperatuur en CH₄-productie voor de Nederlandse context. Ze modelleerde vervolgens de relatie tussen de hoeveelheid verse mest, de hoeveelheid inoculum en temperatuur (Zeeman, 1994). Volgens dat onderzoek zou de methaanuitstoot bijna volledig geremd kunnen worden bij temperaturen onder de 10 °C, gegeven een inoculum van 50%. Dit wordt door recent onderzoek in de melkveehouderij onderschreven: een forse (> 75%) methaanemissiereductie uit mest werd bereikt door mest in de mestopslag te koelen tot een temperatuur van rond 10 °C (zie Puente-Rodríguez et al., 2023; 2024; 2025-in voorbereiding).

Kennis rondom het effect van temperatuur op de methaanproductie is vooral afkomstig uit het vergistingsdomein. Daar is juist de inzet om zo veel mogelijk methaan en koolstofdioxide (CO₂) uit de mest te halen voor de productie van biogas (Amon et al., 2006; Chadwick et al., 2011; De Vries et al., 2012; Rodhe et al., 2015; McVoitte & Clark, 2019; Groenestein et al., 2020; Jiang et al., 2021).

Micro-organismen als bacteriën en archaea reageren op de fysisch-chemische omgevingscondities (Habtewold et al., 2018) door zich voortdurend aan te passen. Op korte termijn reageren deze micro-organismen bijvoorbeeld op veranderingen in pH of temperatuur. Methaanproductie is gevoelig voor temperatuur. De IPCC-richtlijnen geven aan dat de snelheid waarmee in de mest methaan wordt gevormd bij een toename van de mesttemperatuur van 15 naar 35 °C met een factor 9 toeneemt (Dalby et al., 2021).

Temperatuur is een factor die ook de ammoniakemissie beïnvloedt. Lagere temperaturen in de mest dragen bij aan het verminderen van de ammoniakemissie (Aarnink & Elzing, 1998; Groot Koerkamp et al., 1998; Gustafsson et al., 2005; Wu et al., 2019; Aarnink et al., 2022; Aarnink et al., 2023). Zoals eerder vermeld, ammoniak ontstaat als ureum in de urine in contact komt met het enzym urease. Elk enzym-eiwit heeft een optimale groeitemperatuur. De optimale temperatuur voor de vorming van urease is circa 60 °C. Hoewel de omgevingstemperaturen in veestallen beduidend lager liggen, vindt bij een temperatuur van 15-20 °C al een snelle omzetting van ureum in ammonium plaats. Modelberekeningen in de varkenshouderij laten zien dat de ammoniakemissie per graad verandering in mesttemperatuur (in de mestkelders) met gemiddeld 6,8% verandert (Aarnink & Elzing, 1998). Een hogere temperatuur maakt ook dat de in mest aanwezige ammoniak gemakkelijker kan vervluchtigen naar de stallucht.

3.3.1 Systeembeschrijving

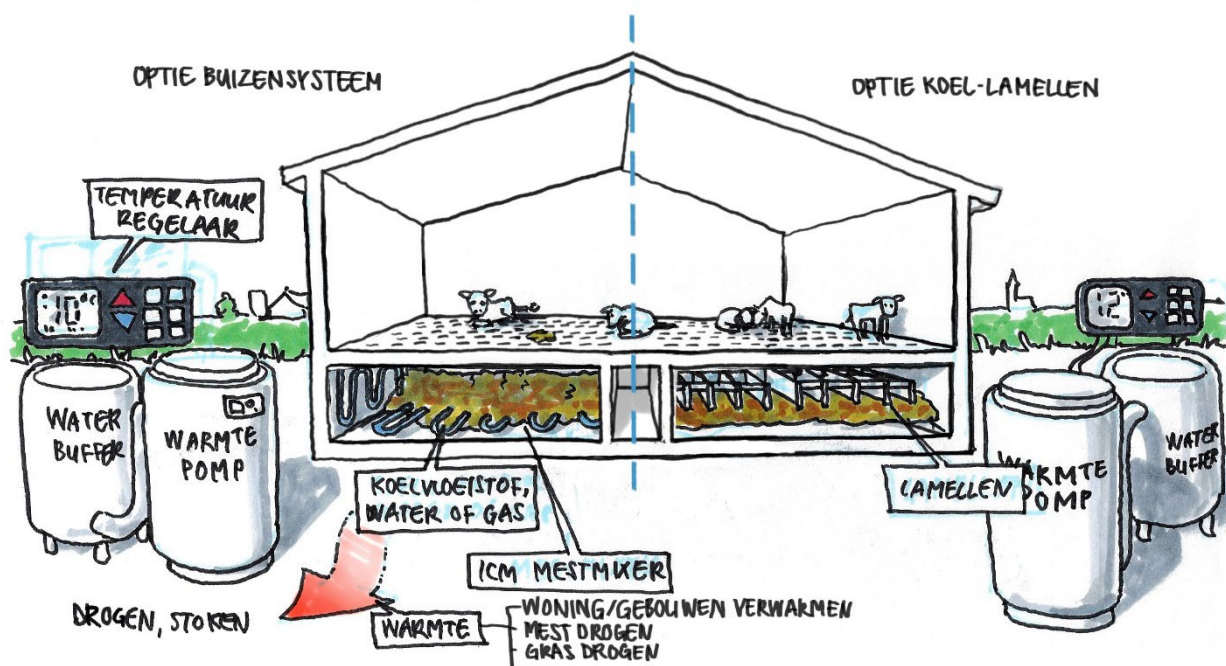
Drijfmest kan gekoeld worden in de mestkelder van kalverenbedrijven. Hiervoor is er geen scheidings- of verder behandelingsproces nodig. Er zijn verschillende systemen die kunnen helpen om warmte aan de mest te onttrekken. In de varkenshouderij is ruime ervaring opgedaan met koellamellen (Smits et al., 2005) en zijn in het laatste decennium van de vorige eeuw enkele systeemerkenningen met koelen van mest afgegeven. De lamellen drijven in de bovenste laag van de mest. Door de lamellen stroomt grondwater, zodat de mest koeler wordt en het grondwater opwarmt. Er zijn specifieke regels voor het gebruik en afvoeren van het opgewarmde grondwater. De geproduceerde warmte kan gebruikt worden om de bedrijfswoning te verwarmen, maar ook kan met de restwarmte zo nodig de stal worden opgewarmd als de dieren nog jong zijn.

Experimenten met mestkoelingssystemen

Momenteel worden in de melkveehouderij experimenten uitgevoerd om drijfmest te koelen vooral om de methaanemissie te reduceren (Puente-Rodríguez et al., 2023; 2024; 2025-in voorbereiding) met het inpandige koelen van drijfmest in mestkelders en ook met het extern (buiten de stal) koelen van mest. Hierin worden buizen (Powerwave, PE100RC, met een diameter van 63 mm) gebruikt waar een mengsel van water (75-80%) en glycol (20-25%) doorheen stroomt. De buizen drijven bij het ene prototype in de bovenste laag van de mest en liggen in de bodem van de mestkelder, terwijl ze bij het andere prototype in een mestcontainer buiten de stal liggen. Theoretisch presteren mestkoelingssystemen met de leidingen in de bovenste lagen van de mest meestal beter (zie Wu et al., 2019 voor inschattingen van prestatie ten opzichte van diepte en vloeibaarheid/vastheid van de mest). Een elektrische warmtepomp haalt de warmte uit het koelmiddel. De warmtepomp kan ingesteld worden op lagere temperaturen dan de redelijk stabiele grondwatertemperatuur. In het experiment wordt de bedrijfswoning verwarmd met de onttrokken warmte. In hetzelfde project wordt ook geëxperimenteerd met een mestkoelingssysteem dat de drijfmest extern, buiten de stal, koelt.

Om de temperatuur van de mest homogeen laag te kunnen houden moet mest met enige regelmaat worden gemixt. Elektrische mestmixers maken het mogelijk om de homogeniteit/consistentie van de mest volgens verschillende tijdschema's te reguleren.

Mestkoelen heeft alleen invloed op de mestkelder gerelateerde emissies. Aanvullende vloer- of managementmaatregelen moeten worden toegepast om een hogere ammoniakemissiereductie te bereiken.



3.3.2 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

Het systeem koelen is ook getest bij een blankvleeskalverbedrijf in Noord-Brabant (Monteny & Van Hoof, 2020; Meijer et al., 2022) echter vanwege disfunctioneren van het systeem zijn geen emissiemetingen uitgevoerd. Onderstaande reductiepercentages zijn gebaseerd op basis van inschattingen van WLR-experts en ervaringen opgedaan in experimenten in andere sectoren (Puente-Rodríguez et al., 2024). Voor vleeskalveren zijn voor de inschatting van de ammoniakemissies de verhoudingen tussen vloer- en kelderemissies aangehouden: blankvleeskalveren 30 à 40% vloer en 60- 70% mestkelder;

rosé vleeskalveren 50% vloer en 50% mestkelder. Voor methaan en geur wordt verwacht dat mest koelen eenzelfde effect kan hebben voor rosé vleeskalveren als voor blank vleeskalveren. De verwachte methaanemissiereductie uit mest is fors (60-90%), uitgaande van de berekende mest en enterische methaanemissies (Van Bruggen et al., 2020) is de maximale theoretische reductie van de emissies uit de stal (mest plus enterisch) 12-23%. Echter Meijer et al. (2022) rapporteerden een grotere methaanemissiereductie met bronmaatregelen bij blank vleeskalveren. De methaanemissiereductie uit de stal kan bij implementatie van brongerichte maatregelen zoals mest koelen dus hoger worden.

Tabel 24 *Evaluatie emissiereductie (%) – mest koelen.*

	Blankvleeskalveren	Rosé vleeskalveren
Ammoniakemissie	0-50%	0-40%
Methaanemissie*	60-90%	60-90%
Geur	30-60%	30-60%

* Deze inschatting is alleen voor methaan uit mest, enterisch methaan is hierbuiten gehouden. Uitgegaan wordt van emissiearme opslag of verdere verwerking buiten de stal.

Kosten

Beschreven zijn de investeringskosten voor een koelingssysteem uitgevoerd met lamellen (zie ook onder systeembeschrijving hierboven) in de mestkelders. Kosten voor dit systeem per kalverplaats zijn afgeleid van de vleesvarkenshouderij waarbij uitgegaan is van een koeldekstelsysteem en een koeloppervlak van 200% (KWIN 2024/2025). De variabele jaarlijkse kosten zijn gebaseerd op de veronderstelling dat deze toenemen naarmate er meer mest wordt geproduceerd, denk ook aan het verschil qua mestproductie tussen blank vleeskalveren en rosé vleeskalveren²⁸. De investeringskosten bestaan uit de aanschaf van de lamellen en een warmtepomp. De jaarkosten zijn ingeschat op basis van de beschikbare gegevens, en komen daardoor hoger uit dan de 10% standaardaanname bij andere systemen. Hierbij is opbrengst uit de koeling en verwarming elders niet meegenomen in de berekening.

Tabel 25 *Kosten (€ excl. BTW) – mest koelen.*

	Blankvleeskalveren			Rosé vleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Koeldekstelsysteem (€ /varkensplaats)	40	5,2	1,3	40	5,2	1,3
Omrekenfactor*		3,8	1,8		3,8	3,2
Totaal (€/kalverplaats)	151	20	2	151	20	4

* De omrekening is gebaseerd op (1) het emitterend oppervlak van vleeskalveren (2 m²) ten opzichte van vleesvarkens (0.53m²) (wat resulteert in een factor 3,8) voor de investering en (2) de ratio resulterend uit de mestproductie van een blank vleeskalf (2,5 m³) en rosé vleeskalf (4,5 m³) ten opzichte van een vleesvarken (1,4 m³ per gemiddeld aanwezig dier per jaar, KWIN 2024-2025).

Baten

De warmte die uit de mest onttrokken wordt kan ingezet worden om stallucht, stalvloer en/of bedrijfswoning te verwarmen.

De emissiereductie qua broeikasgassen kan een baat zijn als deze als CO2 emissierecht kan gelden. Zie argumenten hierboven in Paragraaf 3.1.2.

²⁸ Uit onderzoek in de melkveehouderij blijkt dat er waarschijnlijk meer energie (variabele jaarkosten) nodig is om de mestmassa onder 10 °C te krijgen en te houden.

De gekoelde mest heeft in principe een hoger biogasproductiepotentieel wat bij vergisting kan leiden tot hogere opbrengsten.

TRL

Deze maatregel is ingeschaald op TRL 6. De techniek wordt al toegepast op varkensbedrijven en bij experimenten op melkveebedrijven, grootschalige toepassing is nog niet aan de orde. Deze techniek zal specifiek voor de kalversector doorontwikkeld moeten worden. Het koelen van mest is voor vleeskalveren nog niet opgenomen in Bijlage V van de Omgevingsregeling.

Overige factoren

Tabel 26 Evaluatie overige factoren – mest koelen.

Criterium	--0++	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	-	Systeem kan aangebracht worden in bestaande mestkelders, mits deze diep genoeg zijn.
Brandveiligheid/risico	-	Er komt enige techniek kijken bij deze bronmaatregel wat kan leiden tot verhoogde risico's op brand.
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	-	Techniek deels onder de roosters en dus moeilijk te bereiken
Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	0	Weinig hinder te verwachten voor de omgeving. Wel is er sprake van warmtepompen, mestpompen of mestmixers die geluid produceren.
Ruimte binnen bouwblok	- / 0	Indien koeling in de kelder plaatsvindt is er geen ruimte nodig buiten de stal.

* Zie Paragraaf 2.1.4.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 27 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en gezondheid) – mest koelen.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	0 / +	Het kan lager worden maar in de experimenten op melkvee is geen emissiereductie gemeten.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	+	Bij benutting restwarmte voor stalverwarming met name bij jonge kalveren minder kans T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	- / +	Als gevolg van mixen en verpompen komen mestgassen vrij, maar omdat het frequent gebeurt blijven (voor mens en dier) gevaarlijke concentratiepieken achterwege.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Het koelen van mest heeft in principe een vertragend effect op de vorming en emissie van ammoniak en methaan en, afhankelijk van de stalventilatie, op de concentratie daarvan in de stallucht. In hoeverre dit ook tot uitdrukking komt in minder irritatie en/of een betere gezondheid van de luchtwegen en ogen van de kalveren, is ook afhankelijk van ziektedruk, bezettingsgraad etc. (zie Hoofdstuk 2). Gelet op de predisponerende rol van ammoniak bij luchtweginfecties is minder kelder- en vloeremissie voor de gezondheid en het welzijn van kalveren echter zondermeer gunstig te noemen.

Om de mest een homogeen lage temperatuur te laten aannemen is vaker mixen noodzakelijk. Daardoor veranderen de condities in de mest waardoor de kans aanwezig is dat concentraties van (ammoniak en) overige mestgassen toenemen. Dat de maatregel invloed heeft op de kans op tocht of op de relatieve vochtigheid wordt niet voorzien. Bij benutting van restwarmte kan het stalklimaat voor jonge dieren beter worden aangepast aan hun warmtebehoefte.

3.4 Dagontmesting door middel van spoelgoten

Principe: frequent en volledig verwijderen van mest en urine vanonder de roostervloer naar een opslag om de bron van emissie uit de kelder te halen.

Schuine en gladde gootwanden zorgen ervoor dat feces en urine naar het smalle kanaal onder in de goot glijden/stromen en dat er op de wanden geen feces of urine achterblijven. De mestgoot onderin is smaller dan het mestkanaal waardoor het emitterend oppervlak kleiner is. In de goot wordt de mest verdund, hetgeen de emissie van ammoniak reduceert (Huis in 't Veld & Satter 1998; Van Dooren et al., 2022).

3.4.1 Systeembeschrijving

Dit systeem is eind vorige eeuw ontwikkeld voor de varkenshouderij. In een vleeskalverstal zou het als volgt kunnen worden geïmplementeerd. Onder de betonnen of hardhouten roostervloer wordt in het mestkanaal een aantal aaneengesloten spoelgoten met schuine wanden aangebracht, met aan een zijde een aanvoerbuis voor spoelvoerstof en aan de andere zijde een afvoer, voorzien van een afsluiter. De spoelgoten zijn gemaakt van kunststof of rvs. De helling van de schuine wanden is 60°. Feces en urine glijden/stromen door de zwaartekracht naar de mestgoot. De mestgoot wordt in principe een keer per dag gespoeld met de dunne fractie die na mechanische scheiding wordt verkregen. Omdat de goten onderin erg smal zijn is er maar een geringe hoeveelheid spoelvoerstof en een beperkte pompcapaciteit nodig om een goot te reinigen. Spoelen met water is ook mogelijk, dit zal mogelijk een grotere reductie geven in ammoniakemissies echter het volume mest wordt daarmee vergroot. Bij de beoordeling is uitgegaan van spoelen met een dunne fractie die na mechanische scheiding wordt verkregen. Na het spoelen blijft nog een beperkte hoeveelheid spoelvoerstof in de goten achter. De mest en de spoelvoerstof komen terecht in een afgesloten opslagruimte of in een scheidingssysteem die dunne en dikke fractie scheidt. Het is belangrijk om deze mest of fracties onder gecontroleerde omstandigheden op te slaan (emissiearm) of aanvullende maatregelen zoals aanzuren, koelen etc. te nemen om emissies te voorkomen of om de mest/fracties te verwaarden.

Aanvullende vloermaatregelen zijn nodig om ook de ammoniakemissie vanaf de vloeren te kunnen reduceren.

3.4.2 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

Het spoelgotensysteem is nog niet ontwikkeld voor de vleeskalverhouderij. In de varkenshouderij is hiermee ervaring opgedaan. In de sectoranalyse voor de varkenshouderij (Aarnink & Vermeij, 2023) is voor een spoelgotensysteem bij vleesvarkens een reductie in emissies van 74% ammoniak, 50% geur en 80% methaan opgenomen op basis van een voorlopige emissiefactor, en uitgaande van een optimaal werkend systeem. Aarnink en Vermeij (2023) melden dat een piek in de geuremissie tijdens spoelen met dunne mestfractie een probleem kan zijn. Daarom verwachten we een reductie in de gemiddelde geur emissie, echter de beleving van overlast aan geur kan wel toenemen vanwege de piek in geur tijdens het spoelen. Afhankelijk van de hoeveelheid lucht die tijdens het spoelen in de mest komt, kan er enige emissie van lachgas ontstaan (ibid.). Op basis van de aanname dat de ammoniakale stalemissies voor vleesvarkens verdeeld zijn als 20% vloer en 80% kelder, is de reductie omgerekend naar blankvleeskalveren en rosé vleeskalveren, waarbij een ondergrens is aangegeven mocht het systeem minder goed werken in de kalverhouderij.

Voor vleeskalveren zijn voor de inschatting van de ammoniakemissies de verhoudingen tussen vloer en kelderemissies aangehouden: blankvleeskalveren 30 à 40% vloer en 60-70% mestkelder; rosé vleeskalveren 50% vloer en 50% mestkelder.

De verwachte methaanemissie reductie uit mest is fors (60-80%), uitgaande van de berekende mest en enterische methaanemissies (Van Bruggen et al., 2020) is de maximale theoretische reductie van de emissies uit de stal (mest plus enterisch) 12-20%. Zie kritische opmerking over de verhouding tussen enterisch- en mest methaan hierboven (op basis van Meijer et al., 2022).

Tabel 28 Emissiereductie (%) - dagontmesting d.m.v. spoelgoten.

	Blankvleeskalveren	Rosévleeskalveren
Ammoniakemissie	20-60%	20-45%
Methaanemissie*	60-80%	60-80%
Geur**	30-50%	30-50%

* Deze inschatting is alleen voor methaan uit mest, enterisch methaan is hierbuiten gehouden. Uitgegaan wordt van emissiearme opslag of verdere verwerking buiten de stal.

** Op basis van resultaten uit de vleesvarkenshouderij (Aarnink & Vermeij 2023), onbekend is of er voor de kalversector een vergelijkbare reductie te verwachten is.

Kosten

Met uitzondering voor de kosten van opslag is voor de vleeskalverhouderij een volledige extrapolatie gedaan vanuit de vleesvarkenshouderij. De kosten voor de bouwkundige installaties zijn geraamd op basis van de taxatie van het (her)bouwen van agrarische gebouwen (Taxatieboekje 2024). Hierbij is rekening gehouden met de totale investering van een vleesvarkenshok (€ 1.190) met afmeting van 4,4 (L) x 3 (B) meter (13,2 m²) voor circa 16 vleesvarkens, wat neerkomt op een investering van € 90 /m². Hierbij wordt echter uitgegaan van 50% roostervloer en niet van volledig roostervloer zoals in een kalverhok. De initiële investeringskosten bij vleeskalveren zijn daarom ongeveer twee keer zo hoog. Bij de investering zijn opgenomen: spoelgoten, pompen en leidingwerk en mechanische mestscheiding. Daarnaast kosten voor mestopslag buiten de stal voor dikke en dunne fractie. Bij langdurige opslag zal een dergelijke opslag op een emissiearme manier moeten plaatsvinden, maar de kosten hiervoor zijn nog niet geraamd. Vaste jaarkosten van de investering (11%) zijn bepaald op basis van 2,25% rente en een afschrijvingstermijn van 15 jaar (6,7%) en lage onderhoudsgraad (2%). De energiekosten voor deze maatregel zijn geschat op basis van (€ 0,30 /kWh, KWIN 2024-2025) ramingen uit de vleesvarkenshouderij (2024) en eenmaal per dag spoelen gedurende één uur.

Tabel 29 Kosten (€ excl. BTW) - dagontmesting d.m.v. spoelgoten.

	Blankvleeskalveren			Rosévleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Spoelgoten installatie (€/m² roostervloer vleesvarkenshok – 100% rooster)	180	20	< 1	180	20	< 1
m²/kalverplaats			2,0			
Subtotaal (€/kalverplaats)	360	39	2	360	39	2
Elektriciteitsverbruik*			17,11			30,76
Opslag (€/kalverplaats)	81,25	4,1	1,22	146,25	7,31	2,2
Totaal (€/kalverplaats)*	441	43	20	506	46	35

*De omrekeningsfactor is gebaseerd op de ratio resulterend uit de mestproductie van een blankvleeskalf (2,5 m³) en rosévleeskalf (4,5 m³) ten opzichte van een vleesvarken (1,4 m³ per gemiddeld aanwezig dier per jaar, KWIN 2024-2025)

Baten

De beschikbaarheid van een dikke en dunne fractie geeft de mogelijkheid om minder af te voeren tegen hoge kosten (€ 20/ton), door andere doeleinden te vinden zoals toepassing op (eigen) land en bouwland of centrale mestverwerker. Als mest dagelijks verwijderd wordt uit de stal dan kan bij vergisting de biogasopbrengst verhoogd worden.

De emissiereductie qua broeikasgassen kan een baat zijn als deze als CO₂ emissierecht kan gelden. Zie argumenten hierboven in Paragraaf 3.1.2 - CO₂ emissierechten.

TRL

TRL wordt ingeschaald op 4. De techniek werd al toegepast met een definitieve voorlopige emissiefactor in de zeugen- en vleesvarkenshouderij, maar is met de opkomst van de luchtwasser op de achtergrond geraakt. Inmiddels vindt hernieuwd onderzoek in de vleesvarkenshouderij plaats met een verbeterde uitvoering. Grootschalige toepassing in de vleesvarkenshouderij is nog niet aan de orde. Deze techniek zal specifiek voor de kalvesector ontwikkeld moeten worden.

Overige factoren

Tabel 30 Evaluatie overige factoren - dagontmesting d.m.v. spoelgoten.

Criterium	--0+ +*	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	-	Systeem kan aangebracht worden in bestaande mestputten, bij voorkeur in niet al te diepe mestkanalen.
Brandveiligheid/risico	-	Er komt enige techniek kijken bij deze bronmaatregel wat kan leiden tot verhoogde risico's op brand. Spoelgoten moeten kans op verspreiding van brand niet vergroten (materiaalkeuze).
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	-	Uitgaande van een werkend geautomatiseerd systeem. Robuust systeem, enige kans op storing pompen en verstopping.
Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	-	De geurpiek tijdens het spoelen is een groot probleem. Verder weinig hinder te verwachten voor de omgeving.
Ruimte binnen bouwblok	-	Opslag van mest is nodig buiten de stal in silo's.

* Zie Paragraaf 2.1.4.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 31 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) - dagontmesting d.m.v. spoelgoten.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	0 / +	Structureel lager maar tijdens spoelen wel verhoogde concentraties.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	- / +	Structureel lager. Afhankelijk van werking enige kans op lachgas.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Het frequent en volledig verwijderen van mest en urine vanonder de roostervloer naar een opslag buiten de stal heeft een gunstige uitwerking op de emissie van ammoniak en methaan en, afhankelijk van de stalventilatie, op de concentratie daarvan in de stallucht.

In hoeverre dit ook tot uitdrukking komt in minder irritatie en/of een betere gezondheid van de luchtwegen en ogen van de kalveren, is ook afhankelijk van ziektedruk, bezettingsgraad etc. (zie Hoofdstuk 2). Gelet op de predisponerende rol van ammoniak bij luchtweginfecties is minder kelder- en vloeremissie voor de gezondheid en het welzijn van kalveren echter zondermeer gunstig te noemen. Dat geldt eveneens voor de lagere concentraties van overige mestgassen. Dat de maatregel invloed heeft op de kans op tocht, op de staltemperatuur of op de relatieve luchtvochtigheid wordt niet voorzien.

3.5 Mestschuif onder de roostervloer met lage urease-activiteit vanwege urease-remmer of rubber-uitvoering

Principe: frequent en volledig verwijderen van feces en urine vanonder de roostervloer naar een opslag buiten de stal + (optie) urease-activiteit remmen.

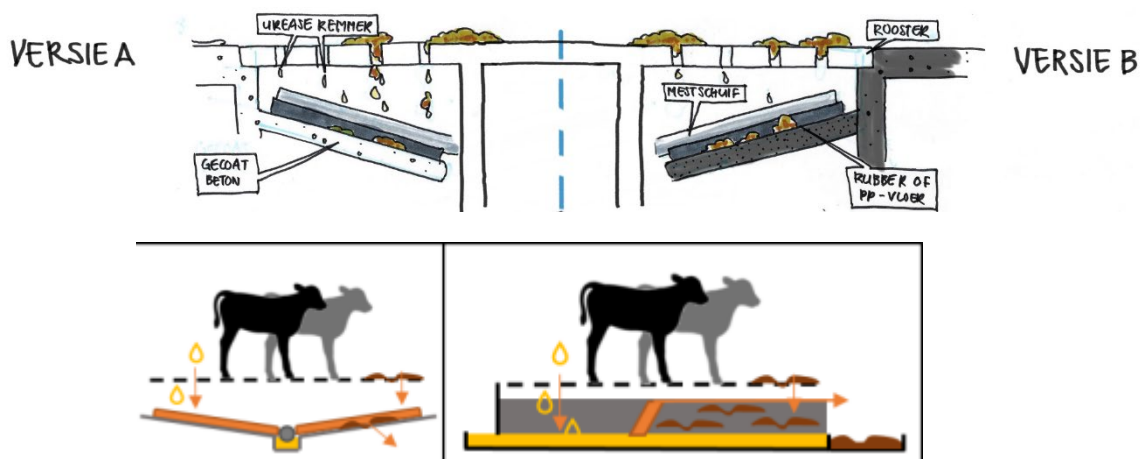
Frequent en volledig verwijderen van de mest als emissiebron is niet het 'wondermiddel' dat alle ammoniakemissie voorkomt, als de oppervlakken waarop de verse urine voortdurend terechtkomt een hoge urease-activiteit hebben. Intensief reinigen en het snel en volledig afvoeren van urine (ook de laatste restjes) naar een gecontroleerde ruimte (in combinatie met koelen, aanzuren, luchtwassen, verdunnen, etc.) is in het algemeen van groot belang om de ammoniakemissie te beperken. De urease-activiteit op de oppervlakken bepaalt echter hoe snel dat moet. Rubberachtige en polypropyleen-oppervlakken vertonen van zichzelf al een lage urease-activiteit (op het niveau van achtergrondwaarden, Puente-Rodríguez & Bos, 2019).

Gebruik van geëlektrolyseerd water (EOW: 'electrolyzed oxidized water') is een veelbelovende toepassing waarmee de urease-activiteit drastisch kan worden verlaagd. Door reiniging en desinfectie met EOW wordt de bio-film op oppervlakken verwijderd (Aarnink & Puente-Rodríguez, 2018). Op een (beton)vloer die frequent aan feces en urine wordt blootgesteld, neemt de urease-activiteit geleidelijk toe tot een bepaald maximumniveau (Elzing & Swierstra, 1993). Het (sterk) beperken van die urease-activiteit kan leiden tot een significante vermindering van ammoniakemissie. Onderzoek (Aarnink & Puente-Rodríguez, 2018) heeft aangetoond dat het met deze innovatie mogelijk is om de urease-activiteit tot bijna nul te reduceren en daarmee wordt de omzetting van ureum naar ammonium en ammoniak vertraagd. Dit ondanks frequente bevuilding van dit oppervlak met feces en urine. Daarnaast wordt EOW nadat het zijn werk heeft gedaan, ook relatief snel weer afgebroken tot onschadelijke componenten. Verschillende onderzoeken suggereren dat de toepassing van EOW relatief veilig is. EOW wordt bijvoorbeeld toegepast voor vermindering van microbiële besmetting op voedselbewerking oppervlakken, roestvrij staal, laboratorium glaswerk of medische en tandheelkundige voorzieningen (Sakurai et al., 2002; Al-Haq et al., 2012; Mukhopadhyay & Ramaswamy, 2012).

3.5.1 Systeembeschrijving

Onder de roostervloer is een ondiep mestkanaal aanwezig met een gladde, vlakke, licht hellende vloer van beton voorzien van een coating of beton met rubber/polyethyleen/polypropyleen welke door een mestschuif wordt gereinigd. Feces en urine vallen onder de roostervloer op een (Optie A) gladde, gecoate hellende betonvloer of een (Optie B) kelder waarin de betonvloer is voorzien van een toplaag van thermoplastisch rubber. Andere kunststoffen zoals polyethyleen of rubberachtige coatings en materialen kunnen, theoretisch, ook toegepast worden vanwege hun lage urease-activiteit (Kasper et al., 2010; Puente-Rodríguez & Bos, 2019). Uit onderzoek blijkt dat ook op andere typen rubber geen of nauwelijks een biofilm wordt gevormd, waardoor de urease-activiteit laag is. Experimenten hebben laten zien dat het type rubber dat gebruikt wordt bij de Eco-Vloer (merknaam) een vergelijkbare urease-activiteit liet zien als de Groene Vlag vloer (Puente-Rodríguez & Bos 2019, blz. 139-140). Of dit ook het geval is met andere rubber-materialen zou onderzocht moeten worden.

Mocht dat niet het geval zijn of bij een uitvoering van de mestkelder van beton, dan kan er water met een desinfecterend middel (urease-remmer) toegepast worden. Uit eerder onderzoek (Aarnink & Puente-Rodríguez, 2018; Puente-Rodríguez & Bos, 2019) is gebleken dat de urease-activiteit sterk kan worden gereduceerd met geëlektrolyseerd water. Uit voornoemd onderzoek blijkt dat EOW de urease-activiteit op de vloer gedurende minimaal 2 dagen na één enkele behandeling sterk kan reduceren. Verder kan EOW tegen relatief lage kosten op het bedrijf zelf worden gemaakt. Momenteel wordt dit systeem verder ontwikkeld binnen verschillende veehouderijsectoren.



Figuur 3 Visualisatie van het system. Bron, boven Puente-Rodríguez et al., 2021 en onder Van Boxmeer et al., 2023b.

De keldervloer ligt onder afschot ($> 3\%$) waardoor de urine continu wegloopt. De urine wordt in een afgesloten opslag opgeslagen. De mestschuif verwijdt de feces. Dit gebeurt dagelijks bijvoorbeeld elke 2 uur overdag en elke 4 uur 's nachts; experimenten en praktijkervaringen zullen dit nader kunnen specificeren. De dikke fractie moet ook in een afgesloten opslag opgeslagen worden.

Het emissiereductie effect wordt bereikt in de mestkelder. Om een hogere ammoniakemissiereductie te kunnen bereiken moet dit met vloermaatregelen gecombineerd worden.

In deze paragraaf worden de hierboven beschreven twee versies van het systeem getoetst.

3.5.2 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

Op de Rav-lijst was één systeem opgenomen (huidige Omgevingsregeling bijlage V HA3.1, alleen toepasbaar indien voor mei 2020 vergund) met schuiven onder de roosters met een voorlopige emissiefactor van 28%. Verbetering van dit systeem door aanpassing van de keldervloer, de vloerhelling en schuifuitvoering, gerichte materiaalkeuze eventueel met toepassing van EOW, moet mogelijk zijn. Uit onderzoek is gebleken dat een behandeling met EOW op een betonnen sleuenvloer op een melkveebedrijf na handmatige reiniging van de vloer met een borstel en een schraper de ammoniakemissie vanaf de vloer met 68,2% reduceert t.o.v. water dat als controle werd gebruikt (Puente-Rodríguez & Bos 2019, blz. 126; Aarnink & Puente-Rodríguez, 2018).

Voor vleeskalveren zijn voor de inschatting van de ammoniakemissies de verhoudingen tussen vloer en kelderemissies aangehouden: blankvleeskalveren 30 à 40% vloer en 60-70% mestkelder; roséveeskalveren 50% vloer en 50% mestkelder. Voor de reductie van methaan en geur zijn geen gegevens bekend echter deze zijn op basis van reducties van andere bronmaatregelen onder de roosters ingeschat. Bij deze eerste inschatting van de reductiepercentages valt het effect van EOW of verschillende vloeren binnen de ingeschatte marges. In Tabel 32 zijn de emissiereductie percentages voor zowel optie A als B opgenomen. Er is geen onderscheid gemaakt tussen beide opties aangezien de huidige kennis over deze systemen te weinig onderscheidend is om dit wel te doen.

De verwachte methaanemissiereductie uit mest in de stal is fors (80-100%). Als de berekende mest en enterische methaanemissies (Van Bruggen et al., 2020) gehanteerd worden, is de maximale theoretische reductie van de emissies uit de stal (mest + enterisch) 20-25%.

Als we uitgaan van de gemeten reducties in de proefstal Thelosen voor vleeskalveren (Meijer et al., 2022) dan worden deze en andere brongerichte maatregelen interessanter.

Tabel 32 Emissiereductie (%) - mestschuif onder de roostervloer.

	Blankvleeskalveren	Rosévvleeskalveren
Ammoniakemissie	20-60%	20-45%
Methaanemissie*	80-100%	80-100%
Geur	30-50%	30-50%

* Deze inschatting is alleen voor methaan uit mest, enterisch methaan is hierbuiten gehouden. Uitgegaan wordt van emissiearme opslag of verdere verwerking buiten de stal.

Kosten

Voor de hellende vloer onder de roosters is uitgegaan van de investeringskosten van een hellende roostervloer in combinatie met hellende schijnvloer onder de roostervloer (HA3.1; KWIN, 2024-2025). Er zijn verschillende leveranciers van mestschuiven en er zijn verschillende uitvoeringen hiervan. Dit kan van invloed zijn op de prijs/kwaliteit verhouding. De prijs van de mestschuif is verder afhankelijk van het ontwerp van de stal in relatie tot het aantal dieren dat per mestschuif geplaatst kan worden. In onderstaande tabel zijn zowel de kosten geraamd voor een mestschuif onder de roosters i.c.m. het plaatsen van een EOW-unit (Optie A) als met het toepassen van een rubbercoating (Optie B). Voor de mestschuif en de rubberapplicatie in euro/m² is een indicatieve extrapolatie gedaan op basis van toepassingen op roostervloeren naar toepassing in de mestkelder. Hierbij is uitgegaan van vaste jaarkosten van de investering (19,75%) die zijn bepaald op basis van 2,25% rente, een afschrijving van 8 jaar (12,5%) en hoge onderhoudsgraad (5%). Variabele kosten zijn gebaseerd op een looptijd/jaar van 1.000 uur bij een vermogen van 0,75 kW.

De jaarkosten van de EOW-unit worden bepaald door de aanschaf van zout, elektriciteit en de onderhoudskosten, geschat op 17,25%, op basis van 2,25% rente, een afschrijving van 10 jaar (10%) en hoge onderhoudsgraad (5%). Kosten zijn berekend op basis van offertes voor melkvee (dieraantallen) en omgerekend per kalverplaats op basis van m²/dier en dieraantallen van een standaardstal. Omdat de mest niet meer opgeslagen wordt onder de stal is als extra kostenpost mestopslag buiten de stal als optie meegenomen (Aarnink et al, 2023). Bij langdurige opslag zal dit op een emissiearme manier moeten plaatsvinden, maar de kosten hiervoor zijn nog niet geraamd.

Tabel 33 Kosten (€ excl. BTW) - mestschuif onder de roostervloer.

	Blankvleeskalveren			Rosé vleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Hellende keldervloer (€/kalverplaats)	270	39	3	260	38	3
Mestschuif (€/kalverplaats)	100	19,75	< 1	100	19,75	< 1
Opslag (x2) (€/kalverplaats)	162,5	8,2	2,44	292,5	14,63	4,4
<i>Subtotaal (€/kalverplaats)</i>	<i>532,5</i>	<i>66,95</i>	<i>6,44</i>	<i>652,5</i>	<i>72,38</i>	<i>8,4</i>
Optie A						
EOW Unit (€/kalverplaats)*	59	10	< 1	59	10	< 1
<i>Totaal Optie A (€/kalverplaats)</i>	<i>592</i>	<i>77</i>	<i>7,4</i>	<i>712</i>	<i>82</i>	<i>9</i>
Optie B						
Rubberapplicatie (€/kalverplaats)*	160	32	0	160	32	0
<i>Totaal Optie B (€/kalverplaats)</i>	<i>693</i>	<i>99</i>	<i>6,4</i>	<i>813</i>	<i>104</i>	<i>8,4</i>

* Voor de omrekening naar kalverplaats is als uitgangspunt 2,0 m²/dierplaats aangehouden t.o.v. 4,0 m² voor melkvee. De variabele jaarkosten houden rekening met het aantal dieren (voor blankvleeskalveren van een standaardstal van 800 dieren en voor rosé vleeskalveren 600), maar het verschil tussen rosé en blank is zo klein dat het in deze tabel niet zichtbaar is.

Baten

Dagelijkse verwijdering van feces en urine maakt het mogelijk mest vers te vergisten en daardoor in potentie een hogere biogasopbrengst te creëren. De beschikbaarheid van een dikke en dunne fractie geeft de mogelijkheid om minder af te voeren tegen hoge kosten (20 euro/ton), door andere doeleinden te vinden zoals toepassing op (eigen) land en bouwland of centrale mestverwerker.

De emissiereductie qua broeikasgassen kan een baat zijn als deze als CO₂ emissierecht kan gelden. Zie argumenten hierboven in Paragraaf 3.1.2.

TRL

Deze maatregel is ingeschaald op TRL 8. De techniek is op onderdelen al toegepast in de vleeskalverhouderij met een voorlopige emissiefactor, deze factor is niet definitief geworden vanwege te lage reducties. Dus verbetering van de techniek is nodig en er dient een emissiefactor verkregen te worden voordat deze bronmaatregel marktrijp is. Dergelijke systemen zijn onlangs in een aantal stallen geïnstalleerd.

Overige factoren

Tabel 34 Evaluatie overige factoren - mestschuif onder de roostervloer.

Criterium	--0++	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	-- / -	Systeem kan niet eenvoudig aangebracht worden in bestaande mestputten. Mits deze diep genoeg zijn. Nieuwbouw sluit wel het beste aan.
Brandveiligheid/risico	-	Er komt enige techniek kijken bij deze bronmaatregel wat kan leiden tot licht verhoogde kans op brand.
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	--	Uitgaande van een werkend geautomatiseerd systeem. Met EOW iets complexer dan de rubber uitvoering. Robuust systeem, enige kans op storing schuiven.
Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	0	Geen toename van hinder te verwachten voor de omgeving. Waarschijnlijk minder geur.
Ruimte binnen bouwblok	-	Opslag van mest is nodig buiten de stal in bijvoorbeeld mestsilos.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 35 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) - mestschuif onder de roostervloer.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	+	Structureel lager.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	+	Structureel lager.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Het frequent en volledig verwijderen van feces en urine vanonder de roostervloer naar een opslag buiten de stal, al dan niet in combinatie met een urease-remmer, heeft een gunstige uitwerking op de emissie van ammoniak en methaan en, afhankelijk van de stalventilatie, op de concentratie daarvan in de stallucht. In hoeverre dit ook tot uitdrukking komt in minder irritatie en/of een betere gezondheid van de luchtwegen en ogen van de kalveren, is ook afhankelijk van ziektedruk, bezettingsgraad etc. (zie Hoofdstuk 2). Gelet op de predisponerende rol van ammoniak bij luchtweginfecties is minder kelder- en vloeremissie voor de gezondheid en het welzijn van kalveren echter zondermeer gunstig te noemen. Dat geldt eveneens voor de lagere concentraties van overige mestgassen. Dat de maatregel invloed heeft op de kans op tocht, op de staltemperatuur of op de relatieve vochtigheid wordt niet voorzien.

3.6 Mest verdunnen met water

Principe: door drijfmest met water te verdunnen wordt de ammoniumconcentratie verlaagd waardoor de emissie van ammoniak wordt gereduceerd. Deze maatregel heeft geen effect op de methaanemissie.

Er zijn verschillende factoren die de ammoniakemissie beïnvloeden (Monteny & Erisman, 1998; Monteny et al., 1998; Snoek, 2016), zie ook Paragraaf 1.1.1. Een maatregel die ingezet kan worden om de ammoniakemissie te verlagen is het verdunnen met water van de drijfmest in de mestkelder of de urineplassen op de vloer (Van Dooren et al., 2022).

3.6.1 Systeembeschrijving

Het systeem is simpel, water wordt ingebracht in de mestkelders nadat deze zijn leeggemaakt. Dit kan met een slang, er zijn geen andere systemen nodig. Afhankelijk van de diepte van de kelder en het mestvolume kan het wel nodig zijn om na enige tijd meer water toe te voegen. Voor zo ver mogelijk wordt regenwater voor deze toepassing gebruikt.

Door water aan de mest toe te voegen stijgt het mestvolume waardoor extra opslagcapaciteit of vaker afvoeren van de mest nodig kan zijn. Bij de beoordeling gaan we uit van een verdunning van ca. 1:1 water: mest (afgeleid uit Van Dooren et al., 2022, zie ook Bijlage 1 van de oude Rav-lijst nummer A1.2 h).

Het effect op de ammoniakemissie in de stal wordt groter als het water ook over de loop/ligvloer wordt gespoeld. Dan worden urineplassen op de roostervloer ook verdund en sneller afgevoerd. Daar wordt in de evaluatie echter nog niet vanuit gegaan. Verder moeten er aanvullende maatregelen worden geïntegreerd om ook de methaanemissie terug te dringen.

Hieronder wordt het systeem van drijfmest in de mestkelder verdunnen met water geëvalueerd.

3.6.2 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

Van Dooren et al. (2022) hebben onderzoek gedaan naar het verdunnen van mest door middel van dagelijks sproeien over de roosters (resultaat: ammoniakemissiereductie van 37-40%) of in één keer aanbrengen in een vrijwel lege kelder (resultaat: 7% ammoniakemissiereductie). De geringe reductie die in de melkveestal werd bereikt door verdunning met water in de mestkelder, kan deels worden verklaard doordat deze toepassing geen effect op de vloeremissie (bij melkvee verantwoordelijk voor ca. 60 à 70% van de ammoniakuitstoot) heeft en deels doordat onvoldoende menging is van verse urine met de waterbuffer en dus te weinig verdunning op het mestoppervlak. In onderstaande tabel zijn de ingeschatte emissiereducties weergegeven ervan uitgaande dat alleen verdunning in de put wordt toegepast. Mocht het water over de roosters gespreid kunnen worden dan wordt verwacht dat hogere emissiereducties haalbaar zijn. Voor de inschatting van de reducties bij verdunnen zijn de volgende verhoudingen tussen vloer en kelderemissies aangehouden: blankveeskalveren 30 à 40% vloer en 60-70% mestkelder; roséveeskalveren 50% vloer en 50% mestkelder.

Tabel 36 Emissiereductie (%) - mest verdunnen met water.

	Blankveeskalveren	Roséveeskalveren
Ammoniakemissie	5-40%	5-30%
Methaanemissie*	0%	0%
Geur	n.n.b.	n.n.b.

* Dit betreft een verwachting maar is nog niet onderzocht. N.n.b.: nog niet bekend.

Kosten

De kosten van deze maatregel komen deels overeen met de kosten zoals terug te vinden bij toepassen van ammoniakarme vloeistof, gezien daar ook werd aangegeven dat water kan worden gebruikt.

Tabel 37 Kosten (€ excl. BTW) - mest verdunnen met water.

	Blankvleeskalveren			Rosévleeskalveren		
Water aanvoeren (m ³ /kalverplaats)*	1,75			3,15		
	<i>Investering</i>	<i>Vaste jaarkosten investering</i>	<i>Variabele jaarkosten</i>	<i>Investering</i>	<i>Vaste jaarkosten investering</i>	<i>Variabele jaarkosten</i>
Mest afvoeren (€/m ³)**			20			20
Subtotaal, afvoerkosten extra mest (€/kalverplaats)			35			63
Opslag (€/kalverplaats)	81,25	4,1	1,2	146,25	7,3	2,2
Totaal (€/kalverplaats)	81	4,1	36	146	7,3	65

* Benodigde hoeveelheid aangevoerd water is bepaald op basis van de ratio 0,7:1 en de mestproductie van blankvleeskalveren (2,5m³/jaar) en rosévleeskalveren (4,5m³/jaar). De kosten voor water aanvoeren zijn niet berekend in verband met de mogelijkheid om (regen- en) bronwater te gebruiken.

** Bron: Stichting Mestverwerking Gelderland.

Waar vooral rekening mee moet worden gehouden is de toename in mestvolume door het toevoegen van water. Deze toename vereist meerkosten. Onder de post *mest afvoeren* is het poorttarief zoals bepaald door de Stichting Mestverwerking Gelderland opgenomen (Persbericht De Kalverhouder, 10 oktober 2022²⁹). Afzet op de vrije markt is uiteraard duurder.

Gezien de toename in mestvolume is bij bovengenoemde kosten het hebben van een extra opslag in de vorm van een mestsilo per kalverplaats meegenomen (op basis van Aarnink & Vermeij, 2023).

Baten

Het is een relatief goedkope maatregel ten aanzien van investeringskosten en nauwelijks vaste jaarkosten. Verdunnen heeft ook als voordeel dat er minder ammoniak vervluchtigt bij mestaanwending.

TRL

TRL wordt ingeschaald op 5. In de melkveehouderij worden experimenten uitgevoerd met deze techniek, echter is dit nog niet breed geïmplementeerd. Doorontwikkeling is nodig voor de kalversector voordat de maatregel verdunnen geïmplementeerd kan worden. Het is een simpele maatregel maar de effectiviteit in vleeskalverstallen is nog niet vastgesteld en die zorgen er ook voor dat doorontwikkeling door de markt niet snel opgepakt wordt. En om hogere reducties te behalen zal wellicht ook de vloer gespoeld moeten worden wat in de kalverstal minder makkelijk te implementeren is dan in een melkveestal.

²⁹ [Tarief SMG naar 20 euro per ton - DeKalverhouder.nl](#) (geraadpleegd mei 2024).

Overige factoren

Tabel 38 Evaluatie overige factoren - mest verdunnen met water.

Criterium	--0++	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	0 / +	Systeem kan aangebracht worden in bestaande mestputten. Mits deze diep genoeg zijn.
Brandveiligheid/risico	0	Nagenoeg geen uitbreiding van elektrische apparatuur noodzakelijk.
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	- / 0	Simpel principe, maar methaan blijft een issue. Volume mest wordt wel groter. Robuust systeem, weinig kans op verstoringen (pompen).
Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	-	Uitgaande van verdunning van minimaal 50% zal het aantal transportbewegingen voor afvoeren van deze verdunde drijfmest toenemen met 50% of meer.
Ruimte binnen bouwblok	--	Opslag van mest is nodig mogelijk ook buiten de stal in bijvoorbeeld mestsilo's. Ook opslag van regenwater gewenst.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 39 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) - mest verdunnen met water.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	+	Structureel lager.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	- / 0	Verschil in kans RV buiten de comfortzone afhankelijk van frequentie van spoelen en verblijfstijd.
Concentraties overige mestgassen	+	Structureel lager.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

3.7 Aanzuren van mest

Principe: verlagen van de zuurgraad van mest tot een pH < 6 remt de vorming van methaan en bindt ammoniak in de vorm van ammonium aan de vloeistof.

Bij een mestzuurgraad van pH < 6 worden relatief hoge reducties van de ammoniak- en methaanemissies uit mest bereikt (Petersen et al., 2012; 2014; Fangueiro et al., 2015; Habtewold et al., 2018; Im et al., 2021; Puente-Rodríguez et al., 2022). Ten aanzien van methaan worden methanogene micro-organismen geremd in hun activiteit door de lage zuurgraad. Daarnaast kan bij het toevoegen van een anorganisch zuur als zwavelzuur (H_2SO_4) of salpeterzuur (HNO_3) nog een tweede aspect meespelen, namelijk het veranderen van de redoxomstandigheden³⁰ in de mest. Dat betekent dat chemische afbraak van organische stof via sulfaat en nitraat kan plaatsvinden waarbij ook producten als waterstofsulfide en lachgas kunnen ontstaan. Petersen et al. (2012) vonden bij toevoeging van sulfaat een methaanemissiereductie vergelijkbaar met die van met zwavelzuur aangezuurde mest. Voor het effect van aanzuren op methanogene populaties zie de volgende referenties: Ottosen et al., 2009; Petersen et al., 2012; Habtewold et al., 2018; Chen et al., 2019; Ma et al., 2022. Bij aanzuren tot een pH < 6 wordt de populatie van methanogene micro-organismen negatief beïnvloed qua groei en activiteit (Ottosen et al., 2009; Petersen et al., 2012; Habtewold et al., 2018). Habtewold et al. (2018) meldden dat ook al bij beperkter aanzuren (pH 6,5) reductie van methanogenese optreedt. In het in Denemarken gecommmercialiseerde mest-aanzuursysteem (in de stal) op basis van zwavelzuur (zie hieronder) wordt een pH van 5,5 nagestreefd.

De zuurgraad beïnvloedt het evenwicht tussen ammonium en ammoniak. Ammonium (NH_4^+) is een geconjugeerd zuur van ammoniak (NH_3) dat ontstaat na afbraak van ureum. Ammonium is in evenwicht met ammonia (NH_3 vloeistof), zie Groenestein (2006) en Monteny (2000) voor de reactie. De vorming van NH_3 via het eerste vloeistof evenwicht is pH afhankelijk. Hoe zuurder de vloeistof hoe meer het evenwicht naar NH_4^+ gaat en hoe lager de concentratie NH_3 . Bij een pH < 5,5 is de ammoniakemissie uit de mest bijna nul (Bussink et al., 2012). Het betreft hier dus een puur chemisch proces (evenwicht). Ten aanzien van ammoniak worden ook de bacteriën die urease produceren en het enzym urease zelf beïnvloed door de zuurgraad (andere factoren zoals temperatuur, beschikbaar ureum etc. zijn uiteraard ook relevant). De optimale zuurgraad voor de vorming van urease is pH 7,4. Koeienmest is van nature basisch (pH 8 – 8,5). Bij een dergelijke zuurgraad zal ammoniak eerder vervluchtigen (Starmans & Bos in Puente-Rodríguez & Bos, 2019; blz.14).

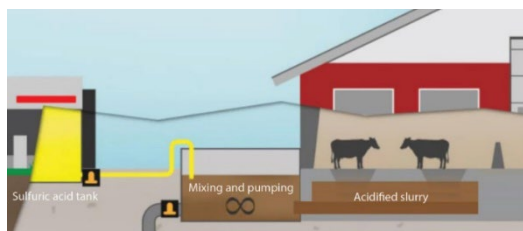
In het verleden ontstond er een discussie over het gebruik van zwavelzuur en de impact ervan op ecosystemen. Zwavelzuur is het goedkoopste zuurmiddel omdat het een afvalproduct is van het oliaffinaderijproces. Afgezien van de prijs kunnen verschillende anorganische (zwavelzuur, salpeterszuur, zoutzuur, etc.) en organische (melkzuur, citroenzuur, azijnzuur, etc.) zuren gebruikt worden om de gewenste zuurgraad te bereiken. In experimentele omstandigheden moet onderzocht worden of met het aanzuren met bijvoorbeeld organische zuren vergelijkbare resultaten bereikt kunnen worden. Het is ook mogelijk en interessant om bij mestmanagementsystemen die met scheidingstechnieken werken (denk aan de mestband bijvoorbeeld) de dunne fractie aan te zuren tot een pH van rond 5,5. Verwacht wordt dat er kleinere hoeveelheden zuur toegevoegd hoeven te worden vanwege de lagere buffercapaciteit van dunne fracties. Zie Puente-Rodríguez et al. (2022) over de kansen en aandachtspunten van het aanzuren van mest in Nederland.

3.7.1 Systeembeschrijving

In Denemarken is een aanzuursysteem voor mest commercieel beschikbaar voor de varkens- en de melkveehouderij. Dit is het systeem dat hier wordt geëvalueerd, er wordt zwavelzuur (H_2SO_4) gebruikt voor het aanzuren.

³⁰ Redoxreactie heeft te maken met de begrippen reductie en oxidatie.

Drijfmest wordt met zwavelzuur in een mixertank gemixt totdat de pH in de mest de beoogde waarde (< 6) bereikt. Deze mixertank staat buiten de stal vanwege de mogelijke vorming van toxische gassen tijdens het mixen (zoals H₂S). Het grootste deel van de aangezuurde mest wordt in een mestsilos buiten de stal opgeslagen. Een ander deel wordt vanuit de mixertank naar de mestkelder gepompt om de pH van de verse mest te verlagen en ammoniakemissie vanuit de mestkelder te voorkomen. De mest in de mestkelder moet regelmatig worden gemixt om de pH gelijkmatig over de hele kelder te verlagen. Het systeem is volledig geautomatiseerd. In Denemarken is dit systeem erkend (melkvee en varkens) als ammoniakemissiereductiemaatregel. Het is ook effectief om de methaanemissie te reduceren.



Figuur 4 Schematische weergave aanzuursysteem <https://jhagro.com>.

Er moeten vloer- en of/ managementmaatregelen worden toegepast om een hogere ammoniakemissiereductie in de stal te bereiken. Een optie kan zijn om het oppervlak van de vloer aan te zuren. Deze opties worden hier niet geëvalueerd.

Uitgangspunt bij deze maatregel is het aanzuren van mest met zwavelzuur in een mixertank net buiten de stal (à la JHAgro) omdat dit het meest gestandaardiseerde systeem is. Zover informatie vindbaar is, wordt ook ingegaan op de stand van zaken rondom het toepassen van alternatieven voor zwavelzuur.

3.7.2 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

Uitgaande van aanzuren van de mest in de mestkelder naar een pH < 5,5, kan de ammoniak- en methaanemissies uit de kelder nagenoeg naar 0 gebracht worden (Kasper et al., 2022). Of er ook een effect is op de geuremissies is niet bekend. Niet meegenomen is dat bij aanwenden ook emissiereductie te verwachten is.

De verwachte methaanemissiereductie uit mest is fors (70-90%) (Petersen et al., 2012; 2014; Sommer et al., 2017; Habtewold, 2018; Kasper et al., 2022), uitgaande van de berekende mest- en enterische methaanemissies (Van Bruggen et al., 2020) is de maximale theoretische reductie van de emissies uit de stal (mest plus enterisch) 14-23%. Zie eerdere gemaakte kritische opmerkingen over deze theoretische (enterisch/mest) verdeling.

Tabel 40 Emissiereductie (%) - aanzuren van mest.

	Blankveeskalveren	Roséveeskalveren
Ammoniakemissie	40-60%	30-50%
Methaanemissie*	70-90%	70-90%
Geur	n.n.b.	n.n.b.

* Deze inschatting is alleen voor methaan uit mest, enterisch methaan is hierbuiten gehouden. Uitgegaan wordt van emissiearme opslag of verdere verwerking buiten de stal.

N.n.b.: Nog niet bekend.

Kosten

De kosten voor aanzuren kunnen behoorlijk verschillen, afhankelijk van de wijze van gebruik: in de mestput of in opslag en korter of langer voor het toepassen. In Tabel 41 is gekozen voor inzicht in kosten van het JH Agro systeem, dat gebruik maakt van zwavelzuur. Hiervoor hebben we ook informatie uit economische analyses uit Denemarken gebruikt (Kai et al., 2022a; 2022b). Daarbij moet in acht worden genomen dat de prijs van zuur kan fluctueren, afhankelijk van vraag en aanbod op de markt en de kwaliteit (concentratie) van het zuur. Gollenbeek en zijn collega's (2021a; 2021b) schatten bijvoorbeeld de tonsprijs van zwavelzuur op € 0,30/kg (96% concentratie).

Tabel 41 Kosten (€ excl. BTW) – aanzuren van mest.

	Blankvleeskalveren			Rosévvleeskalveren		
	Investeringskosten	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investeringskosten	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Totaal (€/kalverplaats)*	305	37	33	400	49	59

* Investeringskosten zijn bepaald op basis van de kosten per varkensplaats van het JH Agro systeem, waarbij een minimale startinvestering van 1,7 miljoen Deense Kronen en 77 Deense Kronen per m² mestkelderoppervlak is aangehouden. Voor de omrekening naar kalverplaats is voor blankvleeskalveren van een standaardstal van 800 dieren en voor rosévvleeskalveren van 600 dieren uitgegaan. Vaste jaarkosten van de investering (12,25%) zijn bepaald op basis van 2,25% rente, en een afschrijving van 10 jaar (10%). De variabele kosten zijn op basis van 2,5 m³ mestproductie/jaar voor blankvleeskalveren en 4,5 m³/jaar voor rosévvleeskalveren voor elektriciteit en chemicaliën, hierbij zijn ook onderhoudskosten meegenomen. Van Deense Kronen naar Euro's is een wisselkoers (oktober 2024) van € 0,134 / 1 Deense Kroon aangehouden.

Baten

Door drijfmest aan te zuren met zwavelzuur, treedt er geen methaanverlies op uit de opgeslagen mest en is het mogelijk om bij vergisting een hogere biogasopbrengst te behalen. Wel moet gerealiseerd worden dat de gehaltes aan zwavel verhoogd zijn waardoor meer waterstofsulfide ontstaat. Daarnaast is de pH lager dat van verdere invloed kan zijn op het vergistingsproces. Mogelijk is bijsturing van het pH-niveau nodig.

De vermindering van de uitstoot van broeikasgassen kan een voordeel zijn als het wordt ingezet als CO₂ emissierecht. Zie argumenten hierboven in Paragraaf 3.1.2.

TRL

TRL wordt ingeschaald op 6 voor de kalversector in Nederland. De techniek is al toegepast in de varkenshouderij en melkveehouderij in Denemarken. In Denemarken is deze techniek nog niet breed geïmplementeerd maar betreft wel een formeel emissiearm systeem (dus in dit kader TRL 9). In Nederland is het een erkend emissiearm systeem in de varkenshouderij, maar wordt vanwege de inpasbaarheid, kostenverhouding en effectiviteit t.o.v. luchtwassers nauwelijks meer toegepast. Ontwikkeling van dit aanzuursysteem specifiek voor de kalversector is nodig, waarbij voortbordurend op de kennis en kunde vergaard in Denemarken snelle doorloop van TRL 5 naar TRL 8 mogelijk is. Voor een marktrijp product zal ook een formele emissiefactor vastgesteld moeten worden.

Overige factoren

Tabel 42 Evaluatie overige factoren – aanzuren van mest.

Criterium	--0++	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	-	Systeem kan aangebracht worden in bestaande mestputten. Mits deze diep genoeg en mixbaar zijn. De betonkwaliteit vraagt aandacht.
Brandveiligheid/risico	-	Werken met zuur.
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	-	Werken met chemicaliën, processturing vereist. Kansen op verstoringen.
Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	0	Verwacht wordt dat het aanzuursysteem geen hinder voor de omgeving zal veroorzaken. Wel zijn nieuwe elementen in het bouwblok nodig zoals een mixertank en mestopslagen.
Ruimte binnen bouwblok	--	Er is ruimte nodig voor een aanzuur installatie en mestopslagen.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 43 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) – aanzuren van mest.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	+	Structureel lager.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans op RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	-	De noodzaak om mest in de kelder vaker te mixen en rond te pompen met als doel om een homogene pH te bereiken, verhoogt de kans op het vrijkomen van toxische mestgassen.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Het aanzuren van mest heeft een gunstige uitwerking op de emissie van ammoniak en methaan en, afhankelijk van de stalventilatie, op de concentratie daarvan in de stallucht. Voor het overige zie voorgaande duidingen. Bij deze maatregel moet wel duidelijk zijn dat het mixen van zwavelzuur met mest buiten de stal plaatsvindt om te zorgen dat de dieren niet worden blootgesteld aan gevaarlijke gassen.

3.8 Luchtwasser

Principe: componenten uit de stallucht worden in de luchtwasser in de wasvloeistof afgevangen waardoor de emissie van ammoniak, geur en fijnstof naar de omgeving wordt beperkt.

Gebruik van een luchtwasser is geen bronmaatregel, maar een 'end of pipe' techniek. Ammoniak dat in de stal wordt gevormd (mestkelder en vloer) wordt met de stallucht, inclusief andere vervuulende componenten, alvorens de stal te verlaten langs een membraan/filter geleid. Dit kan pakkings- of vulmateriaal zijn van kunststof of organische oorsprong en wordt vochtig gehouden. Dit kan met alleen water gebeuren maar de meeste systemen doen het chemisch, biologisch of met een combinatie van chemisch en biologisch. Het vulmateriaal zorgt voor

oppervlaktevergroting waardoor de kans toeneemt dat een vervuulend molecuul/deeltje ingevangen en omgezet kan worden. Biologische luchtwassers maken gebruik van micro-organismen. Deze zetten bijvoorbeeld ammoniak om in nitraat en later stikstofgas. In een chemische luchtwasser wordt het filter/vulmateriaal met een aangezuurde (met zwavelzuur of salpeterzuur bijvoorbeeld) was-vloeistof bevochtigd, waardoor de ammoniakmoleculen in ammonium-vorm aan de wasvloeistof worden gebonden.

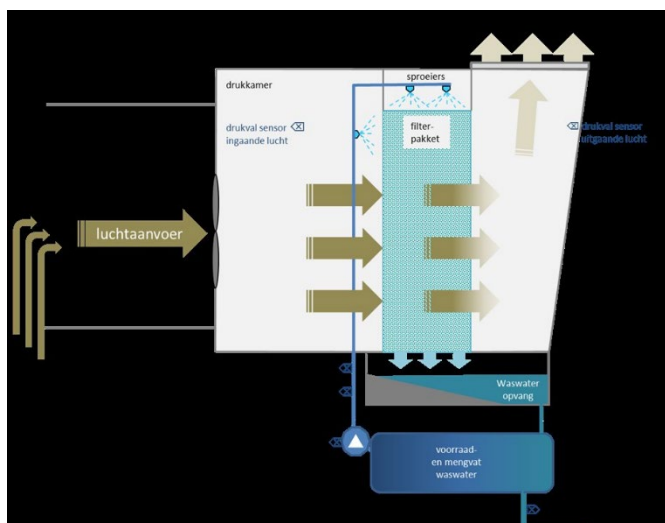
Zo worden verschillende componenten uit de stallucht zoals ammoniak, geur en fijnstof in de wasvloeistof afgevangen. De gezuiverde lucht wordt in de buitenlucht geloosd en er blijft spuiwater achter. Spuiwater uit een zure wasser is een ammoniumrijk product dat voor bemestingsdoeleinden geschikt is.

Tot dusver zijn luchtwassers en biofilters nog niet geschikt om de (lage) concentraties aan broeikasgassen uit de stallucht af te vangen. Aanvullende maatregelen zijn daarom nodig om ook de methaanemissie te kunnen reduceren.

3.8.1 Systeembeschrijving

Luchtwassers zijn erkend in het Besluit leefomgeving (zie ook Omgevingsregeling bijlage VI) met een specifiek ammoniakemissiereductiepercentage. Ook zijn voor de meeste van deze systemen specifieke geuremissiereductie- en fijnstofemissiereductiepercentages vastgelegd.

Bij gebruik van een luchtwasser is het noodzakelijk dat de stal 'dicht' is en mechanisch wordt geventileerd. De luchtwassers worden vaak gepositioneerd tegen de kopgevel van de stal of in het midden van de stal ruim boven de dierplaatsen. De uitgaande stallucht wordt door middel van ventilatoren door de wasser geblazen en daar behandeld via een chemisch, biologisch of een gecombineerd zuiveringsproces. De capaciteit van de luchtwasser is afgestemd op de ventilatiecapaciteit en -behoefte van de specifieke stal. Het membraan/vulmateriaal/filter wordt continu vochtig gehouden met een aangezuurde of biologische wasvloeistof. Dit proces wordt aangestuurd door een automatische regeling. Dit kan met een sproei- of overloopsysteem. De gereinigde lucht verlaat de luchtwasser naar de buitenlucht en het spuiwater wordt opgevangen.



Figuur 5 Visuele beschrijving van een luchtwasser www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/luchtwassers/ (geraadpleegd november 2023).

Biologische luchtwassers produceren meer spuiwater dan chemische luchtwassers. Het waterverbruik bij een biologische luchtwasser ligt tussen 490 en 1.260 liter per kg afgevangen ammoniak. Een deel van de wasvloeistof verdwijnt uit het systeem door verdamping. Deze luchtwassers produceren tussen 180 tot 720 liter spuiwater per kg afgevangen ammoniak³¹. Het spuiwater bevat stikstof (nitraat, nitriet en ammonium), biomassa en stofdeeltjes en wordt gebruikt als meststof. Bij chemische luchtwassers is het waterverbruik rond 200 liter per kg afgevangen ammoniak en de hoeveelheid spuiwater rond 30 liter. Bij chemische luchtwassers wordt de ammoniak gebonden als ammoniumsulfaat door toevoeging van zwavelzuur aan de wasvloeistof. Dit spuiwater bevat dus vooral ammoniumsulfaat en nog een restant zwavelzuur. Dit spuiwater is een afvalwaterstroom die als meststof gebruikt mag worden³².

Luchtwassers zijn ontworpen om de geur-, fijnstof- en ammoniakemissies te reduceren. Aanvullende maatregelen moeten worden toegepast om ook de methaanemissie te kunnen reduceren. Dit kan bijvoorbeeld met biofilters worden gedaan. De stallucht wordt dan door een pakket geleid met een organische component of door de bodem (bodemfilter). Micro-organismen in het filterpakket of bodem kunnen dan het methaan oxideren naar CO₂. Reductiepercentages die behaald kunnen worden zijn nog niet bekend. Zie Maasdam et al. (2024) voor recent onderzoek naar deze systemen.

Hieronder worden chemische, biologische en gecombineerde luchtwassers geëvalueerd.

3.8.2 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

Emissiefactoren voor ammoniak en geur van chemische, biologische en combi luchtwassers zijn al opgenomen in de Bijlage VI van de Omgevingsregeling. Of de luchtwassers een effect hebben op methaanemissies is niet bekend. Luchtwassers zijn effectief om ammoniakemissies te reduceren en daarmee ook ruimte voor bedrijfsontwikkeling te genereren.

Tabel 44 Emissiereductie (%) – luchtwassers.

	Blankvleeskalveren	Rosévvleeskalveren
Ammoniakemissie	70-95%	70-95%
Methaanemissie	n.n.b. – 0%	n.n.b. – 0%
Geur	30-45%	30-45%

N.n.b.: Nog niet bekend³³.

Nabehandeling van de uitgaande lucht uit de luchtwassers in bijvoorbeeld een biofilter kan de methaanemissie reduceren. Echter zijn deze technieken nog niet ontwikkeld voor de kalverhouderij of veehouderij in het algemeen. Anders dan bij bronmaatregelen wordt bij dergelijke end of pipe oplossingen ook theoretisch het enterische deel van de methaanemissie gereduceerd.

Kosten

Wageningen Livestock Research houdt op basis van feedback vanuit offertes in een rekentool bij wat de actuele kosten zijn voor deze systemen. Deze gegevens zijn in onderstaande tabel verwerkt.

³¹ Afvoer spuiwater - Kenniscentrum InfoMil (geraadpleegd december 2023).

³² Chemische wasstap - Kenniscentrum InfoMil (geraadpleegd december 2023).

³³ De huidige luchtwassers zijn ontwikkeld voor het reduceren van de ammoniakemissie. Of deze ook een effect op de methaanemissie hebben valt moeilijk te beoordelen.

Tabel 45 Kosten, €/kalverplaats (excl. BTW) – luchtwassers.

	Blankvleeskalveren			Rosévvleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Chemische luchtwasser	175	23	35	220	28	43
Biologische luchtwasser	194	31	27	244	39	31
Combi luchtwasser	220	34	30	290	46	35

De bovenvermelde prijzen zijn inclusief bouw, opslag, aanleg ventilatie en zuur-, water- en energieverbruik. Als er geen ruimte op het bedrijf is voor het gebruik van spuiwater als kunstmest, dan moet alle spuiwater afgevoerd worden wat kosten met zich mee brengt. Aandachtspunt is dat de prijs van zuur kan fluctueren.

Baten

Het gebruik van een luchtwasser leidt tot het verkrijgen van spuiwater dat als kunstmestvervanger kan worden ingezet. Bij eigen grond, kan daarmee aanschaf van kunstmest (€ 0-5/ton) vermeden worden. Echter zoals eerder vermeld moet op het bedrijf hiervoor ruimte zijn.

TRL

Het TRL voor luchtwassers is 9 voor de kalversector in Nederland. De techniek wordt toegepast in de kalversector en reducties zijn afhankelijk van de gekozen soort en uitvoering van de luchtwasser. Voor een nageschakelde techniek voor methaan reductie is de TRL nog 4, er zijn een aantal concepten (vooral in de vorm van biofilters) die nog doorontwikkeld moeten worden.

Overige factoren

Tabel 46 Evaluatie overige factoren – luchtwassers.

Criterium	--0++	Uitleg
Inpasbaarheid in bestaande stallen	0 / +	Systeem kan aangebracht worden in bestaande stallen. Wel dient de stal mechanisch geventileerd te worden.
Brandveiligheid/risico	-	Beperkte uitbreiding van het aantal elektrische apparaten. Een centrale luchtafvoer kan ³⁴ bij brand zorgen voor snellere verspreiding (Van Boxmeer et al., 2023a).
Arbeid, onderhoudsgevoeligheid en verstoring bedrijfsvoering	-	Geautomatiseerde systemen, stalklimaat verbetert zeer waarschijnlijk niet. Chemische luchtwassers zijn robuuste systemen, weinig kans op verstoringen. Biologische luchtwassers hebben een grotere risico op verstoring. Biologische luchtwassers kunnen slechter presteren in 'All-in All-out' managementsystemen, omdat de micro-organismen op het filterpakket alleen kunnen overleven met een voldoende aanbod van ammoniak ³⁵ .
Omwonenden hinder (landschappelijke inpasbaarheid, transport, geluid, licht, geur, etc.)	0	Geen verhoging van de hinder voor de omgeving.
Ruimte binnen bouwblok	0	Beperkte ruimte voor de luchtwasser en opslag voor zuur en spuiwater is nodig.

³⁴ Van Boxmeer en haar collega's (2023a) melden dat het materiaal van luchtkanaal bij branden de snelheid van verspreiding kan bepalen. Bij brand bestaat ook het risico dat het ventilatiesysteem uitvalt, waardoor er geen luchtverversing meer is en de dieren door verstikking kunnen omkomen (ibid.).

³⁵ [Controle van chemische en biologische luchtwassers | Informatiepunt Leefomgeving](#) (geraadpleegd januari 2025).

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 47 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) – luchtwassers.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	- / 0	Geen verschil, alleen uitgaande lucht wordt gereinigd. Soms een achteruitgang als er geknepen wordt op de investerings- en gebruikskosten van de luchtwasser door minder te ventileren.
Tocht	0 / +	Minder kans op tocht vanwege een stabiele mechanische ventilatie en grote luchtweerstand over het ventilatiesysteem. Bij blankvleeskalveren is mechanisch ventilatie wel standaard en bij nieuwe stallen zien we een trend om aandacht te besteden aan de ingaande lucht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans op RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	0	Geen verschil, alleen uitgaande lucht wordt gereinigd.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Omdat een luchtwasser uitsluitend de concentraties aan vervuilende gassen in de uitgaande stallucht reduceert, zijn er geen effecten te verwachten op de kwaliteit van de lucht in de stal en het binnenklimaat ten opzichte van een gangbare vleeskalverstal. De dieren worden dus blootgesteld aan ammoniak en andere gassen.

3.9 Aanvullende vloermaatregelen

De hierboven getoetste maatregelen kunnen gecombineerd worden met vloermaatregelen om de ammoniakemissie verder te reduceren. Deze vloermaatregelen hebben in principe geen effect op de methaanemissie. Zoals eerder vermeld, de vloer is een belangrijke bron van ammoniakemissie. Als de huidige hokindeling en/of doorlaatbaarheid (openheid) van roostervloeren in vleeskalverstallen wordt gehandhaafd, dan zijn er een paar aanpassingen mogelijk waarmee in theorie de ammoniakemissie nog verder omlaag kan worden gebracht: (1) houten of betonnen roostervloeren worden voorzien van een toplaag van indrukbare bolle rubber (Paragraaf 3.9.1), of (2) worden vervangen door een hoog doorlatende gecoate metalen vloer (Paragraaf 3.9.2).

Er zijn verder uiteraard andere mogelijkheden zoals het gebruik van een mestverwijderingssysteem die ook gecombineerd kan worden met het sproeien van water of/en een urease remmer – zie Paragraaf 3.5. Deze optie zal echter ook eisen stellen aan de stal- en hokinrichting. Tenslotte kan met toepassing van dichte vloeren de emissie vanuit de mestkelder worden voorkomen. Dichte vloeren bieden enerzijds meer mogelijkheden om met een andere stalinrichting tegemoet te komen aan de behoefte van kalveren om op verschillende plekken verschillend gedrag uit te vertonen (functiegebieden), maar bieden anderzijds wat betreft hygiëne grote uitdagingen. In Paragraaf 3.9.3 worden de pro's en contra's van dichte vloeren puntsgewijs samengevat.

3.9.1 Rubberen (indrukbare) bolle toplaag

Principe: de roostervloer is voorzien van een rubberachtige, niet-poreuze toplaag met een lagere urease-activiteit. Deze toplaag heeft een bollige vorm waardoor feces en urine zo snel en volledig mogelijk naar de kelder worden afgevoerd en daarmee de vloeremissie wordt beperkt.

Systeembeschrijving

De bestaande houten of betonnen balken van de roostervloeren worden voorzien van een rubberen bolle toplaag die de afvoer van feces en urine naar de kelder faciliteert/versnelt. Deze producten zijn al commercieel verkrijgbaar. Zoals eerder vermeld vertonen niet poreuze materialen een lage urease-activiteit. Uit onderzoek blijkt dat de urease-activiteit op de toplaag (thermoplastisch elastomeer materiaal) van de Groene Vlag-vloer³⁶ 90% lager kan zijn dan die van traditionele betonroostervloeren in melkveestallen (Kasper et al., 2010) en kunnen zelfs achtergrondniveaus bereiken bij het schoonmaken met water (Puentes-Rodríguez & Bos, 2019). Ook andere rubberachtige materialen (maar mogelijk niet allemaal) kunnen leiden tot een lage urease-activiteit en bieden kansen voor het coaten/afdekken van huidige roostervloeren.



In deze paragraaf wordt niet ingegaan op de kleppen systemen die soms worden gecombineerd met deze rubberen bolle elementen om de spleten van roostervloeren af te dichten. De kleppen kunnen open en dicht gaan door het gewicht van mest. Ze laten, in principe, feces en urine door naar de mestkelder en sluiten daarna weer af om de luchtuitwisseling tussen de kelder en de stallucht te beperken. Het principe is interessant maar de uitvoering is problematisch. In de praktijk verliezen ze hun veerkracht waardoor ze open blijven staan of verstopt raken met mest. Dit kan negatief uitpakken voor emissies en de reinheid van dieren, daarom worden deze kleppensystemen hier niet verder geëvalueerd. Wel de rubberen bolle toplaag.

Vanuit het dierperspectief is deze rubberen, bolle toplaag relatief zacht en indrukbaar.

³⁶ Ontwikkeld door Irish Custom Extruders Ltd en in Nederland verkrijgbaar.

3.9.1.1 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

Uit de studie naar het effect van vloertype op de ammoniakemissie in de vleeskalverhouderij van Heeres et al. (2017) blijkt dat de te verwachten emissiereducties van rubberen vloeren tegenvallen, uitgegaan wordt van een niet vast te stellen effect (dus een effect kleiner dan de meetfout). Er zijn andere recentere onderzoeken die onderschrijven dat het toepassen van alleen rubberen toplagen in de vleeskalverhouderij geen significante verbetering laat zien op de ammoniakemissie (Mosquera et al., 2022). Dit zou erop kunnen wijzen dat verdere maatregelen geïntegreerd moeten worden om de ammoniakemissie van de vloer te kunnen reduceren (bijvoorbeeld water sproeien of andere mestverwijderingstechnieken). Verwacht wordt dat deze vloermaatregelen geen effect hebben op de methaanemissie. Het effect op geuremissies is niet bekend maar ingeschat wordt dat dit verwaarloosbaar is.

Tabel 48 Emissiereductie (%) - rubberen (indrukbare) bolle toplaag.

	Blankvleeskalveren	Rosévleeskalveren
Ammoniakemissie	-5 / 5%	-5 / 5%
Methaanemissie	0%	0%
Geur	n.n.b.	n.n.b.

N.n.b.: nog niet bekend.

Kosten

De toepassing van rubber toplagen wordt aangeboden door verschillende merken en in verschillende uitvoeringen. Dit kan van invloed zijn op de prijs/kwaliteit verhouding. Commerciële toepassingen en uitvoeringen van dergelijke vloeren zijn op de markt beschikbaar.

Tabel 49 Kosten (€ incl. BTW) - rubberen (indrukbare) bolle toplaag.

	Blank/Rosévleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Bollen rubberen toplaag-uitvoering (€/kalverplaats)	203	40	0

In bovenstaande tabel is gebruik gemaakt van de kosten die worden beschreven in het rapport PAS Aanvullende reservemaatregelen Landbouw (Groenestein et al., 2017), met 3% per jaar geïndexeerd. Vaste jaarkosten van de investering (19,75%) zijn bepaald op basis van 2,25% rente, een afschrijving van 8 jaar (12,5%) en hoge onderhoudsgraad (5%).

TRL

TRL voor rubberen vloeren is 9 voor de kalversector in Nederland. Dergelijke vloeren zijn te verkrijgen op de markt. Mogelijk dat verdere ontwikkeling kan leiden tot een meetbaar effect op de ammoniakemissies. Toepassing van dergelijke rubberen vloeren moet vooral gezocht worden in het verhogen van dierenwelzijn.

Overige factoren

De impact van deze rubberen vloeren op de overige factoren is minimaal.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 50 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) - rubberen (indrukbare) bolle toplaag.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	0	Geen/verwaarloosbaar verschil.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans op RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	0	Geen verschil, kelderemissie ongewijzigd.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Dierenwelzijn en -gezondheid in relatie tot verandering in de hokvloer

Tabel 51 Evaluatie dierenwelzijn en -gezondheid i.r.t. verandering in de hokvloer - rubberen (indrukbare) bolle toplaag.

Criterium	Score	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Gedrag	0 / +	Minder kans op uitglijden en vallen. Bij gelijke ruimte per dier geen effect op spelgedrag.
Bevuiling	- / 0	Bij rosé afhankelijk van vloertype en groeistadium.
Klinische gezondheid	+	Minder kans op dikke knieën aan het einde van de mestperiode.
Pathologie	0 / +	Geen effect op luchtwegaandoeningen, minder kans op afwijkende carpaal gewrichten.

De indrukbare rubberen toplaag biedt de kalveren meer grip waardoor ze minder uitglijden en vallen. Spelgedrag wordt echter vooral bepaald door de ruimte per dier, waardoor bij een gelijkblijvend oppervlak per dier hierop geen effect wordt verwacht. Onderzoek van Heeres et al. (2017) wijst uit dat de bevuiling bij vleeskalveren als gevolg van een rubberen toplaag toenam, vooral bij blankvleeskalveren. Een zachtere, indrukbare vloer verkleint de kans op dikke knieën aan het eind van de mestperiode, post-mortem tevens waarneembaar als een kleinere kans op afwijkingen in het carpaal gewricht.

3.9.2 Doorlatende gecoate metalen vloer

Principe: groot ($\approx 50\%$) doorlatend oppervlak in combinatie met het gebruik van materialen die de afvoer van urine en feces naar de mestkelder versnellen en die niet poreus zijn, waardoor de ammoniakemissie vanaf de vloer wordt beperkt.

Systeembeschrijving

Voor de varkenshouderij zijn verschillende vloeren ontwikkeld met een grotere doorlaat dan reguliere roostervloeren (zie bv. Nooyen pig flooring systemen, [Home | Nooyen Pig Flooring](#)). Bij blankvleeskalveren zijn al eerste verkenningen gedaan met dergelijke vloeren (Monteny & Van Hoof, 2020; Meijer et al., 2022; Heeres et al. 2017). In de vleeskalverstal moeten dan de huidige houten of betonroostervloeren worden vervangen door roosters van gecoat sterk metaal. Deze roostervloeren zijn voor 50% doorlatend. Zoals bij de rubberachtige materialen is de oppervlaktestructuur van de coatings en polymeren dicht (niet poreus) en zal de urease-activiteit daardoor laag zijn. De roosters zijn water(dicht)afstotend en voorzien van openingen waardoor de urine en feces snel naar de mestkelder getransporteerd kunnen worden. Ze zijn voorzien van een driehoekvormig profiel en bolle bovenzijde waardoor ze gemakkelijk droog zullen blijven. Deze vloeren kunnen tussen de mestrondes gemakkelijk gereinigd worden.



3.9.2.1 Evaluatie

Reductiepercentage emissies

De doorlaat van dergelijke vloeren is groter waardoor ammoniakemissies vanaf de vloer theoretisch af zullen nemen vanwege het sneller/ directe afvoeren van urine. Echter de uitwisseling van ammoniakrijke lucht uit de kelder kan ook groter zijn wat ammoniakemissie verhogend kan werken. Mogelijk werkt deze maatregel het beste in combinatie met een keldermaatregel zodat de doorlaat niet leidt tot grotere uitwisseling naar de stallucht. Er wordt geen vloereffect verwacht op de methaanemissies. Voor dergelijke vloeren is in de sectoranalyse (Gollenbeek et al., 2023) een beperkte ammoniakemissie toebedeeld, onderzoek moet uitwijzen of dit juist is. Onduidelijk is het effect op geur. De doorlaat wordt groter waardoor geuremissies vanuit de mestkelder kunnen verhogen.

Tabel 52 Emissiereductie (%) - gecoate metalen vloer.

	Blankvleeskalveren	Rosévvleeskalveren
Ammoniakemissie	0-10%	0-10%
Methaanemissie	0%	0%
Geur	N.n.b.	N.n.b.

N.n.b.: Nog niet bekend.

Kosten

De hierboven beschreven fabrikant brengt gecoate metalen vloeren onder de naam *Blue* of *Orange* op de markt en de kosten zijn op basis van een offerte (2020) in onderstaande tabel verwerkt, met 3% per jaar geïndexeerd. Vaste jaarkosten van de investering (19,75%) zijn bepaald op basis van 2,25% rente, een afschrijving van 8 jaar (12,5%) en hoge onderhoudsgraad (5%).

Tabel 53 Kosten (€ excl. BTW) - gecoate metalen vloer.

	Blank/Rosékalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Gecoate metalen vloer (€/kalverplaats)	185	37	0

Gecoate vloeren komen in verschillende vormen en maten en toepassingen en voorkeuren voor. Op offertebasis kunnen deze afwijken van bovenstaande indicatie.

TRL

TRL voor gecoate metalen vloeren is 6 voor de kalversector in Nederland. Dergelijke vloeren zijn toegepast in de varkenshouderij en zijn beperkt getest in de kalverhouderij. Verdere ontwikkeling voor de kalverhouderij is nodig.

Overige factoren

De impact van deze vloeren op de overige factoren is minimaal.

Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 54 Evaluatie van veranderingen in kwaliteit stallucht (i.r.t. dierenwelzijn en -gezondheid) - gecoate metalen vloer.

Criterium	Score*	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Ammoniakconcentratie	0	Verwaarloosbaar verschil qua emissiereductie.
Tocht	0	Geen verschil in kans op tocht.
Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	0	Geen verschil in kans op T buiten de comfortzone.
Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	0	Geen verschil in kans op RV buiten de comfortzone.
Concentraties overige mestgassen	0	Geen verschil, kelderemissie ongewijzigd.

* Zie Tabel 11 (Paragraaf 2.2.4.6).

Minder emissie van ammoniak vanaf de vloer heeft een gunstige, zij het beperkte uitwerking op de kwaliteit van de stallucht, afhankelijk van de stalventilatie. Door de geschatte 0-10 % reductie is het echter lastig om in te schatten wat het effect op de luchtkwaliteit voor de dieren kan zijn. Voor het overige zie voorgaande duidingen.

Dierenwelzijn en -gezondheid in relatie tot verandering in de hokvloer

Tabel 55 Evaluatie dierenwelzijn en -gezondheid i.r.t. verandering in de hokvloer - gecoate metalen vloer.

Criterium	Score	Inschatting ten opzichte van referentiestal
Gedrag	0 / +	Afhankelijk van de uitvoering, minder kans op uitglijden en vallen. Bij gelijke ruimte per dier geen effect op spelgedrag.
Bevuiling	+	Groot ($\approx 50\%$) doorlatend oppervlak.
Klinische gezondheid	0	Afhankelijk van de uitvoering.
Pathologie	0 / +	Geen effect op luchtwegaandoeningen, minder kans op afwijkende carpaal gewrichten. Afhankelijk van de uitvoering minder kans op beschadigde staarten.

Afhankelijk van de uitvoering biedt deze vloer de kalveren meer grip waardoor ze minder uitglijden en vallen. Spelgedrag wordt vooral bepaald door de ruimte per dier, waardoor bij een gelijkblijvend oppervlak per dier hierop geen effect wordt verwacht. Afhankelijk van de mestdoorlaat en het drogend vermogen van de vloer zijn er geen tot gunstige effecten te verwachten op de bevuiling van de kalveren, de kans op dikke knieën en afwijkingen in het carpaal gewricht, en beschadigde staarten.

3.9.3 Perspectief dichte vloeren - discussie

Roostervloeren zorgen voor een snelle afvoer van feces en urine naar de mestkelder en maken het mogelijk dat een beperkt oppervlak voor een mix aan functies gebruikt kan worden zonder substantiële bevuiling van de dieren. Mest verdwijnt wel van het loop- en vloeroppervlak maar zowel vanaf de vloer als uit de kelder ontstaat ammoniak. In andere veehouderijsectoren wordt omwille van dierenwelzijn en milieu met de zogenoemde (gedeeltelijk) dichte vloeren geëxperimenteerd. Dichte vloeren laten uiteraard minder (snel) feces en urine door dan roostervloeren en daarom zijn mestverwijderingstechnieken essentieel bij deze vloersystemen. Bij varkens helpt hierbij dat het dieren betreft die zindelijk zijn en een vaste mestplek prefereren. Bij rundvee is dit niet het geval en dit maakt het lastiger om voor hen herkenbare functiegebieden in een hok aan te brengen. Bij melkvee is men daar, met de ontwikkeling van de ligboxenstal toch vrij goed in geslaagd. Bij kalveren tot op heden nog niet, en daarom worden ze momenteel in groepen gehuisvest met een relatief beperkt oppervlak per dier (gewichtsafhankelijk, 1,5 - 1,8/2,0 m² per dier) zonder gescheiden loop- en ligruimtes zoals bij melkkoeien.

Dichte vloeren zijn in gangbare vleeskalverstallen om die reden nog geen alternatief, want deze leiden onherroepelijk tot sterk vervuilende dieren of dieren die bij het rusten frequent worden verstoord door mestrobots of -schuiven. Meer leefruimte en innovaties (zoals dichte emissiearme vloeren of mestrobots) op/rondom het loopoppervlak zijn nodig maar moeten eerst nog worden ontwikkeld/getest om ze daarna in de praktijk te kunnen implementeren. Met het Peter's Farm³⁷ concept zijn al belangrijke eerste stappen gezet naar andere inzichten in de huisvesting van vleeskalveren. Dichte vloergedeelten zijn ook daar nog niet mogelijk. Dit zal zeker nog een grote inspanning en mogelijk kostenverhoging met zich meebrengen.

Ten aanzien van methaan is de vloer in principe geen bron van emissie. In de literatuur valt te lezen dat aangenomen wordt dat t.a.v. de ammoniakemissie de verdeling van de stalemissie, bij blankvleeskalveren rond 30 à 40% van de vloer en 60-70% vanuit de mestkelder afkomstig is en rond 50-50% bij rosé vleeskalveren (Groenestein et al., 2014; Heeres et al., 2017). Deze verdeling kan bij verschillende bedrijven anders liggen door veranderingen in bijvoorbeeld voersamenstelling. Hoe dan ook, met name voor ammoniak is de vloer een belangrijke bron van emissies. In de voorgaande paragrafen zijn twee systemen beschreven die bij het handhaven van de huidige hokindeling de hout- of betonroosters toegepast kunnen worden. Maar we hebben ook gezien dat de emissiereductie van deze systemen als laag is ingeschat. Vloersystemen zullen zeer waarschijnlijk moeten worden uitgerust met mestverwijderingstechnieken om emissiearm te worden.

Bij de toepassing van de zogenoemde dichte vloeren wordt, in principe, de kelder als bron van emissie geneutraliseerd. Verder heeft het werkingsmechanisme te maken met de uitwisseling van lucht tussen kelder en stallucht. De in de urine opgeloste ammoniak is in evenwicht met de ammoniak in de lucht, dat wil zeggen de grenslaag net boven de urineplas/mest in de grenslaag (Mosquera et al., 2017a): NH_3 (opgelost in urine) $\leftrightarrow$ NH_3 (gas, grenslaag lucht boven urineplas/mest). De ammoniak in deze grenslaag kan naar de bulk lucht vervluchtigen via diffusie: NH_3 (gas, grenslaag urineplas/mest) $\rightarrow$ NH_3 (gas, bulk lucht) (Mosquera et al., 2017a). Mosquera et al. (2017a) leggen uit dat dit proces afhankelijk is van het verschil in concentratie tussen ammoniak in het mest/urinemengsel en in de onderste luchtlaag. Een optie om de ammoniakemissie te reduceren is dan de luchtbeweging langs het emitterende mestoppervlak te reduceren³⁸.

Er zijn verschillende uitvoeringen mogelijk. Er zijn betonnen en rubberen dichte vloeren. Ook worden deze vloeren met en zonder urine gaten uitgevoerd om te zorgen dat de urine snel naar de kelder wordt getransporteerd en dat de luchtafwisseling beperkt blijft.

Uit recent onderzoek is echter gebleken dat veel stallen met emissiearme vloeren (waaronder stallen met dichte vloeren) hogere stikstofverliezen in de afgevoerde mest lieten zien dan verwacht en in veel gevallen zelfs vergelijkbaar waren met gangbare stallen (Groenestein et al., 2023).

Een belangrijke randvoorwaarde voor de goede werking is dat de kelder goed dicht is. Ook dat feces en urine snel en volledig vanaf de stalvloer worden getransporteerd. Er zijn allerlei soorten robots, schrapers, sproeisystemen, etc. die dit mogelijk maken. De werking is weliswaar nog wisselend en verdere R&D processen zijn nodig om deze systemen te optimaliseren³⁹. Dichte vloeren zonder intensieve schoonmaak en mestverwijderingstechnieken zullen leiden tot hogere emissie en bezoedelde dieren.

³⁷ Certified Premium Kalfsvlees | Peter's Farm | Kalfsvleesrecepten (petersfarm.nl).

³⁸ Kleppensystemen (zie discussie in Paragraaf 3.9.1) zijn ontworpen op basis van deze principes.

³⁹ Een interessant systeem voor melkvee is de Lely Sphere. Het systeem is met een emissiefactor van 3 kg NH_3 /dierplaats/jaar opgenomen in Bijlage V Omgevingsregeling (HA1.38), waarmee de reductie meer dan 75% ten opzichte van traditionele roostervloeren bedraagt. Hiertoe worden allereerst de roosterspleten in de bestaande vloer dichtgemaakt met rvs-profielen, waardoor deze afgezien van kleine urinegaatjes (8 mm) dicht uitgevoerd is. Vervolgens wordt op de mixput een zogenaamde N-Capture unit - feitelijk een chemische luchtwasser - geplaatst. Deze zuigt de kelderlucht af en daarmee ook een deel van de emissie vanaf de vloer. Mestrobots (type Discovery Collector) zorgen voor een schone vloer, door de mest op te zuigen en water te sproeien. Hierdoor treedt tevens een verdunningseffect op, en wordt het afhankelijk van de bedrijfssituatie mogelijk om primaire mestscheiding toe te passen.

Bij een goed functionerende dichte vloer en mestverwijderingssysteem worden feces en urine snel uit de stal verwijderd. Naast een direct emissievoordeel kan dit bijvoorbeeld ook kansen voor vergisting bieden. Vergisten is productiever met dagverse mest (Groenestein et al., 2020). Dichte vloeren maken het ook mogelijk om primaire scheiding toe te passen om met een N-rijke dunne fractie en een P-rijke dikke fractie te werken. Dit heeft uiteraard een impact op het mestmanagementsysteem, ten opzichte van bijvoorbeeld behoefte aan mestopslagen.

Ten aanzien van het dier, bieden dichte vloeren voorzien van een rubberen indrukbare toplaag meer grip waardoor ze minder uitglijden en vallen. Zoals eerder vermeld wordt spelgedrag echter vooral bepaald door de ruimte per dier, waardoor bij een gelijkblijvend oppervlak per dier hierop geen effect wordt verwacht. Een zachtere, indrukbare vloer verkleint de kans op dikke knieën aan het eind van de mestperiode, post-mortem tevens waarneembaar als een kleinere kans op afwijkingen in het carpaal gewricht. De vloer moet dus goed schoon worden gemaakt, niet alleen voor emissies maar ook vanuit het perspectief van de reinheid van de dieren. Mestrobots of -schapers kunnen voor onrust zorgen. Echter na een tijd wennen de dieren meestal aan aanpassingen in de stal. Bovendien biedt het 'out of the box (hok)' denken kansen om met functiegebieden aan de slag te gaan in de vleeskalverhouderij. Dit vereist weliswaar een ontwerptraject om de pro's en contra's van zulke huisvestingssystemen te definiëren en experimenten en praktijkervaringen te genereren.

3.10 Aanvullende nageschakelde mest/fracties bewerken - perspectief

Een aantal van de maatregelen die hier wordt geëvalueerd zorgen ervoor dat de mest frequent (dagelijks) naar buiten de stal kan worden afgevoerd. Dit gebeurt in de vorm van (al dan niet verdunde) drijfmest (denk bijvoorbeeld aan dagontmesting met spoelgoten, zie Paragraaf 3.4) of in de vorm van dunne en dikke fracties (bijvoorbeeld met de mestband onder de roostervloer - Paragraaf 3.1 - en mestschuif onder de roostervloer - Paragraaf 3.5).

De focus van dit rapport ligt op maatregelen en systemen die emissies in de vleeskalverhouderij beperken. In deze paragraaf worden additionele maatregelen besproken die de emissies kunnen beperken, nadat de mest(fracties) vanuit de stal naar een opslag daarbuiten zijn getransporteerd. De focus ligt hier op het primaire bedrijf en de evaluatie heeft dus betrekking op kansrijke maatregelen en activiteiten die buiten de stal, maar op het primaire bedrijf uitgevoerd kunnen worden. De evaluatie is daarom niet zo compleet als voor eerdere besproken maatregelen, bijvoorbeeld wordt er niet ingegaan op luchtkwaliteit en andere factoren.

Het slim omgaan met mest, mestfracties en mineralen in veehouderijbedrijven en in de landbouw in het algemeen, wordt steeds belangrijker. In eerste instantie (pragmatisch) en in toenemende mate vanuit kostenoverwegingen. Maar ook gedreven door de transitie naar de kringlooplandbouw waarbij het gebruik van kunstmest wordt afgebouwd met handhaving van hoge productiviteitsstandaarden. Dunne fracties zijn vaak rijk aan stikstof (N-meststof). Een belangrijke factor in mestmanagement is het mestbeleid. De derogatie wordt stap voor stap afgebouwd en er mag in 2026 nog maar 170 kg stikstof per ha per jaar aangewend worden. Deze dunne fracties kunnen als N-meststof gebruikt worden of na het uitvoeren van een bewerkingsstap als kunstmestvervanger worden gebruikt (Europese wetgeving hieromtrent wordt momenteel vormgegeven). Als de dunne fractie via omgekeerde osmose wordt bewerkt, dan ontstaat er een concentraat en water. Dat concentraat met N en K mag boven de gebruiksnorm N (170/230 kg) worden aangewend als kunstmestvervanger. Dikke fracties zijn vaak rijker in P en organische stof waardoor deze goed zijn te gebruiken voor bijvoorbeeld aardappelteelt of als bodemverbeteraar.

3.10.1 Mest tijdelijk opslaan en/of afvoeren

Mest kan worden afgevoerd vanuit de mestkelder. Als de drijfmest eenmaal uit de stal is verwijderd, verdwijnt de bron van een aantal emissies, maar er is een opslag nodig met voldoende capaciteit totdat deze mest is afgevoerd. Belangrijk hierbij is dat ammoniak, geur en methaan weliswaar niet in de stal maar wel op het primaire bedrijf vanuit de buitenopslag kunnen worden geëmitteerd. Daarom moeten mestopslagen emissiearm worden uitgevoerd of wordt mest idealiter wekelijks (vanaf de kelder of buitenopslag) afgevoerd.

Opties voor het beperken van deze emissies in kelders of buitenopslagen zijn bijvoorbeeld: mest koelen en mest aanzuren; en methaanoxidatie in de toekomst. Voor ammoniak is een goede afdekking van de buitenopslag in de regel afdoende en zijn luchtwassers zeker efficiënt om de emissie te reduceren (Paragraaf 3.8). Deze kunnen in de mestkelder, de stal of een buitenopslag geïnstalleerd worden.

Vanuit het perspectief van bestaande stallen is het een logische optie om de mest (uit de mestkelders) af te voeren. De kosten van deze maatregel zijn in andere paragrafen ook al deels aangegeven, zie *Tabel 56*.

Tabel 56 *Overzicht kosten van mest afvoeren.*

	Blankvleeskalveren			Rosévvleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Mest afvoeren (€/ton mest)*			20			20
Opslag benodigd(€/kalverplaats)	81,25	4,1	1,2	146,25	7,3	2,2

*Onder de post *mest afvoeren* is het poorttarief zoals bepaald door de Stichting Mestverwerking Gelderland opgenomen (Persbericht De Kalverhouder, 10 oktober 2022).

3.10.2 Mest vergisten

Tijdens het vergistingsproces zetten micro-organismen organische stof om in biogas (CO₂ 25-50% en CH₄ 50-75%) onder anaerobe omstandigheden. Biogas kan in een warmtekrachtkoppelinginstallatie omgezet worden in elektriciteit en warmte. Ook kan dit biogas in een opwaarderingsinstallatie tot groengas met aardgaskwaliteit worden opgewerkt en aan het gasnet worden geleverd. Voor een beschrijving van de verschillende fasen van het vergistingsproces zie bijvoorbeeld Groenestein et al. (2020).

Drijfmest en dikke fracties kunnen worden vergist in een monovergistingsinstallatie op het vleeskalverbedrijf. Dagverse mest wordt in de monovergister ingebracht. Zo wordt de maximale biogasproductie bereikt. Het regelmatig verwijderen van mest uit de stal heeft uiteraard positieve gevolgen voor de reductie van stalemissies.

Een goed procesmanagement is essentieel bij deze maatregel. De temperatuur en pH moeten goed geregeld zijn en verontreinigingen en bepaalde stoffen moeten worden vermeden omdat ze het proces kunnen remmen. Groenestein et al. (2020, blz. 12) vermelden dat 'antibiotica, schoonmaak- en reinigingsmiddelen kunnen vanaf geringe hoeveelheden ook een remmende werking op het proces hebben.' Ook moeten veehouders rekening houden met verblijftijden in relatie tot de organische stof die per tijdseenheid moet worden toegevoegd. Groenestein en collega's (ibid.) rapporteren dat een vuistregel voor de bovengrens van de organische-stofbelasting 4 à 5 kg OS/m³ per dag is.

Met de vergisting van de mest wordt biogas geproduceerd om vervolgens elektriciteit en warmte, of groengas te kunnen produceren. Wat achterblijft wordt het digestaat genoemd. Digestaat zal zeer waarschijnlijk tijdelijk op het vleeskalverbedrijf opgeslagen moeten worden voordat het als meststof afgevoerd wordt. De literatuur laat zien dat digestaat nog steeds ammoniak en zelfs (contra-intuïtief) methaan uitstoot (Baldé et al., 2022; VanderZaag & Baldé, 2022; Van Bruggen et al., 2023). Het nog actieve digestaat zal dan ook in een navergister opgeslagen moeten worden. Langdurige opslag van digestaat op locatie zal ook zo gasdicht mogelijk moeten gebeuren om emissies te voorkomen. Als het digestaat een nabehandeling door middel van verhitting krijgt (hygiënisatie) mag het in het buitenland worden afgezet, iets wat in de grensstreek vaak aantrekkelijk is.

Door exploitatie van het proces van mono-vergisten kan dankzij energieproductie uit biogas (vermijden van energie-inkoop, levering van energie, groencertificering en subsidiering) een behoorlijke opbrengst per jaar worden gerealiseerd, tot wel € 433/melkkoe/jaar excl. kosten (Gollenbeek et al., 2021b). Een disclaimer die hierbij geplaatst moet worden is dat hierbij wel een minimumaantal dieren, in deze studie melkkoeien, moet worden gehandhaafd om rendabel te zijn; 270 in totaal (Gollenbeek et al., 2021b). Naar rato van de hoeveelheid mest per dierplaats per jaar komen vleeskalverbedrijven met > 3.100 blankvleeskalveren en > 1.700 rosévvleeskalveren per bedrijf in aanmerking⁴⁰. Bij het gebruik van

⁴⁰ Installatie monovergister bij melkvee bedraagt ongeveer € 1.690/dierplaats (Gollenbeek et al., 2021b; Van Dooren et al., 2023). Indien de omrekening gebaseerd wordt op de verhouding van de mestproductie van een blankvleeskalv (2,5 m³/jaar -

kalvermest is ook van belang te realiseren dat het droge stofgehalte van de mest lager is, dus zijn relatief meer kalveren nodig en daarmee ook de vereisten aan de grootte van de vergister. Er zijn weinig ervaringen met vergisters in de Nederlandse vleeskalversector. Kroes et al (2016) melden dat in hun roséleeskalverbedrijf twee mest-stromen waren, namelijk reguliere drijfmest en de dikke fractie van gescheiden mest uit een nieuwe stal. In 2016 gaven deze twee stromen samen 16.761 ton/jaar mest met een ds-gehalte van 12,8% (Kroes et al., 2016). "De drijfmest uit de oude stal plus de feces uit de nieuwe stal gaan gezamenlijk naar de monovergister. De samenstelling van het digestaat komt in de praktijk uit op 6-7 g/kg N en 2,5-3 g/kg P₂O₅. De opbrengsten aan biogas lagen tussen 30 en 40 m³ per ton" mest (ibid.). "Het bedrijf is gestopt met vergisting omdat de financiële opbrengsten te laag waren om de investeringen in het oplossen van technische problemen terug te verdienen" (Kees Kroes, persoonlijke communicatie juni 2020). Monovergisters zijn efficiënt in de productie van biogas. Echter vereisen aandacht, zijn gevoelig voor storingen en vereisen subsidie om het verdienmodel rond te krijgen.

3.10.3 Na mestscheiding dikke fractie drogen/composteren

Een optie voor de dikke fractie na mestscheiding is om deze fractie onder gecontroleerde omstandigheden belucht, gedroogd, gehygiëniseerd en uiteindelijk gecomposteerd te krijgen. Door het toevoegen van lucht krijgen methanogene micro-organismen geen kans om organisch materiaal af te breken en methaan te vormen, maar vindt in plaats daarvan aerobe afbraak plaats naar CO₂ en water. Hoe langer dit proces duurt hoe stabiel het materiaal wordt (compost). Tijdens het proces ontstaat waterdamp c.q. condenswater en een kleine luchtwasser moet zorgen dat de ammoniakemissie die tijdens dit proces ontstaat wordt afgevangen.

Op de markt zijn al composteringstrommels beschikbaar (zie bijvoorbeeld de Bedding Master en Comtrom). Deze worden geleverd in verschillende afmetingen. De trommel heeft bijvoorbeeld een diameter van 1,81 m en een lengte van 6,10 m en een inhoud van 16 m³. Deze trommels kunnen circa 16 ton dikke fractie (ca. 38% droge stof) uit (let wel op) rundveedrijfmest per dag verwerken (Puente-Rodríguez et al., 2023⁴¹). Deze trommel is in een naastliggend gebouw gestationeerd. Drijfmest of de dikke fractie (uit het mestbandsysteem bijvoorbeeld) wordt dagelijks met een mestpomp naar de trommel getransporteerd. De trommel heeft een geïntegreerde vijzelpers. Deze pers zorgt voor de scheiding van drijfmest in dik en dun. De dunne fractie gaat naar een opslag. De dikke fractie valt in de composteringstrommel. De composteringstrommel draait en de mest gaat vanuit de invoer naar de uitvoer kant. De temperatuur van de net gescheiden dikke fractie aan de invoerzijde kan oplopen tot ca. 58 °C en aan de afvoerzijde 45 °C. Het droge stofgehalte van de dikke fractie is ca. 38% voorafgaand en ca. 40% na dit proces. Onder deze omstandigheden en bij een verblijftijd van 12 à 13 uur is dit materiaal (officieel) gehygiëniseerd en kan dus bijvoorbeeld worden geëxporteerd. Een langere verblijftijd zou een hoger percentage droge stof opleveren, en waarschijnlijk ook een biologisch meer stabiel materiaal. Het materiaal bevat weinig ammoniumstikstof (De Buisson, 2013) maar kan ook goed als bodemverbeteraar gebruikt/gecommercialiseerd worden. In het gebouw waar de trommel staat is vaak ook ruimte voor het tijdelijk opslaan van dit materiaal.

De investeringskosten van dit systeem zijn ongeveer € 345.000 excl. BTW. Deze fabrikant levert systemen die passen bij het aantal koeien waarvoor de mest verwerkt moet worden en daarom kunnen verschillende versies in prijs verschillen. Kosten zijn gebaseerd op het systeem voor tot grofweg 400 koeien geïndexeerd (+ 15%) t.o.v. ten tijde van deze prijsindicatie. Uitgaande van vleeskalveren zou dit voldoen voor circa 8.000 blankvleeskalveren (2,5 m³ mest/dierplaats per jaar en 5% ds) en circa 2.000 roséleeskalveren (4,5 m³ mest per dierplaats per jaar en 10% ds).

> omrekeningsfactor 0,1) en roséleeskalf (4,5 m³/jaar -> omrekeningsfactor 0,15) ten opzichte van een volwassen melkkoe (gemiddeld 29 m³/jaar), dan bedragen de investeringskosten per dierplaats in de vleeskalverhouderij € 169/blankvleeskalverplaats en € 253/roséleeskalverplaats. Een aantal kanttekeningen hierbij is dat de mestproductie van een melkkoe sterk afhankelijk is van voersysteem en gewicht. Bovendien is de kwaliteit van de mest niet 1:1 vergelijkbaar m.b.t. de waarde voor het gebruik van de mestvergister, zie tekst.

⁴¹ In de melkgeitenhouderij experimenteert een veehouder al met een kleinere composteertrommel.

Een ander complexer proces betreft een vergelijkbare trommel, de dunne fractie wordt een tweede keer gescheiden met een zeefband. Additieven ('polymeren', zouten) worden toegevoegd aan de dikke fractie/het product dat voor de tweede keer is gescheiden. De resulterende brokken/dikke fractie worden samen met de eerste gescheiden dikke fractie de composteertrommel gedaan. Dit proces vergemakkelijkt het korrelproces. De korrels worden gecommmercialiseerd als meststoffen en bodemverbeteraars. Dit maakt het mogelijk en gemakkelijker om te transporteren (door fysieke, gedroogde eigenschappen en kwaliteitsnormen) en dus lokaal of internationaal op de markt te brengen.

4 Conclusie en reflectie

In dit laatste hoofdstuk worden overzichtstabellen gepresenteerd om de evaluatie van de maatregelen per criterium te kunnen vergelijken. Zie Hoofdstuk 2 voor de beschrijving en toepassingswijze van evaluatiecriteria. Voor de evaluatieresultaten van de afzonderlijke maatregelen wordt verwezen naar de desbetreffende paragraaf in Hoofdstuk 3. In dit hoofdstuk worden ook de meest relevante inzichten uit de evaluatie puntsgewijs weergegeven.

4.1 Emissies

Tabel 57 Emissiereductie (%) - maatregelen.

Maatregel	NH ₃		CH ₄ *		Geur	
	Blank	Rosé	Blank	Rosé	Blank	Rosé
Scheiding van feces en urine onder de roostervloer d.m.v. een mestband	40-60%	30-45%	80-100%	80-100%	50-70%	50-70%
Opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige vervanging)	30-60%	20-45%	60-90%	60-90%	n.n.b.	n.n.b.
Mest koelen	0-50%	0-40%	60-90%	60-90%	30-60%	30-60%
Dagontmesting d.m.v. spoelgoten	20-60%	20-45%	60-80%	60-80%	30-50%	30-50%
Mestschuif onder de roostervloer	20-60%	20-45%	80-100%	80-100%	30-50%	30-50%
Mest verdunnen met water	5-40%	5-30%	0%	0%	n.n.b.	n.n.b.
Aanzuren van mest	40-60%	30-50%	70-90%	70-90%	n.n.b.	n.n.b.
Luchtwassers	70-95%	70-95%	n.n.b.-0%	n.n.b.-0%	30-45%	30-45%
Rubberen (indrukbare) bolle toplaag	-5 / 5%	-5 / 5%	0%	0%	n.n.b.	n.n.b.
Gecoate metalen vloer	0-10%	0-10%	0%	0%	n.n.b.	n.n.b.

* Deze inschatting is alleen voor methaan uit mest, enterisch methaan is hierbuiten gehouden. Uitgegaan wordt van emissiearme opslag of verdere verwerking buiten de stal.

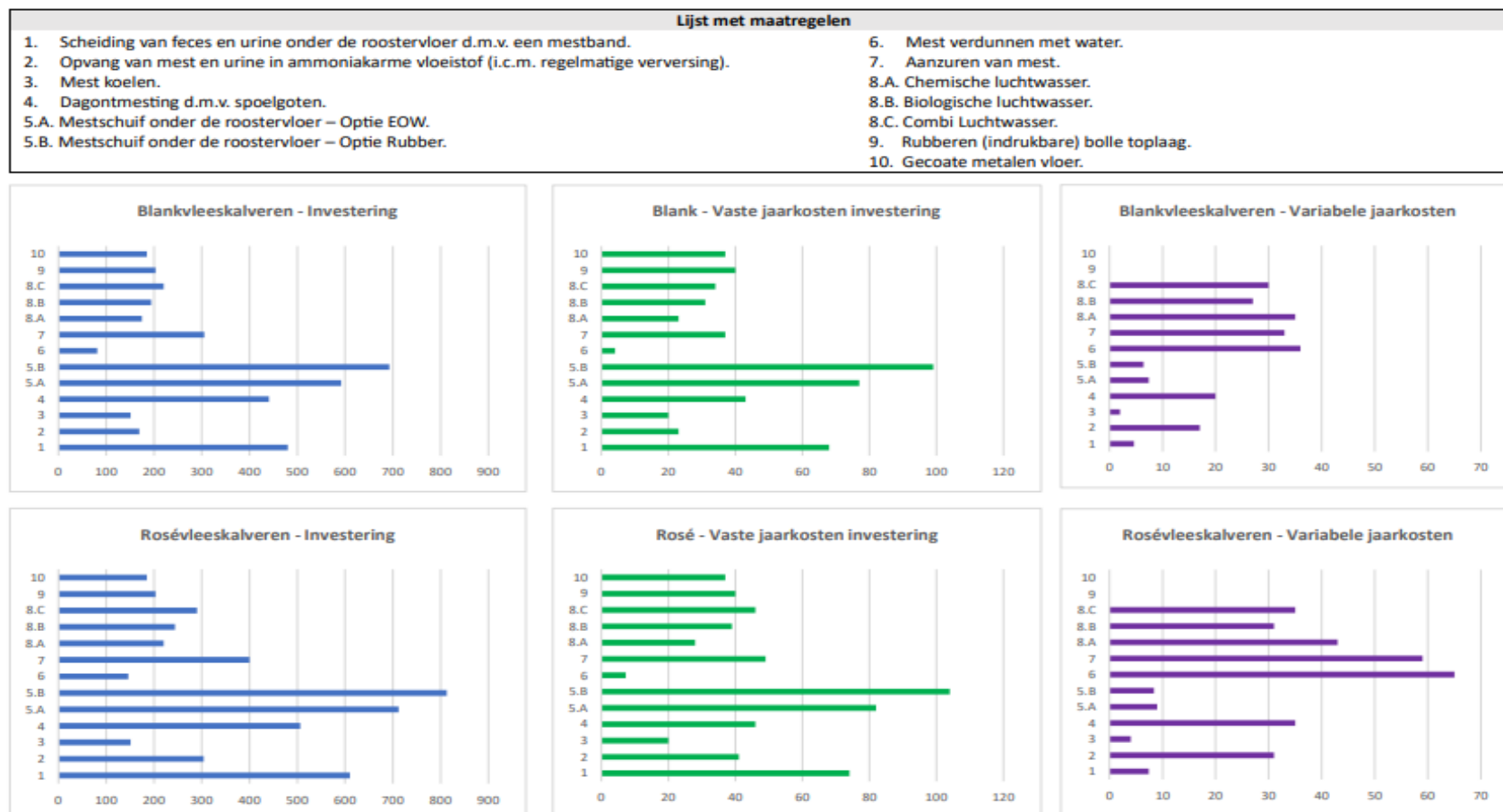
N.n.b: Nog niet bekend.

- Met technische maatregelen onder de roostervloer is het mogelijk om de ammoniakemissie uit de kelder op het vleeskalverbedrijf te reduceren/neutraliseren. In theorie zijn echter vloermaatregelen (vloer-type in combinatie met mestverwijderingstechnieken en reiniging) of managementmaatregelen noodzakelijk om de ammoniakemissie uit de stal > 50% te reduceren middels brongerichte maatregelen.
- Luchtwassers zijn commercieel beschikbaar en efficiënt in het reduceren van de ammoniakemissie uit stallen. Chemische luchtwassers in het bijzonder zijn in staat om de ammoniakemissies uit de stal bijna volledig te neutraliseren. De concentraties van ammoniak in de stal blijven onaangestast en zijn daarom zeer waarschijnlijk hoger dan bij de andere geëvalueerde brongerichte systemen. Tevens reduceert de luchtwasser de methaanemissies niet.
- Vanwege de in de literatuur ingeschatte procentuele verdeling van de ammoniakemissie in de stal tussen de mestkelder en het vloeroppervlak zijn maatregelen onder de roostervloeren interessanter voor de blankvleeskalversector. In theorie kan met hetzelfde systeem een relatief hogere ammoniakemissiereductie worden bereikt dan in de rosé vleeskalversector. Deze schattingen zijn echter 10 jaar geleden gemaakt.

Om te kunnen inschatten hoe efficiënt bronmaatregelen onder de roostervloer zijn om de stalemissie te reduceren, is het advies om deze verdeling te onderbouwen met emissiegegevens uit praktijkomstandigheden.

- De verwachting is dat het alleen vervangen van betonnen/houten roostervloeren door andere materialen die in theorie beter presteren op het gebied van emissiereductie op zich weinig tot geen effect op zal leveren. Om de ammoniakemissie verder te reduceren is een actieve reiniging van het vloeroppervlak noodzakelijk. Een dergelijke vloerreiniging zal een sterke aanpassing van de huidige huisvestingssystemen eisen.
- Vanwege de beleidseisen op het gebied van ammoniak is het aannemelijk dat de vleeskalverhouderij op dit moment niet zonder luchtwassers kan. Brongerichte maatregelen moeten zich in de vleeskalverhouderij nog bewijzen (veelal nog geen erkenning).
- Met technische maatregelen (in de kelder of buitenopslag) is het mogelijk om de methaanemissie uit de mest vrijwel volledig te reduceren. Deze kunnen eventueel met andere maatregelen gecombineerd worden, zoals luchtwassers, om ook de ammoniakemissie fors te kunnen reduceren.
- Bij herkauwers is het aandeel enterisch methaan groter dan het methaan die uit de mest wordt uitgestoten. Op de korte termijn dragen mestmaatregelen bij aan het behalen van de klimaatdoelstellingen voor 2030. Om op de lange termijn 'klimaatneutraal' te worden (dit moet nog goed gedefinieerd worden) moet de methaanemissie uit mest volledig gereduceerd worden en zal er ook enterisch methaan gereduceerd moeten worden.
 - De enterisch-mest methaanverhouding bij vleeskalveren is afhankelijk van het rantsoen en het ontwikkelingsstadium van de pensfermentatie. Het aandeel methaanemissie uit mest kan hoger zijn dan eerder werd aangenomen. Dit maakt het emissiereductiepotentieel van brongerichte maatregelen in blankvleeskalverstallen interessanter. Daarom is hier het advies om deze verdeling vast te stellen met emissiedata uit praktijkomstandigheden.
- Er is weinig bekend (minder dan bij andere emissies) over het effect van maatregelen op geuremissie. Maatregelen die mest uit de kelder dagelijks/wekelijks verwijderen, halen in principe ook een bron van geur uit de stal. Bij elke stap in het mestmanagement (scheiding, verwerking, opslag, etc.) moet rekening worden gehouden met (mest)geuremissies.

4.2 Kosten



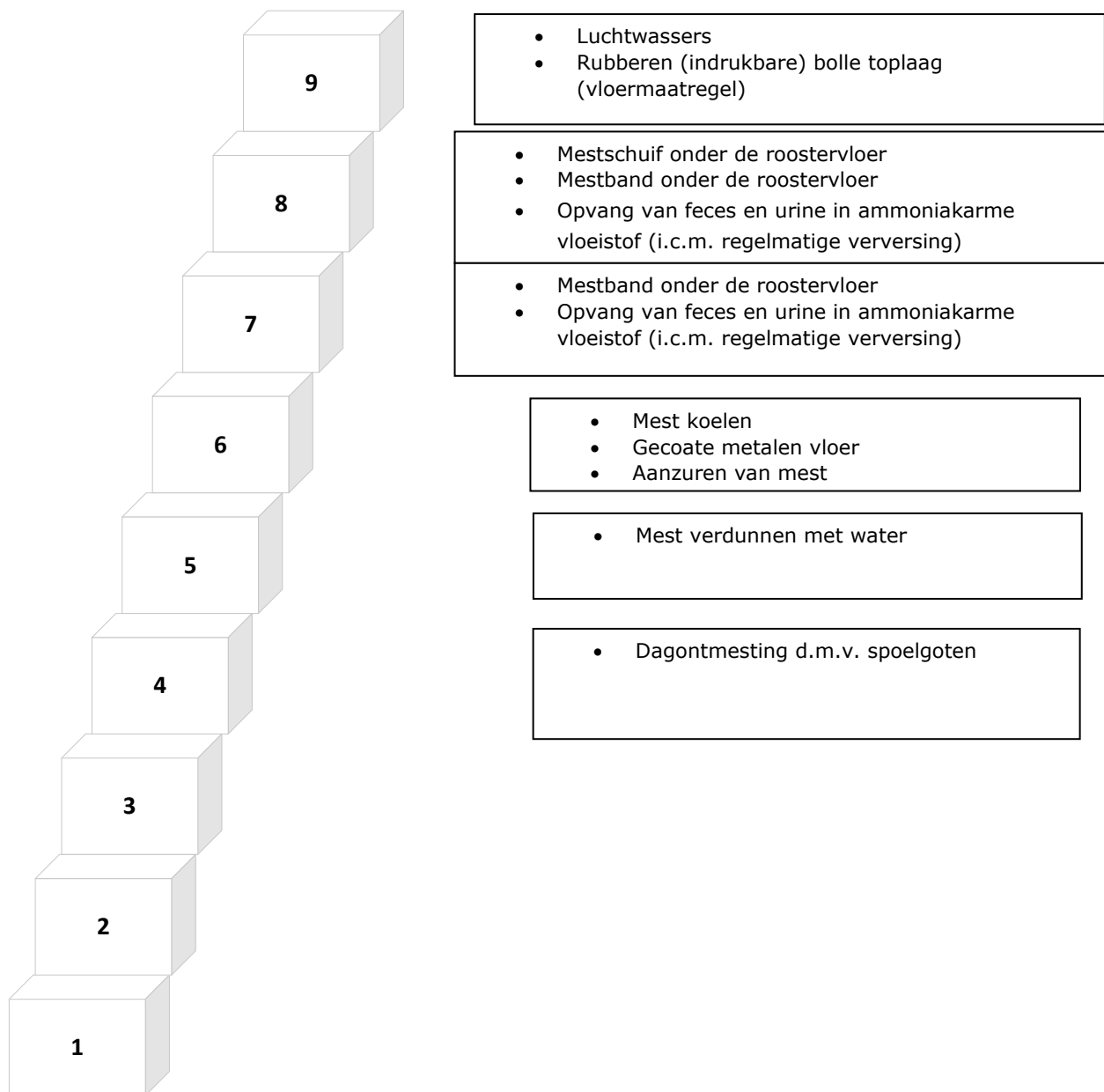
Figuur 6 Overzicht, per maatregel (zie kader boven voor nummering) en per sector van investeringskosten (links/blauw), vaste jaarkosten van investering (midden/groen) en variabele jaarkosten (rechts/paars). Zie hoofdstukken 2 en 3 voor aannames en berekeningen. In de staafdiagrammen, Y-as maatregelen en X-as kosten in €/kalverplaats.

- Er zijn weinig maatregelen ontwikkeld voor de vleeskalversector, waardoor de onzekerheidsmarge ten aanzien van kosten voor de meeste maatregelen groot is. Voor de hier gecalculerde kosten moet een onzekerheidsmarge van $\approx 40\%$ worden gehanteerd. R&D en standaardisatieprocessen moeten ervoor zorgen dat technieken worden ontwikkeld voor de specifieke eigenschappen van kalvermest en stallen. Gezien de beperkte ervaring met deze trajecten is het de vraag of het beleidsinstrumentarium (denk aan de Sbv-regeling) en sectorinitiatieven voldoende vaart kunnen zetten.
- Wat betreft de ammoniakemissiereductie die met de hier geëvalueerde maatregelen kan worden bereikt, betalen alle keldermaatregelen zich niet terug bij bestaande stallen noch voor nieuwbouw om aan de ammoniakreductienormen te voldoen.
- In afwezigheid van borgingssystemen voor de methaanemissie vormen alle investerings- en operationele kosten van innovaties die in principe alleen efficiënt zijn voor methaanemissiereductie zoals mest koelen nu een barrière voor hun verdere ontwikkeling en implementatie. Maatregelen die ook een reducerend effect op de ammoniakemissie hebben zijn daarom nu kansrijker.
- Er is nog geen beloningssysteem om de CO₂-voetafdruk van kalfsvlees te verkleinen. De zuivelsector heeft al systemen om veehouders te belonen voor het verkleinen van de voetafdruk van melk⁴². Zulke positieve prikkels kunnen helpen met het implementeren van methaanemissiereductiemaatregelen.
- De kostenberekeningen houden rekening met twee vierkante meter per dierplaats. Met meer ruimte per dierplaats zullen de kosten per dierplaats uiteraard stijgen.
- Vanwege maatschappelijke- en beleidsontwikkelingen moeten vleeskalverstallen integraal worden herontwerpen, waarbij rekening wordt gehouden met de wensen/behoefte/eisen die dieren, de markt, het klimaat, etc. aan deze ontwerpen stellen⁴³. De investeringen die hiermee gemoeid zijn, zijn aanzienlijk. Om een dergelijk ingrijpend en herstructurerend proces op gang te brengen, is het daarom noodzakelijk om duidelijke en concrete lange termijn doelen voor de vleeskalverhouderij en voor de landbouw in het algemeen te stellen.

⁴² Melkprijssystematiek - FrieslandCampina Nederland - FrieslandCampina (geraadpleegd maart 2024).

⁴³ Uit de voorstellen die in het kader van het dierwaardige veehouderij proces zijn gemaakt wordt bijvoorbeeld gepleit voor meer ruimte per dier. Van de huidige 1,8 naar 2,5 en uiteindelijk 3,5 vierkante meter leefruimte per dier. Het vakblad De Kalverhouder meldt op basis van een berekening van Connecting Agri & Food ([Meer ruimte per dier laat inkomen verdampen - DeKalverhouder.nl](#), geraadpleegd april 2024) dat blankvleeskalverbedrijven 83% van hun inkomen verliezen bij 2,5 m²/dier en 101% bij 3,5 m²/dier door minder dieren in een bestaande stal te houden. De verliezen bij rosé zijn respectievelijk 28% en 34%. Mochten er opties voor uitbreiding van bestaande stallen of voor nieuwbouw zijn, dan zijn de verliezen voor blankvleeskalverbedrijven respectievelijk 78 en 106 procent en voor rosé 30 en 34% (ibid.).

4.3 'Technology Readiness Level'



Figuur 7 TRL van de geëvalueerde maatregelen.

-
- Binnen de vleeskalversector is relatief weinig ervaring met brongerichte emissiereductiemaatregelen. De meeste systemen zijn ontwikkeld en getest/gecommercialiseerd in andere sectoren. Er worden momenteel experimenten uitgevoerd, maar nog op pilotschaal. Voordat deze maatregelen echter een hogere TRL kunnen bereiken, is het wenselijk om deze experimenten systematischer en uitgebreider uit te voeren. De eigenschappen van kalvermest verschillen van die van mest van andere diercategorieën, waardoor eventuele aanpassingen nodig zijn voordat de technieken kalversector-ready worden gemaakt.
 - Voor vleeskalverbedrijven zijn luchtwassers en bolle (toplaag) rubbervloeren de enige maatregelen die commercieel (vergunningstechnisch) beschikbaar zijn.
 - Van de geëvalueerde maatregelen zijn luchtwassers de enige systemen die de ammoniakemissie uit kalverstallen (of mestopslagen) fors kunnen reduceren. Ze zijn ook erkend met een emissiefactor in Bijlage VI Omgevingsregeling waardoor hun implementatie en vergunningstechnisch geregeld kan worden.
 - Er is meer duidelijkheid nodig over de emissiereductiedoelstellingen voor ammoniak en broeikasgassen voordat R&D-trajecten voor bronmaatregelen worden gestart om deze in het TRL-systeem te verhogen.

4.4 Overige factoren

Tabel 58 Evaluatie overige factoren – maatregelen. Zie Paragraaf 2.1.4 en Tabel 9 voor een toelichting op de indicatoren en de beoordelingsschaal.

Maatregel	Inpasbaarheid in bestaande stallen	Brand/risico's	Arbeid/onderhoud/ bedrijfsvoering	Omwonenden hinder	Ruimte bouwblok
Scheiding van feces en urine onder de roostervloer d.m.v. een mestband	-- / -	- / 0	-	0	-
Opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige verversing)	0 / +	- / 0	- / 0	-	-- / 0
Mest koelen	-	-	-	0	- / 0
Dagontmesting d.m.v. spoelgoten	-	-	-	-	-
Mestschuif onder de roostervloer	-- / -	-	--	0	-
Mest verdunnen met water	0 / +	0	- / 0	-	--
Aanzuren van mest	-	-	-	0	--
Luchtwassers	0 / +	-	-	0	0

- Een systeem dat veel van de voorzieningen van bestaande stallen kan gebruiken, zoals bijvoorbeeld de opvang van urine en feces in ammonium-arme vloeistof, mest verdunnen of mest koelen, vereist doorgaans weinig aanpassingen in de stal. Er kunnen echter extra kosten en ruimte nodig zijn voor mestopslagen en/of verwerking op het bouwblok.
- Maatregelen onder de roostervloer zijn over het algemeen gemakkelijker te integreren in nieuwbouw dan in bestaande stallen. Maatregelen zoals mestbanden of mestschuiven stellen veel eisen aan de kelders van bestaande stallen, wat soms bouwkundige aanpassingen vereist. Bij nieuwbouw kunnen de emissiereductiemaatregelen al in het ontwerp worden opgenomen.
- Systemen onder de roostervloer zijn doorgaans niet populair bij veehouders vanwege de lastige bereikbaarheid bij storingen en andere problemen die onderhoud/repatriatie moeizaam maken. Bij een storing zijn sommige systemen minder problematisch dan andere. Er zijn systemen die bij een storing direct problemen opleveren voor de bedrijfsvoering. Bijvoorbeeld met mestbanden en mestschuiven onder de roostervloer zou in een extreem geval de kelder vollopen of zouden de dieren uit de verblijfsruimte moeten worden gehaald om het systeem te vervangen/repareren.
- De meeste systemen vormen een klein brandrisico omdat ze elektrisch worden aangestuurd. Of ze echter brandgevoelig zijn is nu nog een open vraag, omdat ze meestal relatief eenvoudige elementen bevatten zoals een pomp, een mestband, etc. Het is al bekend dat bij brand een centraal luchtkanaal, dat vaak in combinatie met een luchtwasser wordt gebruikt, de brand sneller kan verspreiden. Maatregelen gericht op het snel verwijderen van mest uit de stal verminderen het risico op brand door het vrijkomen van brandbare gassen in de stal.
- Deze maatregelen worden ontwikkeld voor het reduceren van emissies en proberen dit te doen met geautomatiseerde systemen die mestmanagement kunnen vergemakkelijken. Aan de andere kant wordt er een grotere mate van complexiteit geïntroduceerd in de primaire bedrijfsvoering door de hard/software systemen die er deel van uitmaken – dagelijkse werkzaamheden, onderhoud, storingen, datamanagement, etc. Hoeveel tijd dit zal kosten en of het de moeite waard is, moet nog blijken.
- Werken met meerdere fracties mest past goed in de (kringloop)trend om slimmer om te gaan met mineralen en organische stof.
- Bij het werken met meerdere fracties is het van belang om rekening te houden met het totale mestmanagementsysteem op het primaire bedrijf, denk aan mogelijkheden voor mestverwerking en opslag buiten de stal, omdat er ook in de opslagfaciliteiten emissiereductiemaatregelen (voor methaan en ammoniak) moeten worden geïmplementeerd.
- Installaties buiten de stallen, zoals mestvergisters, mestopslagen etc. worden meestal niet gewaardeerd door omwonenden van veehouderijbedrijven.
- De meeste geëvalueerde maatregelen vereisen dat onderdelen of opslagen (meervoud, bij maatregelen die de mest scheiden) binnen het bouwblok moeten worden geplaatst. Bij luchtwassers wordt de impact minimaal geacht aangezien deze veelal tegen de stal aangebouwd worden. Vleeskalverbedrijven beschikken meestal over beperkte ruimte in het bouwblok.
- Een belangrijke indicator die hier niet is gebruikt, is de borgbaarheid van deze maatregelen. Verwacht wordt is dat emissies binnenkort 24/7 worden gemeten, waardoor het voor de overheid en toezichthouders minder relevant wordt om te weten of het systeem aan of uit staat en of de juiste dosering wordt gebruikt. De hier geëvalueerde maatregelen stellen in principe geen eisen aan de te gebruiken sensoren en meetinstallaties.

4.5 Veranderingen in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid)

Tabel 59 Verwachte verandering in kwaliteit stallucht (in relatie tot dierenwelzijn en -gezondheid). Zie Paragraaf 2.2.4 en Tabel 12 voor een toelichting op de indicatoren en de beoordelingsschaal.

Maatregel	Ammoniak concentratie	Tocht	Temperatuur (comfortzone 13-26 °C)	Relatieve luchtvochtigheid (60-80%)	Concentraties overige mestgassen
Scheiding van feces en urine onder de roostervloer d.m.v. een mestband	+	+	0 / +	0	+
Opvang van feces en urine in ammoniakarme vloeistof (i.c.m. regelmatige vervanging)	+	0	0	0	+
Mest koelen	0 / +	0	+	0	- / +
Dagontmesting d.m.v. spoelgoten	0 / +	0	0	0	- / +
Mestschuif onder de roostervloer	+	0	0	0	+
Mest verdunnen met water	+	0	0	- / 0	+
Aanzuren van mest	+	0	0	0	-
Luchtwassers	- / 0	0 / +	0	0	0
Rubberen (indrukbaar) bolle toplaag	0	0	0	0	0
Gecoate metalen vloer	0	0	0	0	0

- Maatregelen die de ammoniakemissie uit de kelder sterk reduceren, dragen uiteraard bij aan het beperken van concentraties van dit gas in de leefomgeving van de kalveren. In hoeverre dit ook leidt minder irritatie en/of een betere gezondheid van de luchtwegen en ogen van de kalveren, hangt ook af van ziektedruk, bezettingsgraad etc. (zie Hoofdstuk 2). Gezien de predisponerende rol van ammoniak bij luchtweginfecties, kan minder kelder- en vloeremissie zeker gunstig worden voor de gezondheid en het welzijn van kalveren. Dit geldt ook voor de lagere concentraties van andere mestgassen.
- Deze maatregelen hebben over het algemeen weinig invloed op andere klimaatfactoren in de stal.
- Luchtwassers zijn momenteel de meest efficiënte systemen om de ammoniakemissie van vleeskalverstallen te reduceren. Omdat ze echter ammoniak uit de uitgaande stallucht verwijderen, blijft het binnenklimaat in principe ongewijzigd en is de leefomgeving van de dieren vergelijkbaar met die in gangbare stallen. Wat betreft dierenwelzijn en diergezondheid kunnen bronmaatregelen daarom interessanter zijn.
- De hier geëvalueerde vloermaatregelen hebben zonder verdere aanpassingen aan de bedrijfsvoering, dier- en mestmanagement in principe geen effect op de kwaliteit van de stallucht.
- Wij adviseren daarom om bij de evaluatie van maatregelen met betrekking tot de gezondheid en het welzijn van vleeskalveren expliciet aandacht te besteden aan betrouwbare metingen van ammoniakconcentraties op dierniveau gedurende de gehele mestrond.
- Systemen die mest frequent bewegen/snel verplaatsen kunnen tijdelijk (kort) hoge ammoniakconcentraties veroorzaken. In hoeverre dit gebeurt en of dit gevolgen heeft voor de gezondheid van kalveren, moet nog worden onderzocht.

4.6 Dierenwelzijn en -gezondheid in relatie tot verandering aan de hokvloer

Tabel 60 *Dierenwelzijn en -gezondheid in relatie tot verandering aan de hokvloer. Zie Paragraaf 2.2.5 voor een toelichting op de indicatoren en de beoordelingsschaal.*

Maatregel	Gedrag	Bevuiling	Klinische gezondheid	Pathologie
Rubberen (indrukbaar) bolle toplaag	0 / +	- / 0	+	0 / +
Gecoate metalen vloer	0 / +	+	0	0 / +

- Het veranderen van vloermaterialen alleen heeft weinig tot geen effect op het gedrag van dieren en andere gezondheidsaspecten. In het kader van de evaluatie van gezondheid en welzijn in relatie tot vloermaatregelen leveren criteria die hieraan ontleend kunnen worden naar verwachting te weinig specifieke informatie en zijn ze onvoldoende sensitief.
- Rubberen indrukbaar vloeren lijken echter de voorkeur te krijgen boven andere hardere ondergronden voor diergedrag en klinische gezondheid.
- Omdat de relatie tussen vloerkenmerken en technische resultaten en het gebruik van diergeneesmiddelen, door veel meer factoren wordt beïnvloed dan alleen vloermaatregelen, zijn deze gegevens minder goed bruikbaar voor het evalueren van veranderingen aan de vloer.

Literatuur

- Aan de Brugh, M. (2016). Koeien geven wat minder gas. NRC. Retrieved from www.nrc.nl/nieuws/2016/05/14/koeien-geven-wat-minder-gas-2277476-a636532.
- Aarnink, A.J.A., Booijen, M., Huis in 't Veld, J. W. H., Benus, A. M., Hoste, R., Vermeij, I. & Vermeer, H.M. (2022). Opties voor ammoniakreductie in stallen voor biologische varkens. Wageningen Livestock Research. Rapport 1387. doi:10.18174/576326.
- Aarnink, A.J.A., Demeyer, P. & Rong, L. (2023). A Simple Model as Design Tool for Low-Ammonia Emission Pig Housing. In T. Bartzanas (Ed.), *Technology for Environmentally Friendly Livestock Production* (pp. 11-21): Springer.
- Aarnink, A.J.A. & Elzing, A. (1998). Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science*, 53(2), 153-169. doi:10.1016/S0301-6226(97)00153-X.
- Aarnink, A.J.A., Huis in 't Veld, J., Hol, A. & Vermeij I. (2007). Kempfarm vleesvarkensstal: milieu-emissies en investeringskosten. Wageningen Livestock Research. Rapport 67.
- Aarnink, A.J.A., & Puente-Rodríguez, D. (2018). Reduction of ammonia emission from areas where animals are maintained. International patent application PCT/NL2018/050820. International publication number WO 2019/117710 (20.06.2019 Gazette 2019/25). European patent No. EP3723487 (publication date 28-06-2023).
- Aarnink, A.J.A. & Vermeij, I. (2023). Sectoranalyse varkens om implementatie van emissiearme systemen via een investeringsregeling te stimuleren. Wageningen Livestock Research. Rapport 1414. doi:10.18174/589889.
- Al-Haq, M.I., Sugiyama, J. & Isobe, S. (2005). Applications of Electrolyzed Water in Agriculture & Food Industries. *Food Science and Technology Research*, 11(2), 135-150. doi:10.3136/fstr.11.135.
- 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 and Environment*, 112(2-3), 153-162. doi:10.1016/j.agee.2005.08.030.
- Baldé, H., VanderZaag, A.C., Burt, S., Evans, L., Wagner-Riddle, C., Desjardins, R.L. & MacDonald, J.D. (2016). Measured versus modeled methane emissions from separated liquid dairy manure show large model underestimates. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 261-270. doi:10.1016/j.biortech.2016.06.031.
- Baldé, H., Wagner-Riddle, C., MacDonald, J.D. & VanderZaag, A. (2022). Fugitive methane emissions from two agricultural biogas plants. *Waste Management*, 151, 123-130. doi:10.1016/j.wasman.2022.07.033.
- Batterman, S., Grant-Alfieri, A. & Seo, S.H. (2023). Low level exposure to hydrogen sulfide: a review of emissions, community exposure, health effects, and exposure guidelines. *Critical Reviews in Toxicology*, 53(4), 244-295. doi:10.1080/10408444.2023.2229925.
- Bell, M.J., Wall, E., Russell, G., Simm, G. & Stott, A.W. (2011). The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. *Journal of Dairy Science*, 94, 3662-3678. doi:10.3168/jds.2010-4023.
- Berkhout, P., Van der Meulen, H. & Ramaekers, P. (2022). Staat van Landbouw en Voedsel; Editie 2021. (Rapport 2022-013). Wageningen/Heerlen/Den Haag. Wageningen Economic Research en Centraal Bureau voor de Statistiek, Rapport 2022-013. doi:10.18174/560517.
- Blokhuis, H., Veissier, I., Miele, M. & Jones, B. (2010). The Welfare Quality® project and beyond: safeguarding farm animal well-being. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Sciences*, 60(3), 129-140. doi:10.1080/09064702.2010.523480.
- Bracke, M.B.M. & Hopster, H. (2006). Assessing the Importance of Natural Behavior for Animal Welfare. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 19(1), 77-89. doi:10.1007/s10806-005-4493-7.
- Browning, H. (2020). The Natural Behavior Debate: Two Conceptions of Animal Welfare. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 23(3), 325-337. doi:10.1080/10888705.2019.1672552.
- Brščić, M., Botreau, R., Van Reenen, C.G., Thissen, J. & Veissier, I. (2011a). Reports on the construction of welfare criteria for different livestock species. Part 3 – criteria construction for veal calves on farm.

-
- Welfare Quality®. INRA, Institut de l'Elevage, LIP6; Department of Animal Science, University of Padova; Wageningen UR Livestock Research; Wageningen UR Biometris. Retrieved from <https://edepot.wur.nl/216317>.
- Brščić, M., Gottardo, F., Leruste, H., Lensink, J., Van Reenen, C.G. & Cozzi, G. (2011b). Prevalence of locomotory system disorders in veal calves and risk factors for occurrence of bursitis. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76(4), 291-295.
- Bussink, D.W., Van Rotterdam-Los, A.M.D. & Wenzl, W. (2012). Biologisch aanzuren van mest kansrijk voor melkveebedrijven. Wageningen. NMI. Rapport 1422.N.11.
- Camiloti, T.V., Fregonesi, J.A., Von Keyserlingk, M.A.G., & Weary, D.M. (2012). Short communication: Effects of bedding quality on the lying behavior of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 3380-3383. doi:10.3168/jds.2011-5187.
- Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fangueiro, D., Cardenas, L., Amon, B. & Misselbrook, T.H. (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 514-531. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036.
- Chardon, W.J. & Van der Hoek, K.W. (2002). Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. Wageningen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM, Wageningen UR Alterra. RIVM rapport 773004014, Alterra rapport 682.
- Chase, C.C.L., Hurley, D.J. & Reber, A.J. (2008). Neonatal Immune Development in the Calf and Its Impact on Vaccine Response. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 24(1), 87-104. doi:10.1016/j.cvfa.2007.11.001.
- Chen, J., Wade, M.J., Dolfig, J. & Soyer, O.S. (2019). Increasing sulfate levels show a differential impact on synthetic communities comprising different methanogens and a sulfate reducer. *Journal of the Royal Society Interface*, 16(154). doi:10.1098/rsif.2019.0129.
- Chen, S.Y., Bernardino, P.N., Fausak, E., Van Noord, M. & Maier, G. (2022). Scoping Review on Risk Factors and Methods for the Prevention of Bovine Respiratory Disease Applicable to Cow-Calf Operations. *Animals*, 12(3). doi:10.3390/ani12030334.
- Chou, C.H.S.J. (2003). Hydrogen Sulfide: Human health aspects. Geneva. United Nations Environment Programme, the International Labour Organization, and the World Health Organization. Concise International Chemical Assessment Document 53. <https://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicaConcise%20International%20Chemical%20Assessment%20Document%2053d53.htm>.
- Costa, N., Accioly, J. & Cake, M. (2003). Determining Critical Atmospheric Ammonia Levels for Cattle, Sheep and Goats. Project LIVE.218. Perth, Australia.
- CIGR (1984). Report of Working Group on Climatiozation of animal houses. Aberdeen. Commission Internationale du Genie Rural. CIGR-Workinggroupreport1984.pdf.
- Dalby, F.R., Hafner, S.D., Petersen, S.O., VanderZaag, A.C., Habtewold, J., Dunfield, K., Chantigny, M.H. & Somer, S.G. (2021). Understanding methane emission from stored animal manure: A review to guide model development. *Journal of Environmental Quality*, 50(4), 817-835. doi:10.1002/jeq2.20252.
- De Buissonjé, F.E. (2013). Rendabele energiewinning uit mestverwerking op boerderijschaal. Onderzoek aan de Bedding master. Wageningen UR Livestock Research.
- De Cock Buning, T., Pompe, V., Hopster, H. & De Brauw, C. (2012). Denken over Dieren: Dier En Ding, Zegen En Zorg. Amsterdam. Vrije Universiteit Amsterdam. <https://edepot.wur.nl/212210>.
- De Sutter, R. (2014). Mestgassen: (levens)gevaarlijk, onderschat en hulprocedures onbekend. ILVO Persbericht. Persbericht_PreventAgri.pdf (varkensloket.be).
- De Vries, J.W., Vinken, T.M.W.J., Hamelin, L. & De Boer, I.J.M. (2012). Comparing environmental consequences of anaerobic mono- and co-digestion of pig manure to produce bio-energy — a life cycle perspective. *Bioresource Technology*, 125, 239-248. doi:10.1016/j.biortech.2012.08.124.
- Donlon, J.D., McAloon, C.G., Hyde, R., Aly, S., Pardon, B. & Mee, J.F. (2023). A systematic review of the relationship between housing environmental factors and preweaned bovine respiratory disease - Part 1: Ammonia, air microbial count, particular matter, endotoxins. *The Veterinary Journal*, Oct-Dec, 300-302:106031. doi: 10.1016/j.tvjl.2023.106031.
- Duncan, I.J. (2015). Does methane pose significant health and public safety hazards? - A review. *Environmental Geosciences*, 22(3), 85-96. doi:10.1306/eg.06191515005.
- Duval, S. & Kindermann, M. (2012). Use of nitrooxy organic molecules in feed for reducing enteric methane emissions in ruminants, and/or to improve ruminant performance. International Patent Application WO 2012/084629 A1.

- EFSA (2021). The use of animal-based measures at slaughter for assessing the welfare of calves on farm: EFSA's AHAW Network exercise. EFSA Supporting Publications, 18(12). doi:10.2903/sp.efsa.2021.en-7042.
- EFSA AHAW (2023). (EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare), Nielsen, S.S., Alvarez, J., Bicout, D.J., Calistri, P., Canali, E., Drewe, J.A., Garin-Bastuji, B., Gonzales Rojas, J.L., Schmidt, C.G., Herskin, M., Michel, V., Miranda Chueca, M.A., Padalino, B., Pasquali, P., Roberts, H.C., Spoolder, H., Stahl, K., Velarde, A., Viltrop, A., Jensen, M.B., Waiblinger, S., Candiani, D., Lima, E., Mosbach-Schulz, O., Van der Stede, Y., Vitali, M. & Winckler, C. (2023). Scientific Opinion on the welfare of calves. EFSA Journal 2023;21(3):7896, 197 pp. doi:10.2903/j.efsa.2023.7896.
- Elzing, A. & Swierstra, D. (1993). Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een varkensstal : invloed van een vloerbevuiling en vloertype. Ammonia emission measurements in a model system of a pig shed : influence of floor befouling and floor type. Wageningen. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen. Rapport 93-2. <https://edepot.wur.nl/276683>.
- Fangueiro, D., Hjorth, M. & Gioelli, F. (2015). Acidification of animal slurry – a review. Journal of Environmental Management, 149, 46–56. doi:10.1016/j.jenvman.2014.10.001.
- FAWC (1993). Report on priorities for animal welfare research and development. Farm Animal Welfare Council (FAWC). <https://edepot.wur.nl/134980>.
- Gerritzen, M., Kluivers-Poodt, M. & Van Reenen, C.G. (2016). Fysiologische en ethologische behoeften van niet gespeende kalveren in relatie tot transport langer dan 8 uur. Wageningen. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Rapport 957. doi:10.18174/385421.
- Gollenbeek L.R. & Aarnink, A.J.A. (2020). Vooronderzoek naar de emissies van lachgas, ammoniak, methaan en aerosolen uit een mestbeluchtingsunit. Wageningen Livestock Research, Rapport 1268. doi:10.18174/531067.
- Gollenbeek, L.R., Bokma, S. & Van Dooren, H.J.C. (2023). Analyse beschikbare technieken voor emissiereductie in vleeskalverstallen. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1425. doi:10.18174631421.
- Gollenbeek, L.R., Van Gastel, J.P.B.F., Casu, F.A.M. & Verdoes, N. (2021a). Emissies en kosten van verschillende scenario's voor de verwaarding van kalvermest; NL Next level mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1340. doi:10.18174/555424.
- Gollenbeek, L.R., Van Gastel, J.P.B.F., Casu, F.A.M. & Verdoes, N. (2021b). Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest; NL Next Level Mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1331. doi:10.18174/550823.
- Gollenbeek L.R., Vonk, J., Hopster, H & Puente Rodríguez, D. (2025). Pilot metingen stalklimaat op dierhoogte, Wageningen Livestock Research.
- Groenestein, C.M. (2006). Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw bedding. (PhD Thesis). Wageningen. Wageningen University, PhD Thesis.
- Groenestein, C.M., Bikker, P., Van Bruggen, C., Ellen, H., Van Harn, J., Huijsmans, J., Ogink, N.W.M., Šebek, L.B. & Vermeij, I. (2017). Aanvullende reservemaatregelen Landbouw: uitwerking van een Quick scan. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1145.
- Groenestein, C.M., Bokma, S. & Ogink, N.W.M. (2014). Actualisering ammoniakemissiefactoren vleeskalveren tot circa 8 maanden; Advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Lelystad. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research. Livestock Research Rapport 778.
- Groenestein, C.M., Goedhart, P.W., Van Bruggen, C., De Jonge, I. & Ogink, N.W.M. (2023). Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest - Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1426.
- Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M. & Schils, R.L.M. (2010). Emissies van broeikasgassen, ammoniak, fijn stof en geur in de mestketen. Lelystad. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 248.
- Groenestein, C.M., Melse, R., Mosquera, J. & Timmermans, M. (2020). Effect mestvergisting op de emissies van broeikasgassen uit mest van melkvee: een literatuur- en scenariostudie. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1235.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Metz, J.H.M., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R.W., Short, J.L., White, R.P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K.H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O. & Wathes, C.M. (1998). Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in northern Europe. J. Agric. Eng. Res, 70(1), 79-95. doi:10.1006/jaer.1998.0275.

- Gustafsson, G., Jeppsson, K., Hultgren, J. & Sanno, J.-O. (2005). Techniques to Reduce the Ammonia Emission from a Cowshed with Tied Dairy Cattle. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*, VII, Manuscript BC 04 010. Microsoft Word - BC 04 010 Gustafsson final 10Dec05.doc (psu.edu).
- Habtewold, J., Gordon, R., Sokolov, V., VanderZaag, A., Wagner-Riddle, C. & Dunfield, K. (2018). Reduction in Methane Emissions From Acidified Dairy Slurry Is Related to Inhibition of Methanosarcina Species. *Frontiers in Microbiology*, 8. doi:10.3389/fmicb.2018.02806.
- Heeres, J., Wolthuis, M., Bokma, S., Smits, D., Stockhofe, N., Vermeij, I. & Van Reenen, C.G. (2017). Alternatieve vloeren voor vleeskalveren. Wageningen. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Rapport 1056. doi:10.18174/425832.
- Hillman, P., Gebremedhin, K. & Warner, R. (1992). Ventilation System to Minimize Airborne Bacteria, Dust, Humidity, and Ammonia in Calf Nurseries. *Journal of Dairy Science*, 75(5), 1305-1312. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77881-3.
- Hoeksma, P., Oosthoek, J., Verdoes, N. & Voermans, J. A. M. (1993). Reductie van ammoniakemissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvlloeistof. IMAG-DLO rapport 93-23.
- Hooiveld, M., Van Dijk, C., Van der Sman-de Beer, F., Smit, L.A., Vogelaar, M., Wouters, I.M., Heederik, D.J. & Yzermans, C.J. (2015). Odour annoyance in the neighbourhood of livestock farming - perceived health and health care seeking behaviour. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 22(1), 55-61. doi:10.5604/12321966.1141369.
- Hristov, A.N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T.W., Harper, M.T., Weeks, H.L., Branco, A.F., Moate, P.J., Deighton, M.H., Williams, S.R.O., Kindermann, M. & 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. doi:10.1073/pnas.1504124112.
- Huber, M., Knottnerus, J.A., Green, L., Van der Horst, H., Jadad, A.R., Kromhout, D., Leonard, B., Lorig, K., Loureiro, M.I., Van der Meer, J.W.M., Schnabel, P., Smith, R., Van Weel, C. & Smid, H. (2011). How should we define health? *BMJ*, 343, d4163. doi:10.1136/bmj.d4163.
- Huber, M., Van Vliet, M., Giezenberg, M., Winkens, B., Heerkens, Y., Dagnelie, P.C. & Knottnerus, J.A. (2016). Towards a 'patient-centered' operationalization of the new dynamic concept of health: A mixed methods study. *BMJ*, 6(1). doi:10.1136/bmjopen-2015-010091.
- Huis in 't Veld, J.W.H. & Satter, I.H.G. (1998). Ammoniakemissie uit een vleesvarkensstal met opvang en verwijdering van mest via spoelgoten. Wageningen. Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO). Nota P98-44. <https://edepot.wur.nl/263638>.
- Hulbert, L.E. & Moisé, S.J. (2016). Stress, immunity, and the management of calves. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 3199-3216. doi:10.3168/jds.2015-10198.
- Im, S., Mostafa, A. & Kim, D.-H. (2021). Use of citric acid for reducing CH₄ and H₂S emissions during storage of pig slurry and increasing biogas production: Lab- and pilot-scale test, and assessment. *Science of the Total Environment*, 753, 142080. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142080.
- Jablonski, S., Rodowicz P. & Łukaszewicz, M. (2015). Methanogenic archaea database containing physiological and biochemical characteristics. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65(4), 1360-1368. doi:10.1099/ijs.0.000065.
- Jayanegara, A., Sarwono, K.A., Kondo, M., Matsui, H., Ridla, M., Laconi, E.B. & Nahrowi (2018). Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Italian Journal of Animal Science*, 17(3), 650-656. doi:10.1080/1828051X.2017.1404945.
- Ji, B., Banhazi, T., Perano, K., Ghahramani, A., Bowtell, L., Wang, C. & Li, B. (2020). A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosystems Engineering*, 199, 4-26. doi:10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009.
- Jiang, Y., Zhang, Y., Wang, S., Wang, Z., Liu, Y., Hu, Z. & Zhan, X. (2021). Improved environmental sustainability and bioenergy recovery through pig manure and food waste on-farm co-digestion in Ireland. *Journal of Cleaner Production*, 280, 125034. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125034.
- Jorgensen, M.W. (2016). Dairy calf health and welfare in automated feeding systems in the upper Midwest USA. University of Minnesota Ph.D. dissertation. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, <https://hdl.handle.net/11299/182812>.
- Kai, P. & Jacobsen, B.H. (2022a). Svovlsyreforsuring af gylle i kvægstalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag af revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 15 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

- Kai, P., Adamsen, A.P.S., Callesen, G.M. & Jacobsen, B.H. (2022b). Svovlsyreforsuring af gylle i grisestalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 20 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Kasper, P.L., Dolriis, M.D., Fuchs, A., Kai, P. & Riis, A.L. (2022). SVOVLSYREFORSURING I KVÆGSTALDE. Mælkeafgiftsfonden. SEGES Innovation Udgivet 14. Marts 2022.
- Kasper, G.J., Blanken, K. & Bokma, S. (2010). De urease-activiteit van Comfort Slat Mats in vergelijking met betonrooster in rundveestallen. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 390.
- Klop, G. (2016). Low Emission Feed: Using feed additives to decrease methane production in dairy cows. Wageningen University & Research, Wageningen. PhD Thesis.
- Kool, A., Kuling, L. & Blonk, H. (2020). Trendanalyse milieuprestaties Nederlands kalfsvlees. Gouda. Blonk consultantants. Trendanalyse milieuprestaties Nederlands kalfsvlees & erratum-kort-rapport-SBK-3-dec-2023.pdf.
- Kroes, K., Huurman, S., De Visser, C., Hemke, G., Van Liere, J. & Van den Top, N. (2016). De ECOFERM Kringloopboerderij in de praktijk. Utrecht. Innovatie Agro & Natuur.
- KWIN (2024) Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2024-2025. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Handboek 49.
- Lago, A., McGuirk, S.M., Bennett, T.B., Cook, N.B. & Nordlund, K.V. (2006). Calf respiratory disease and pen microenvironments in naturally ventilated calf barns in winter. *Journal of Dairy Science*, 89, 4014-4025. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaci.2012.05.050>.
- LNV (2023). Nota van wijziging amendement Vestering (2020002361). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).
- Ma, C., Dalby, F.R., Feilberg, A., Jacobsen, B.H. & Petersen, S.O. (2022). Low-Dose Acidification as a Methane Mitigation Strategy for Manure Management. *Agricultural Science & Technology*, 2(3), 437-442. doi:10.1021/acsagstech.2c00034.
- 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. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1472. doi:10.18174/650013.
- Maassen, K., Smit, L., Wouters, I., Van Duijkeren, E., Janse, I., Hagenaars, T., IJzermans, J., Van der Hoek, W. & Heederik, D. (2016). Veehouderij en gezondheid omwonenden. Bilthoven. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, : Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport. RIVM Rapport 2016-0058.
- Mahdinia, M., Adeli, S.H., Mohammadbeigi, A., Heidari, H., Ghamari, F. & Soltanzadeh, A. (2020). Respiratory Disorders Resulting From Exposure to Low Concentrations of Ammonia: A 5-Year Historical Cohort Study. *Journal of occupational and environmental medicine*, 62(8), e431-e435. doi:10.1097/JOM.0000000000001932.
- Manzanilla-Pech, C.I.V., De Haas, Y., Hayes, B.J., Veerkamp, R.F., Khansefid, M., Donoghue, K.A., Arthur, P.F. & Pryce, J.E. (2016). Genomewide association study of methane emissions in Angus beef cattle with validation in dairy cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 94(10), 4151 - 4166. doi:10.2527/jas2016-0431.
- Marcato, F. (2021). A journey to improve robustness of veal calves. Wageningen University & Research, Wageningen. PhD Thesis.
- Marcato, F., Van den Brand, H., Kemp, B., Engel, B., Schnabel, S.K., Hoorweg, F.A., Wolthuis-Fillerup, M. & Van Reenen, C.G. (2022a). Effects of transport age and calf and maternal characteristics on health and performance of veal calves. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1452-1468. doi:10.3168/jds.2021-20637.
- Marcato, F., Van den Brand, H., Kemp, B., Engel, B., Schnabel, S.K., Jansen, C.A., Rutten, V.P.M.G., Koets, A.P., Hoorweg, F.A., De Vries-Reilingh, G., Wulansari, A., Wolthuis-Fillerup, M. & Van Reenen, C.G. (2022b). Calf and dam characteristics and calf transport age affect immunoglobulin titers and hematological parameters of veal calves. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1432-1451. doi:10.3168/jds.2021-20636.
- Martinez-Fernandez, G., Duval, S., Kindermann, M., Schirra, H.J., Denman, S.E. & McSweeney, C.S. (2018). 3-NOP vs. Halogenated Compound: Methane Production, Ruminal Fermentation and Microbial Community Response in Forage Fed Cattle. *Frontiers in Microbiology*, 9(1582). doi:10.3389/fmicb.2018.01582.
- Massé, D.I., Jarret, G., Hassanat, F., Benchaar, C. & Cata Saady, N.M. (2016). Effect of increasing levels of corn silage in an alfalfa-based dairy cow diet and of manure management practices on manure fugitive methane emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, 109-114. doi:10.1016/j.agee.2016.01.018.

- McAfee, J.H. & Smith, D.L. (1988). Olecranon and prepatellar bursitis. Diagnosis and treatment. *Western Journal of Medicine*, 149(5), 607-610.
- McArthur, A.J. & Ousey, J.C. (1996). The effect of moisture on the thermal insulation provided by the coat of a thoroughbred foal. *Journal of Thermal Biology*, 21(1), 43-48. doi:10.1016/0306-4565(95)00019-4.
- McVotite, W.P.A. & Clark, O.G. (2019). The effects of temperature and duration of thermal pretreatment on the solid-state anaerobic digestion of dairy cow manure. *Heliyon*, 5(7), e02140. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e02140.
- Meijer, W., Monteny, G.J. & Van Hoof, W. (2022). Onderzoek naar de ammoniak, geur, methaan en stofemissie van proefstal Thelosen voor Vleeskalveren. Tauw, R001-1267834-V1 concept.
- Mellor, D.J. & Beausoleil, N.J. (2020). Moving beyond a Problem-Based Focus on Poor Animal Welfare toward Creating Opportunities to Have Positive Welfare Experiences. In: F.D. McMillan (Ed.), *Mental Health and Wellbeing in Animals* (pp. 50-66): CABI. doi:10.1079/9781786393401.0000.
- Melse, R.W. & Groenestein, C.M. (2016). Emissiefactoren mestbewerking. Inschatting van emissiefactoren van ammoniak, methaan en lachgas uit mestbewerking. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 962. <http://dx.doi.org/10.18174/386801>.
- Melse, R.W. & Van der Werf, A. (2005). Biofiltration for Mitigation of Methane Emission from Animal Husbandry. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 5460-5468. doi:10.1021/es048048q.
- Mirzaei-Aghsaghali, A. & Maheri-Sis, N. (2016). Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants: Microbiology and biotechnology strategies. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 4(1), 22-31. doi:10.14269/2318-1265/jabb.v4n1p22-31.
- Monteny, G.J. (2000). Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Wageningen University. PhD Thesis.
- Monteny, G.J. & Erisman, J.W. (1998). Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 46, 225-247.
- Monteny, G.J., Schult, D.D., Elzing, A. & Lamaker, E.J.J. (1998). A conceptual mechanistic model for the ammonia emissions from free stall cubicle dairy cow houses. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, 41(1), 193-201. doi:10.13031/2013.17151.
- Monteny, G.J. & Van Hoof, W. (2020). Emissiearme vleeskalverstallen. Deelrapport Fase 3: Case/control-metingen aan emissiereducerende systemen voor wit-/blankvleeskalveren gedurende 2 afmestperiodes in 2018/2019 in Someren (Noord-Brabant). Kei Groen & Monteny Milieu Advies.
- Mosquera, J., Aarnink, A.J.A., Ellen, H., Van Dooren, H.J.C., Van Emous, R.A., Van Harn, J. & Ogink, N.W.M. (2017a). Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken. Wageningen Livestock Research, Rapport 645. doi:10.18174/427311.
- Mosquera, J., Van Hattum, T., Nijeboer, G. M., Hol, J. M. G., Van Dooren, H. J. & Bokma, S. (2017b). Effect of floor type on the ammonia and odour emission from veal calves housing, Report 980. doi:10.18174/392090.
- Mosquera, J., Schils, R., Groenestein, C.M., Hoeksma, P., Velthof, G.L. & Hummelink, E. (2010). Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding. Lelystad. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 427.
- Mosquera, J., Van Dooren, H.J.C., Hol, J.M.G., Workel, L., Ploegaert, J.P.M. & Ogink, N.W.M. (2022). Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor rosé vleeskalveren; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1376.
- Mosquera, J., Van Hattum, T., Nijeboer, G.M., Hol, J.M.G., Van Dooren, H.J. & Bokma, S. (2019). Ammonia and odour emission from a veal calves housing system with V-shaped manure belt and 'Groene Vlag' slatted floor. Wageningen Livestock Research, Report 1171.
- Mukhopadhyay, S. & Ramaswamy, R. (2012). Application of emerging technologies to control Salmonella in foods: A review. *Food Research International*, 25, 666-667. doi:10.1016/j.foodres.2011.05.016.
- Nordlund, K.V. (2008). Practical Considerations for Ventilating Calf Barns in Winter. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 24(1), 41-54. doi:10.1016/j.cvfa.2007.10.006.
- Nordlund, K.V. & Halbach, C.E. (2019). Calf Barn Design to Optimize Health and Ease of Management. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 35(1), 29-45. doi:10.1016/j.cvfa.2018.10.002.

- Ollivett, T.L. (2020). How Does Housing Influence Bovine Respiratory Disease in Dairy and Veal Calves? *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 36(2), 385-398. doi:10.1016/j.cvfa.2020.03.012.
- Onk, H., Koopmans, J., Geck, C., Peters, B. & Van Bergen, J. (2015). Methane emission reduction from storage of manure and digestate-slurry. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 12(1), 121-137. doi:10.1080/1943815X.2015.1096796.
- Ostner, F., Hergt, T., Klein, S., Patzkéwitsch, D., Reese, S., Brühshwein, A., Meyer-Lindenberg, A., Schade, B., Böhm, B., Eisenreich, R., Rostalski, A., Götz, K.U., Erhard, M., Ritzmann, M. & Zöls, S. (2018). Technopathien der Gliedmaßen bei Mastschweinen: Ursachen, Entstehung und Tierschutzrelevanz. *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere / Nutztiere*, 46(06), 368-377. doi:10.15653/tpg-170874.
- Ottosen, L.D.M., Poulsen, H.V., Nielsen, D.A., Finster, K., Nielsen, L.P. & Revsbech, N.P. (2009). Observations on microbial activity in acidified pig slurry. *Biosystems Engineering*, 102(3), 291-297. doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.12.003.
- Patra, A., Park, T., Kim, M. & Yu, Z. (2017). Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(13). doi:10.1186/s40104-017-0145-9.
- Petersen, S.O., Andersen, A.J. & Eriksen, J. (2012). Effects of Cattle Slurry Acidification on Ammonia and Methane Evolution during Storage. *Journal of Environmental Quality*, 41(1), 88-94. doi:10.2134/jeq2011.0184.
- 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. doi:10.1111/jam.12498.
- Pines, M.K. & Phillips, C.J.C. (2013). Microclimatic conditions and their effects on sheep behavior during a live export shipment from Australia to the Middle East. *Journal of Animal Science*, 91(9), 4406-4416. doi:10.2527/jas.2012-5614.
- Puente-Rodríguez, D. & Bos, A.P. (2019). Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20): Ontwerpen voor huisvestingssystemen van melkvee met lage ammoniakemissie. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1162. doi:10.18174/474654.
- Puente-Rodríguez, D., Bos, A.P. & 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. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport, 1419. doi:10.18174/629797.
- Puente-Rodríguez, D., Gollenbeek, L.R., Verdoes, N. & Bos, A.P. (2022). Perspectief van het aanzuren van mest in Nederland om methaan- en ammoniakemissie te reduceren. Wageningen Wageningen Livestock Research, Rapport 1375. doi:10.18174/572080.
- Puente-Rodríguez, D., Van Dixhoorn, I.D.E., Hoorweg, F.A., Gollenbeek, L.R., Van Reenen, C.G., Aarnink, A.J.A., Verdoes, N. & Bokma, S. (2021). Kalverstal van de toekomst - (bijna) Praktijkrijpe ontwerpconcepten. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1298. doi:10.18174/542832.
- Puente-Rodríguez, D., Vonk, J., Bos, A.P., Maasdam, E. & Aarnink, A.J.A. (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. Wageningen Livestock Research, Rapport 1486. doi:10.18174/658567.
- Puente-Rodríguez, D., Vonk, J. & Bos, A.P. (2025). Testen, bemeten en doorontwerpen van mestkoelingssystemen als mitigatiestrategie in de melkveehouderij. Wageningen Livestock Research. In voorbereiding
- RDA. (2021). Zienswijze Dierwaardige Veehouderij. Raad voor Dierenaangelegenheden, RDA.2021.076.
- Rodhe, L.K.K., Ascue, J., Willén, A., Persson, B.V. & Nordberg, Å. (2015). Greenhouse gas emissions from storage and field application of anaerobically digested and non-digested cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199, 358-368. doi:10.1016/j.agee.2014.10.004.
- Roland, L., Drillich, M., Klein-Jöbstl, D. & Iwersen, M. (2016). Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2438-2452. doi:10.3168/jds.2015-9901.
- Sakurai, Y., Ogoshi, K., Kaku, M. & Kobayashi, I. (2002). Strongly acidic electrolyzed water: Valuable disinfectant of endoscopes. *Digestive Endoscopy*, 15, 19-24. doi:10.1046/j.1443-1661.2002.00176.x.

- Schukken, Y.H., Van Trijp, J.C.M., Van Alphen, J.J.M. & Hopster, H. (2019). staat van het dier. beschouwingen en opinies over de verschuivende relatie tussen mens en dier in nederland. Den Haag: <https://edepot.wur.nl/501668>.
- Šebek, L.B., Mosquera, J. & Bannink, A. (2016). Rekenregels voor de enterische methaanemissie op het melkveebedrijf en reductie van de methaanemissie via mest-handling; het handelingsperspectief van het voerspoor inzichtelijk maken met de Kringloopwijzer. Lelystad. Wageningen Livestock Research, Wageningen University and Research, Livestock Research Rapport 976. doi:10.18174/391726.
- Shah, A.M., Ma, J., Wang, Z., Hu, R., Wang, X., Peng, Q., Amevor, F. & Goswami, N. (2020). Production of hydrogen sulfide by fermentation in rumen and its impact on health and production of animals. *Processes*, 8(9). doi:10.3390/PR8091169.
- Sherlock, R.R., Sommer, S.G., Khan, R.Z., Wood, C.W., Guertal, E.A., Freney, J.R., Dawson, C.O. & Cameron, K. C. (2002). Emission of ammonia, methane and nitrous oxide from pig slurry applied to a pasture in New Zealand. *Journal of Environmental Quality*, 31(5), 1491-1501. doi:10.2134/jeq2002.1491.
- Shi, Z., Xi, L. & Zhao, X. (2023). Measurement of Ammonia and Hydrogen Sulfide Emission from Three Typical Dairy Barns and Estimation of Total Ammonia Emission for the Chinese Dairy Industry. *Animals*, 13(14), 1-12. doi:10.3390/ani13142301.
- Smits, M.C.J., Melse, R.W., Smits, A.C. & Ogink, N.W.M. (2005). Bouwsteen stallen. Quick scan van opties voor vermindering van ammoniak- en geuremissie uit vleeskalverstallen in de Agrarische Enclave Uddel Elspeet. Agrotechnology & Food Innovations B.V. Wageningen UR, Rapport 509.
- Snoek, D.J.W. (2016). Refining a model-based assessment strategy to estimate the ammonia emission from floors in dairy cow houses. Wageningen. Wageningen University, PhD Thesis.
- Sokolov, V., VanderZaag, A., Habtewold, J., Dunfield, K., Tambong, J.T., Wagner-Riddle, C., Venkiteswaran, J.J. & Gordon, R. (2020a). Acidification of Residual Manure in Liquid Dairy Manure Storages and Its Effect on Greenhouse Gas Emissions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 568648. doi:10.3389/fsufs.2020.568648.
- Sokolov, V.K., VanderZaag, A., Habewold, J., Dunfield, K., Wagner-Riddle, C., Venkiteswaran, J.J., Crolla, A. & Gordon, R. (2020b). Dairy manure acidification reduces CH₄ emissions over short and long-term. *Environmental Technology*, 42(18). doi:10.1080/09593330.2020.1714744.
- Sommer, S.G., Olesen, J.E. & Christensen, B.T. (1991). Effects of temperature, wind speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. *Journal of Agricultural Science*, 117(1991), 91-100.
- Sommer, S.G., Petersen, S.O. & Møller, H.B. (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69, 143-154. doi:10.1023/B:FRES.0000029678.25083.fa.
- Sommer, S.G., Clough, T.J., Balaine, N., Hafner, S.D., & Cameron, K.C. (2017). Transformation of Organic Matter and the Emissions of Methane and Ammonia during Storage of Liquid Manure as Affected by Acidification. *Journal of Environmental Quality*, May-June, 514-521. doi:10.2134/jeq2016.10.0409.
- Tan, Z. & Zhang, Y. (2004). A review of effects and control methods of particulate matter in animal indoor environments. *J Air Waste Manag Assoc.*, 54(7), 845-854. doi:10.1080/10473289.2004.10470950.
- Taxatieboekje (2024). (Her)bouwkosten agrarische gebouwen 2024. Den Haag. Bouwkosten.nl BV. NUR 955, ISBN: 9789493312289.
- Taylor, J.D., Fulton, R.W., Lehenbauer, T.W., Step, D.L. & Confer, A.W. (2010). The epidemiology of bovine respiratory disease: what is the evidence for predisposing factors? *Canadian Veterinary Journal*, 51, 1095-1102. doi:10.1111/j.1751-0813.1996.tb10027.x.
- Ter Burg, W. (2017). Technical Support document Hydrogen Cyanide - interim. Bilthoven. RIVM, 20170818-hydrogen cyanide-INTERIM. doi:10.1201/b10505-107.
- Ter Burg, W. (2022). Carbon dioxide Inhoudelijk vastgesteld. Bilthoven. RIVM, 20220608-carbon dioxide-INHOUDELIJK VASTGESTELD.
- Ter Burg, W. & Bos, P.M.J. (2009). Evaluation of the acute toxicity of CO₂. RIVM Centrum voor Stoffen en Integrale Risicoschatting (SIR).
- Troy, S.M., Duthie, C.A., Hyslop, J.J., Roehe, R., Ross, D.W., Wallace, R.J., Waterhouse, A. & Rooke, J.A. (2015). Effectiveness of nitrate addition and increased oil content as methane mitigation strategies for beef cattle fed two contrasting basal diets. *Journal of Animal Science* 93(4), 1815-1823. doi:10.2527/jas.2014-8688.

- Van Boxmeer, E.G.G., Ellen, H. & Gerritzen, M. (2023a). Vergroten overlevingskans landbouwhuisdieren bij brand. Wageningen Livestock Research, Rapport 1451. doi:10.18174/641444.
- Van Boxmeer, E.G.G., Schilder, H., Verdoes, N., Galama, P.J. & Kupers, G.C.C. (2023b). Samenstelling mestproducten uit innovatieve stalsystemen in de melkvee-, varkens- en kalverhouderij; Betere stal, betere mest, betere oogst. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1410. doi:10.18174/588047.
- Van Bruggen, C., Bannink, A., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Lagerwerf, L.A., Luesink, H.H., Velthof, G.L. & Vonk, J. (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen. WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 178. doi:10.18174/544296.
- Van Bruggen, C., Bannink, A., Bleeker, A., Bussink, D.W., Van Dooren, H.J.C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Kros, J., Lagerwerf, L.A., Oltmer, K., Ros, M.B.H., Van Schijndel, M.W., Schulte-Uebbing, L., Velthof, G.L. & Van der Zee, T.C. (2023). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021. Wageningen. WOT Natuur & Milieu. WOt-technical report 242.
- Van der Peet, G.F.V., Van der Meer, R.W., Docters van Leeuwen, H. & Van Wageningen-Lucardie, S.R.M. (2018). Monitoring integraal duurzame stallen; Peildatum 1 januari 2018. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1114.
- Van Dooren, H.J.C., Blanken, K. & Ogink, N.W.M. (2022). Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen; Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1304.
- Van Dooren, H.J.C., Ogink, N.W.M. & Vermeij, I. (2023). Sectoranalyse melkvee; Fase 1: Overzicht integraal duurzame stalsystemen ten behoeve van de Subsidiemodules brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen (Sbv). Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1434.
- Van Leenen, K., Jouret, J., Demeyer, P., Van Driessche, L., De Cremer, L., Masmeijer, C., Boyen, F., Deprez, P. & Pardon, B. (2020). Associations of Barn Air Quality Parameters with Ultrasonographic Lung Lesions, Airway Inflammation and Infection in Group-Housed Calves. *Preventive Veterinary Medicine* 181, 105056. doi:10.1016/j.prevetmed.2020.105056.
- Van Reenen, C.G., Vereijken, P., Buist, W., Thissen, J. & Engel, B. (2012). Vereenvoudiging van het Welfare Quality® protocol voor vleeskalveren. 1-125. *Livestock Research, Wageningen UR*, Rapport 536.
- Van Reenen, C.G. (2021). Supplemental Tables S1-S3. Figshare. Journal contribution. Figshare, 13-15. doi:10.6084/m9.figshare.17024522.v1.
- Van Reenen, C.G., Wolthuis-Fillerup, M., Heeres, J., Wesselink, M., Ruis, M., Stockhofe, N. & Bokkers, E. (2021). Pilotstudie implementatie welzijnsmonitor vleeskalveren. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1300. doi:10.18174/546906.
- Van Zijderveld, S.M., Gerrits, W.J.J., Dijkstra, J., Newbold, J.R., Hulshof, R.B.A. & Perdok, H.B. (2011). Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 4028-4038. doi:10.3168/jds.2011-4236.
- VanderZaag, A. & Baldé, H. (2022). Nutrient recovery abates methane emissions from digestate storage. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101086. doi:10.1016/j.biteb.2022.101086.
- Veit, H.P. & Farrell, R.L. (1978). The anatomy and physiology of the bovine respiratory system relating to pulmonary disease. *Cornell Veterinarian*, 68, 555-581.
- Verdoes, N. & Bokma, S. (2017). Scheiding van urine en feces bij melkvee: fysiologie, gedragsherkenning en techniek. Wageningen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1041.
- Vonk, J., Bannink, A., Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.W.H., Van der Kolk, J.W.H., Luesink, H.H., Oude Voshaar, S.V., Van der Sluis, S.M. & Velthof, G.L. (2016). Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA). Wageningen. The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), Wageningen UR, WOt-technical report 53.
- Vonk, J., Van der Sluis, S.M., Bannink, A., Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Van der Kolk, J.W.H., Lagerwerf, L.A., Luesink, H.H., Oude Voshaar, S.V. & Velthof, G.L. (2018). Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands – update 2018. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA). Wageningen. The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), Wageningen UR, WOt-technical report 115.

-
- Wang, T., He, Q., Yao, W., Shao, Y., Li, J. & Huang, F. (2019). The variation of nasal microbiota caused by low levels of gaseous ammonia exposure in growing pigs. *Frontiers in Microbiology*, 10(MAY), 1-14. doi:10.3389/fmicb.2019.01083.
- Welfare Quality (2023). Welfare Quality Assessment protocol for veal calves – Version 3.0. Welfare Quality Network. veal-calves-protocol.pdf (welfarequalitynetwork.net).
- Willeghems, G., De Clercq, L., Michels, E., Meers, E. & Buysse, J. (2016). Can spatial reallocation of livestock reduce the impact of GHG emissions? *Agricultural Systems*, 149, 11-19. doi:10.1016/j.agsy.2016.08.006.
- 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. doi:10.1016/j.jclepro.2019.07.036.
- Zappavigna, P., Lensink, J., Flaba, J., Ventorp, M., Greaves, R., Heiko, G., Ofner-Schrock, E., Ryan, T. & Van Gaenegem, L. (2014). The Design of Dairy Cow and Replacement Heifer Housing. CIGR, Report of the CIGR Section II working Group N° 14 Cattle Housing, 2014.
- Zeeman, G. (1991). Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. Wageningen. Landbouwniversiteit Wageningen, PhD Thesis. <https://edepot.wur.nl/202851>.
- Zeeman, G. (1994). Methane production/emission in storage's for animal manure. *Fertilizer Research*, 37, 207-211.

Bijlage 1 Dashboard kosten

Bedrijf

Aantal dierplaatsen Blankvleeskalveren 800 (KWIN 2024-2025)

Rosévleeskalveren 600 (KWIN 2024-2025)

m²/ dierplaats Blankvleeskalveren en rosévleeskalveren 2,0 m²

Kosten m² houten/betonnen roostervloeren

Blankvleeskalveren € 55/m² (geïndexeerd 25%) (Heeres et al., 2017)

Rosévleeskalveren € 45/m² (Taxatieboekje, 2024)

Mestproductie Per gemiddeld aanwezig dier:

Blankvleeskalveren 2,5 m³/jaar/dierplaats (KWIN 2024-2025)

Rosévleeskalveren 4,5 m³/jaar/dierplaats (KWIN 2024-2025)

Mest afvoerkosten € 20/m³ (Stichting Mestverwerking Gelderland - Persbericht De Kalverhouder, 10 oktober 2022⁴⁴).

Mestopslag

	Blankvleeskalveren			Rosévleeskalveren		
	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten	Investering	Vaste jaarkosten investering	Variabele jaarkosten
Opslag voor een half jaar mestproductie (€/kalverplaats) (Aarnink et al., 2023)	50	3,5	1,5	90	6	2,5

Overige

Rentepercentage 4,5% (bancaire rentenorm op zakelijke kredieten) (KWIN 2024-2025)

Prijs elektriciteit € 0,3/kWh (KWIN 2024-2025)

Alle kosten zijn excl. BTW.

⁴⁴ [Tarief SMG naar 20 euro per ton - DeKalverhouder.nl](#) (geraadpleegd mei 2024). Afzet op de vrije markt is uiteraard duurder.

Bijlage 2 Routinematig verzamelde praktijkgegevens

Eén van de aanbevelingen van Van Reenen (2021) is om (elementen uit) de welzijnsmonitor te integreren met andere reeds beschikbare of in ontwikkeling zijnde informatiebronnen en –systemen, zoals het InfoKalf, KalfVolgsysteem en Kalf OK. Nadere analyse van de relevantie van de daarin aanwezige data voor de evaluatie van emissiereductiemaatregelen levert het volgende op.

Infokalf

SKV-database Infokalf: <https://infokalf.skv.info/Account/Inloggen?ReturnUrl=%2f>

Gegevens die worden geregistreerd zijn diergeneesmiddelengebruik, dierdagdoserings en Voedsel Keten Informatie (VKI). Belangrijk is dat het 'voorschrijfgedrag' van de dierenarts en de 'risicoperceptie' van de kalverhouder, naast de aanwezigheid van ziekte, van invloed kunnen zijn op het diergeneesmiddelengebruik. De VKI bestaat uit antwoorden op 20 vragen die als doel hebben de risico's voor de voedselveiligheid/ volksgezondheid in te schatten, op basis waarvan o.a. de keuring al dan niet tot zichtkeuring beperkt kan blijven. Vraag nr. 5 betreft o.a. de gezondheidsstatus van het herkomstbedrijf. Als covariabele lijkt dit een relevant gegeven, maar wordt eveneens geregistreerd in KalfOK.

KalfVolgSysteem (<https://www.kalversector.nl/kalfvolgsysteem/>)

Het transport van kalveren tussen melkveehouder en verzamelcentrum of kalverhouder wordt geregistreerd in KVS. Handelaren of transporteurs beoordelen en controleren kalveren op de melkveehouderij op leeftijd, gewicht en gezondheid en op een juiste registratie van de haarkleur en sekse. Kalveren die aan alle criteria voldoen, worden van het melkveebedrijf meegenomen en in het KVS geregistreerd. Op het verzamelcentrum, dus voordat de kalveren naar de vleeskalverhouder gaan, voeren medewerkers van het verzamelcentrum een tweede controle uit op de genoemde criteria. In de toekomst zal het KVS gegevensuitwisseling gaan ondersteunen tussen de schakels van melkveehouderij tot kalverhouderij en terug. Er zal moeten worden nagegaan in hoeverre de gegevens die hier geregistreerd zijn, relevant zijn voor de evaluatie en bijvoorbeeld ook (deels) geregistreerd staan in het managementsysteem van de vleeskalverhouder.

Kalf Opfok Kwaliteit <https://www.zuivel.nl/org/programmas/diergezondheid-dierenwelzijn/diergezondheid-dierenwelzijn-in-kader-duurzame-zuivelketen>

De KalfOK-score is opgebouwd uit twaalf kengetallen die een goede indicatie geven van hoe het op een melkveebedrijf gaat met de gezondheid van de kalveren en het jongvee. De 12 ontwikkelde kengetallen geven inzicht in het geboorte- en opfokproces, de bedrijfsgezondheidsstatus en het antibioticagebruik bij de kalveren en het jongvee tot twee jaar leeftijd. De KalfOK-score is sinds 2018 beschikbaar voor alle melkveehouders. Circa 90% van de melkveehouders maakt er inmiddels gebruik van. Als verklarende (co)variabelen, naast invloeden op het vleeskalverbedrijf zelf, zijn indicatoren voor de (start)gezondheid van kalveren vanuit het herkomstbedrijf van belang. Kalf OK registreert hiervoor de volgende relevante indicatoren:

- Geboorten en opfok:
 - Levende geboorten
 - Succesvol gestarte vaarskalveren t/m 14 dagen
 - Succesvol gestarte stierkalveren t/m 14 dagen
- Bedrijfsgezondheidsstatus
 - BVD-status
 - IBR-status
 - Salmonella status niveau 1 (doorlopend gunstige tankmelkuitslagen).

Slachterijgegevens

Als kalveren worden geslacht worden standaard de volgende gegevens verzameld. ID-nr, gewicht, soort, kleur, vet, geboortedatum, leeftijdscade, sekse en slachtdatum. Verder worden afwijkingen gesignaleerd (0/1) aan hoofd, tong, darmen, longen, hartzwezerik, keelzwezerik, hart, nieren, prostaat en lever. Ook worden spuitplekken (nek, borst) gesignaleerd en wordt aangegeven of er reden is voor nader bacteriologisch onderzoek en antibioticaresiduen. Afwijkingen aan de longen zouden voor de evaluatie interessant kunnen zijn, ware het niet dat het weinig sensitieve 0/1 beoordelingen betreft.

Technische gegevens

Integraties en/of eigenaren houden technische gegevens bij. Er is geen centraal systeem, delen van deze data gebeurt niet en wordt door hen veelal als bedrijfsgevoelige informatie beschouwd. Slachtlijninfor (kg karkas, soort kleur en vet per koppel en een aantal karakteristieken gerelateerd aan voedselveiligheid) wordt gedeeld met de kalverhouder/eigenaar.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

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

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

