



Sectoranalyse melkvee

Fase 1: Overzicht integraal duurzame stalsystemen ten behoeve van de Subsidiemodules
brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen (Sbv)

H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink, I. Vermeij

Rapport 1434



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Sectoranalyse melkvee

Fase 1: Overzicht integraal duurzame stalsystemen ten behoeve van de Subsidiemodules
brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen (Sbv)

H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink, I. Vermeij

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van
Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema
'Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht' (BO-43-101-072).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juni 2023

Rapport 1434

Samenvatting: Aan Wageningen Livestock Research is gevraagd om middels een sectoranalyse inzicht te geven in de mogelijkheden om de emissie van ammoniak uit stallen en mestopslagen in de melkveehouderij met bestaande of nieuwe technieken of door combinaties daarvan te reduceren. In de eerste fase van deze sectoranalyse zijn de vragen beantwoord die direct bijdragen aan het opstellen van een Sbv-investeringsmodule. Op de lijst met erkende en beschikbare stalsystemen die met een (voorlopige) emissiefactor voor ammoniak in bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij zijn opgenomen, staan geen systemen die aan de definitie van een integrale brongerichte aanpak voldoen. Al deze systemen missen een reducerend effect op de methaanemissie. Uit modelberekeningen blijkt dat voor melkvee alleen door het betrekken van mestverwerking buiten de stal gecombineerd met stalmaatregelen een integrale reductie van emissies (methaan en ammoniak) uit stal en mestopslag mogelijk is.

Summary. As part of an analyses of the dairy sector in The Netherlands this report describes the answers to questions that contribute to the design of a subsidy to stimulate innovations in the dairy sector to reduce ammonia and methane emissions from housing and slurry storage. On the current list on annex 1 of the regulations on ammonia and livestock housing ('Regeling ammoniak en veehouderij') no system reduces ammonia as well as methane emission. Only by including slurry treatment combined with a low emission stable system model calculations show that an emission reduction of methane on farm level can be achieved.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/632741> 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, 2023

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

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

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

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

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Overzicht beschikbare systemen	8
2.1 Omschrijving bestaande en toepasbare systemen	8
2.2 Overzicht brongerichte maatregelen	8
2.3 Inschatting van de betrouwbaarheid van de verschillende systemen	9
2.4 Mogelijkheden om systemen te combineren met nageschakelde technieken	10
2.5 Samenvatting en conclusie	10
2.6 Toegevoegde brongerichte systemen	11
3 Potentiële emissiereductie	13
3.1 Potentiële emissiereductie voor ammoniak, methaan, geur en fijn stof	13
3.2 Afwenteling naar andere milieucomponenten en bedrijfsonderdelen	13
3.3 Toepassing in kelderloze stallen	14
4 Overzicht combinaties van bestaande technieken	15
5 Emissiereductie van stalsysteem	17
6 Investerings- en jaarkosten	18
7 Effecten op dierenwelzijn en veiligheidsrisico's	19
8 Conclusies	20
Literatuur	21
Bijlage 1 Tabellen	22

Samenvatting

In de brief aan de Tweede Kamer van 24 april 2020 (Kamerstukken, 2020), heeft de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) aangekondigd dat op basis van een sectoranalyse van de perspectieven van bestaande en nieuwe innovatieve technieken, aangescherpte emissienormen voor ammoniak voor nieuwe en bestaande stallen en geplande renovaties worden gesteld. Deze aanscherping moet bijdragen aan het halen van de streefwaarde: in 2030 dient ten minste 75% van de hectares met stikstofgevoelige natuur in Natura 2000-gebieden onder de kritische depositiewaarden (KDW) te zijn gebracht. Aan Wageningen Livestock Research is gevraagd om inzicht te geven in de mogelijkheden om de emissie van ammoniak uit stallen en mestopslagen in de melkveehouderij te reduceren. Met bestaande of nieuwe technieken of door combinaties daarvan. Deze vraag is uitgewerkt in een projectplan binnen het beleidsondersteunend onderzoek met thema 'Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht' getiteld Sectoranalyse melkvee (BO-43-101-072).

Het doel van dit project is een beeld te krijgen van de mogelijkheden en implementatie van brongerichte maatregelen en nageschakelde ('end-of-pipe') technieken in stallen en bij mestopslag in de melkveehouderij, om de ammoniak- en andere emissies te verminderen. Aanvullend is het doel om inzicht te verschaffen in de investeringskosten voor enkele melkveehouderijsystemen ten behoeve van de Sbv-investeringsmodule.

De uitwerking van dit project vindt plaats in twee fasen. In de eerste fase zullen de vragen beantwoord worden die direct bijdragen aan het opstellen van een Sbv-investeringsmodule. Die wordt naar verwachting dit najaar gepubliceerd en opengesteld. In de tweede fase worden de resterende vragen beantwoord of worden de eerder gestelde vragen nu in de bredere context van de sectoranalyse geplaatst.

In dit rapport worden de antwoorden gegeven op de vragen gesteld in fase 1 van de sectoranalyse melkvee

Op de lijst met erkende en beschikbare stalsystemen die met een (voorlopige) emissiefactor voor ammoniak in bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij zijn opgenomen, staan geen systemen die aan de definitie van een integrale brongerichte aanpak voldoen. Al deze systemen missen een reducerend effect op de methaanemissie.

Daarom is een aantal extra systemen in de beoordeling meegenomen die (vaak op basis van Rav-systeem) de mest buiten de stal verwerken en daarmee extra reductie van ammoniakemissie bereiken maar ook vaak de methaanemissie verlagen.

Criterium voor opname in de beoordeling was in deze fase van de sectoranalyse melkvee dat er (een zekere mate van) zekerheid is over de te behalen emissiereductie. Die is voor deze extra systemen gevonden in modelberekeningen uitgevoerd in het kader van de PPS Next Level Mestverwaarden (Gollenbeek et al., 2022a). Dat maakt vergelijkbaarheid met emissiereductie van Rav-systemen lastiger maar biedt wel perspectief voor integrale emissiereductie.

Uit die berekeningen blijkt dat alleen systemen waar mono-vergisting van (dagverse) mest een onderdeel van is, een positief exploitatieresultaat (jaaropbrengsten +/- jaarkosten) behalen. Mono-vergisting van (dagverse) mest zorgt ook voor de grootste reductie van de methaanemissie uit mest.

Systemen waarbij water of ammoniumarme vloeistof gebruikt wordt voor het spoelen van de loopvloer of waarbij kelderafzuiging wordt toegepast reduceren de ammoniakemissie het meest.

Conclusie is dat voor melkvee alleen door het betrekken van mestverwerking buiten de stal een integrale reductie van emissies (methaan en ammoniak) uit stal en mestopslag mogelijk is.

1 Inleiding

In de brief aan de Tweede Kamer van 24 april 2020 (Kamerstukken, 2020), heeft de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) aangekondigd dat op basis van een sectoranalyse van de perspectieven van bestaande en nieuwe innovatieve technieken, aangescherpte emissienormen voor ammoniak voor nieuwe en bestaande stallen en geplande renovaties worden gesteld. Deze aanscherping moet bijdragen aan het halen van de streefwaarde: in 2030 dient ten minste 75% van de hectares met stikstofgevoelige natuur in Natura 2000-gebieden onder de kritische depositiewaarden (KDW) te zijn gebracht. Aan Wageningen Livestock Research is gevraagd om inzicht te geven in de mogelijkheden om de emissie van ammoniak uit stallen en mestopslagen in de melkveehouderij verder te reduceren. Met bestaande of nieuwe technieken of door combinaties daarvan. Deze vraag is uitgewerkt in een projectplan binnen het beleidsondersteunend onderzoek met thema 'Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht' getiteld Sectoranalyse melkvee (BO-43-101-072).

Het doel van dit project is een beeld te krijgen van de mogelijkheden om met integrale brongerichte maatregelen en nageschakelde ('end-of-pipe') technieken de ammoniak- en methaanemissie in stallen en bij mestopslagen in de melkveehouderij te verminderen. Aanvullend is het doel om inzicht te verschaffen in de investeringskosten voor enkele melkveehouderijsystemen ten behoeve van de Sbv-investeringsmodule.

Onder maatregelen voor integrale verduurzaming van de melkveehouderij worden die brongerichte maatregelen bedoeld die gerealiseerd worden om de gestelde emissiereductie voor ammoniak en methaan te behalen en daarnaast ook leiden tot verbetering van het dierenwelzijn, waaronder ten minste ook de brandveiligheid (Staatscourant, 2021).

De uitwerking van dit project vindt plaats in twee fasen. In de eerste fase zullen de vragen beantwoord worden die direct bijdragen aan het opstellen van een Sbv-investeringsmodule die naar verwachting dit najaar gepubliceerd en opengesteld zal worden. In de tweede fase worden de resterende vragen beantwoord of worden de eerder gestelde vragen nu in de bredere context van de sectoranalyse geplaatst.

In dit rapport worden de antwoorden gegeven op de vragen gesteld in fase 1 van de sectoranalyse melkvee. Deze vragen zijn opgenomen in onderdeel A van het projectplan. Het betrof de volgende vragen:

- Welke bestaande systemen zijn beschikbaar voor een melkveehouder voor een integrale brongerichte aanpak van ammoniakemissie en welke leiden tot een vermindering van emissies naar de leefomgeving en een verbetering van het stalklimaat?
- Wat zijn per techniek de potentiële emissiereducties die behaald kunnen?
- Welke combinaties van bestaande technieken zijn beschikbaar voor een integrale brongerichte aanpak van in ieder geval methaan en ammoniak in zowel stal als opslag?
- Wat is de te behalen reductie van ammoniak- en methaanemissie van bestaande systemen op het gehele stalsysteem?
- Wat zijn per techniek de investerings- en jaarkosten en de afschrijvingstermijn?
- Wat zijn de risico's op gebied van brandveiligheid van de geïnventariseerde combinaties?

2 Overzicht beschikbare systemen

2.1 Omschrijving bestaande en toepasbare systemen

Bestaande systemen zijn gedefinieerd als technieken waarvan het emissie reducerende effect voor ammoniak bekend is en die opgenomen zijn in bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) met een definitieve of voorlopige emissiefactor. De geldende versie van de Rav is te vinden op <https://wetten.overheid.nl/>. De inhoud van dit rapport is gebaseerd op de versie die geldig was tot 1 april 2023.

Een overzicht van de beschikbare technieken op de Rav zijn weergegeven in Tabel 1. Daarin worden technieken weergegeven met het nummer binnen de diercategorie A1 (Melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar), de beschrijving van de techniek zoals opgenomen in de Rav en het BWL nummer dat verwijst naar de stalbeschrijving. Voor zover openbaar beschikbaar zijn deze stalbeschrijvingen te vinden op <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypen/hoofdcategorie/>. Vervolgens worden de bijbehorende emissiefactoren voor ammoniak (NH₃) en PM10 (fijnstof) in Tabel 1 weergegeven.

Een emissie reducerend systeem kan wel in Bijlage 1 van de Rav staan maar niet meer beschikbaar zijn voor toepassing bij nieuwbouw omdat:

- Het huisvestingssysteem als inactief is gemarkeerd (eindnoot 28). Daardoor kan het systeem in nieuwe situaties niet meer worden toegepast. De voorlopig vastgestelde emissiefactor blijft gehandhaafd voor huisvestingssystemen waarvoor vergunning is verleend, of (als geen vergunning nodig is) die zijn toegepast voor de datum waarop de eindnoot op het huisvestingssysteem van toepassing is verklaard.
- De emissiefactor boven de maximale emissiewaarde voor ammoniak ligt zoals vastgelegd in het Besluit emissiearme huisvesting (Beh). Voor melkvee is dat sinds 1 januari 2008 8,6 kg NH₃ per dierplaats per jaar.

Na selectie op deze twee criteria (en na uitsluiting van de grupstal) blijken 17 emissie reducerende systemen beschikbaar te zijn voor toepassing door veehouders. Daarvan hebben er 11 een definitieve emissiefactor variërend van 6 tot 8 kg NH₃ per dierplaats per jaar en 6 een voorlopige emissiefactor variërend van 3,6 tot 8,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar (zie Tabel 1 in Bijlage 1).

Al deze systemen leiden, in de systematiek van de Rav, tot een reductie van de ammoniakemissie naar de leefomgeving en volgen een brongerichte aanpak. Door de brongerichte aanpak is het aannemelijk dat ook de ammoniakconcentratie in de stal lager zal worden. Daarmee dragen de systemen allemaal bij aan een verbetering van het stalklimaat voor zover dat afhankelijk is van de emissie reducerende maatregelen.

2.2 Overzicht brongerichte maatregelen

De brongerichte aanpak is bij 15 van deze technieken, in allerlei varianten, gebaseerd op een vloeruitvoering. Doel daarbij is dat de urine die op de vloer valt zo snel mogelijk via groeven, sleuven, gleuven of gaten in beton, rubber of kunststof horizontaal wordt afgevoerd naar de kelder onder de vloer of naar een opslag buiten de stal. Daarbij wordt er naar gestreefd het contact met feces bevuild oppervlak zo kort mogelijk te houden. Uitzondering daarop is het systeem A1.37. De urine die op deze vloer valt infiltreert verticaal in de vloer en stroomt door de vloer naar de kelder. De feces die op al deze vloeren valt wordt met een mestschuif of mestrobot weggeschoven of opgeraapt.

De brongerichte aanpak bij de ander twee systemen wijkt af van de vloertechnieken. Systeem A1.36 ('Cowtoilet' van Hanskamp) vangt een deel van de urine die door de koeien wordt geproduceerd rechtstreeks

onder de staart op voordat het op de vloer terecht komt. Deze urine wordt gescheiden opgeslagen en niet gemengd met de drijfmest in de kelder of mestopslag. Momenteel worden er emissiemetingen uitgevoerd ter onderbouwing van de aanvraag voor een definitieve emissiefactor ammoniak. Ook maakt het koetoilet onderdeel uit van de PPS Mestscheiding ([AF-18036](#)) die op Dairy Campus in Leeuwarden wordt uitgevoerd. De emissiemetingen die daarin gedaan worden aan het koetoilet zullen ook gebruikt worden bij de aanvraag van de definitieve emissiefactor ammoniak. Daarmee is voorzien in de helft van het benodigd aantal emissiemetingen voor het verkrijgen van een definitieve emissiefactor. Systeem A1.39 (Lely Sphere) combineert de brongerichte aanpak van de vloersystemen (afvoer van urine en verwijdering van de feces) met een mechanische kelderluchtafzuiging met een chemische luchtwasser. De emissiemetingen die zijn uitgevoerd voor onderbouwing van de aanvraag voor een definitieve emissiefactor zijn aangeboden aan RVO in de vorm van een meetrapport.

2.3 Inschatting van de betrouwbaarheid van de verschillende systemen

De betrouwbaarheid van een systeem zegt iets over de kans dat de weergegeven emissiereducties, bij goed gebruik van het systeem, daadwerkelijk worden behaald. De betrouwbaarheid is weergegeven in Tabel 1. Daarin zijn de verschillende systemen gescoord op een schaal van 1 (onbetrouwbaar) t/m 5 (betrouwbaar). Deze indeling komt overeen met die de sectoranalyses voor varkens (Aarnink et al. 2023) en kalveren (Gollenbeek et al., 2022b). Ondanks de vergelijkbare schaalindeling blijft de betrouwbaarheid een relatieve beoordeling *binnen* een sector en kunnen systemen niet onderling *tussen* sectoren vergeleken worden. Bij een individueel bedrijf wordt de betrouwbaarheid enerzijds bepaald door verschillen in omgeving en bedrijfsvoering of management. Dat leidt tot verschillen in emissies ook al is het stalsysteem gelijk en functioneert het zoals bedoeld. Dit geldt vooral voor ammoniak en methaan en in de melkveehouderij minder voor geur en fijnstof.

Daarnaast wordt de betrouwbaarheid bij systemen met een voorlopige emissiefactor bepaald door de procedure waarmee deze voorlopige emissiefactor wordt bepaald. Een voorlopige emissiefactor wordt vastgesteld op basis van maximaal vier goedgekeurde aanvragen voor een bijzondere emissiefactor (proefstalaanvraag). Daar bovenop wordt een risicoprocentage van 15% gehanteerd. Deze voorlopige emissiefactor gaat dus vooraf aan emissiemetingen volgens het protocol voor de meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij (laatste versie Ogink et al., 2017). De bijzondere emissiefactor wordt voor reductietechnieken in de melkveehouderij vrijwel altijd berekend met behulp van het ammoniakemissiemodel versie 2 dat gebaseerd is op Monteny et al, 1998. De berekeningen worden uitgevoerd door leden van de technische adviespool (TAP) van RVO. Bij de berekeningen van de ammoniakemissie moeten aannames gedaan worden voor de invoerparameters van het model om de effectiviteit van de nieuwe techniek in te kunnen schatten. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een lijst waarop de waarden van de invoerparameters zijn gestandaardiseerd voor veel voorkomende situaties. Ondanks deze standaardisatie wordt de kans dat de ammoniakemissie bij toepassing van de technieken onder praktijkomstandigheden afwijkt van de berekende emissie ingeschat als groot en is de onzekerheid rond die bijzondere en voorlopige emissiefactor dus ook groot. In fase 2 van de sectoranalyse zal hier mogelijk nader op worden ingegaan op basis van een vergelijking tussen de berekende bijzonder of voorlopige emissiefactor en de definitieve emissiefactor door of op basis van informatie van de TAP. De definitieve emissiefactor is gebaseerd op metingen volgens het meetprotocol. Toch blijven er twijfels over deze emissies naar aanleiding van een rapportage van het CBS (van Bruggen en Geertjes, 2019). In deze publicatie is te weinig informatie beschikbaar om de mate van tegenvallende emissiereductie of de onzekerheid daarover per systeem te beoordelen. Er worden in het rapport alleen uitspraken over de effectiviteit van emissie reducerende systemen als groep gedaan. Momenteel wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de toegepaste methodiek in het CBS-rapport (verificatie resultaten CBS-stalbalansmethode en onderzoek naar samenstelling overige N-emissies uit stal en opslag). Hierin worden nieuwe, recentere datasets geanalyseerd met gegevens over meer jaren en van meer stallen. Met een grotere dataset kan die opsplitsing mogelijk wel gemaakt worden mits er voldoende gegevens per techniek-groep beschikbaar zijn. Deze analyse komt later in 2023 beschikbaar. Daarnaast is een ander onderzoek uitgevoerd met een analyse van de oorzaken van de tegenvallende effectiviteit van emissiearme technieken, onder andere in de

melkveehouderij (Bremmer et al., 2022). Hierin worden achtergronden en mogelijke oorzaken van deze tegenvallende effectiviteit van deze systemen opgesomd. Genoemde mogelijke oorzaken zijn:

- Erg grote onzekerheidsmarge bij meting van emissies ondanks toelatingsprocedure en meetprotocol
- Ruimte voor beïnvloeding van emissiemetingen en ontbreken van controle daarop.
- Veranderingen in omstandigheden en praktijken ten opzichte van die waaronder de emissiemetingen zijn uitgevoerd.
- Afwijkend gebruik en onderhoud van de toegepaste systemen ten opzichte van de voorschriften en het ontbreken van voldoende controle daarop.

Alles samenvattend wordt de betrouwbaarheid rond de werkelijke ammoniakemissie van een systeem met een voorlopige emissiefactor ingeschat als 'weinig betrouwbaar' en voor systemen met een definitieve emissiefactor als 'enigszins betrouwbaar' (zie Tabel 1).

Voor de overige componenten (methaan, lachgas, geur en fijnstof) is eerder geconstateerd dat de verschillende beschikbare technieken deze emissies niet beïnvloeden. Er is voor deze componenten voor de verschillende technieken daarom geen emissiefactor vastgesteld (zoals voor methaan, lachgas en geur) of er geldt een emissiefactor die gelijk is aan de referentietechniek (overige huisvestingssystemen) zoals voor PM10. Het is dan ook niet zinvol over (on)zekerheid of betrouwbaarheid daarvan te praten.

2.4 Mogelijkheden om systemen te combineren met nageschakelde technieken

De vraag welke technieken kunnen worden gecombineerd met een aanvullende nageschakelde techniek is beantwoord in Tabel 1. Alle technieken kunnen vanuit technisch oogpunt gecombineerd worden met een nageschakelde techniek zoals een (chemische) luchtwasser. Toepassing van een nageschakelde techniek in de vorm van een (chemische) luchtwasser die alle ventilatielucht behandelt vraagt in een natuurlijk geventileerde stal ingrijpende aanpassingen van de ventilatieopeningen. Alleen als voldoende onderdruk in de stal is kan aangenomen worden dat alle uitgaande lucht de stal via de wasser verlaat. Om voldoende onderdruk in de hele stal te kunnen creëren moeten de ventilatieopeningen in zijwanden en nok grotendeels dicht gemaakt worden. Combinatie van een nageschakelde techniek met een brongerichte maatregel levert verdere reductie van de ammoniakemissie op. Een combinatie van een chemische luchtwasser en een brongerichte maatregel ligt echter niet voor de hand omdat bij juiste toepassing de te behalen emissiereductie van een chemische luchtwasser veel groter (tot 95% reductie) is dan de emissiereductie die bereikt wordt met de verschillende andere technieken (35-54%). De chemische luchtwasser in het systeem A1.39 (Lely Sphere) maakt onderdeel uit van het systeem en valt niet onder de omschrijving van een nageschakelde techniek als aanvullende techniek op bestaande stalsystemen. De stalemissie in dit systeem zou wellicht met een nageschakelde techniek verder gereduceerd kunnen worden.

2.5 Samenvatting en conclusie

In deze paragraaf is een overzicht gegeven van de bestaande brongerichte systemen die toepasbaar zijn in de melkveehouderij en die zorgen voor een vermindering van emissies naar de leefomgeving en een verbetering van het stalklimaat. De inschatting van het risico dat de werkelijke ammoniakemissie afwijkt van de verwachtingen is bij deze systemen groot tot zeer groot. Bij alle systemen is het technisch mogelijk om deze brongerichte maatregelen te combineren met een nageschakelde techniek. Dat levert extra emissiereductie voor ammoniak op maar de winst ten opzichte van alleen het gebruik van de nageschakelde techniek is beperkt. Geen van de systemen reduceert echter de methaanemissie en is daar ook niet voor ontwikkeld. *Er zijn dus onder de bestaande brongerichte systemen met een bekende ammoniakemissie geen integraal reducerende technieken beschikbaar.*

Daarom zijn ook een aantal systemen opgenomen in deze eerste fase waarvan verwacht wordt dat ze op korte termijn opgenomen kunnen worden op bijlage 1 van de Rav en/of waarvan uit literatuurbronnen gegevens bekend zijn over de reductie van emissie van ammoniak en methaan en de investeringen en jaarkosten (zie paragraaf 2.1.6)

2.6 Toegevoegde brongerichte systemen

Aan de hierboven beschreven brongerichte stalsystemen op de Rav zijn een aantal systemen toegevoegd (zie ook Tabel 2). Deze systemen (scenario's genoemd) zijn voornamelijk afkomstig uit het rapport over verwaarding van rundveemest (Gollenbeek et al., 2022a). De studie maakte onderdeel uit van het de PPS Next Level Mestverwaarden (AF-18136). In dit rapport zijn verschillende combinaties van stalsystemen en scenario's voor mestverwaarding in de melkveehouderij beschreven. De effecten daarvan op de emissie van ammoniak en methaan uit stal, tijdens opslag en bij het uitrijden en de bijbehorende investeringen en jaarkosten zijn berekend met daarvoor in de PPS ontwikkelde modellen. Een aantal scenario's komt goed overeen met de definitie van integrale brongerichte systemen die in de eerste fase van deze sectoranalyse wordt gebruikt (Staatscourant, 2021). De omschrijving van de scenario's en alle bijbehorende gegevens en berekeningen zijn uit Gollenbeek et al. (2022a) overgenomen. Het gaat om de volgende systemen met tussen haakjes het nummer van dit scenario in Gollenbeek et al. (2022a):

Referentie (1)

Dit is een situatie vergelijkbaar met de categorie A1.100 (overige huisvestingsystemen) waarbij drijfmest wordt geproduceerd in een stal met een standaard betonnen roostervloer die 6 maanden in de kelder onder de vloer wordt opgeslagen.

Mono-vergisting (2)

Hierbij wordt de drijfmest die geproduceerd wordt op het bedrijf vergist. Het geproduceerde biogas wordt in een warmte-krachtkoppeling (WKK) omgezet in elektriciteit en warmte. Het digestaat wordt opgeslagen en op het bedrijf gebruikt.

Scheiding + Verdunning + Strippen (+ mono-vergisting) (4.1 en 4.2)

Hierbij wordt de drijfmest mechanisch gescheiden in een dikke en dunne fractie. Door het toevoegen van een base wordt de ammoniak uit de dunne fractie gedreven en wordt daarna met een chemische (zure) wasser uit de lucht verwijderd. De overblijvende (ammoniakarme) vloeistof wordt gebruikt om de vloer in de stal te spoelen en de mest te verdunnen. De dikke fractie wordt in de ene variant (4.1) opgeslagen en uitgereden en in de andere variant (4.2) eerst vergist. Dit dergelijk systeem wordt door JOZ onder de naam Gazoo op de markt gebracht en krijgt naar verwachting binnenkort in de Rav een voorlopige emissiefactor voor ammoniak.

Dagontmesting (+affakkelen) (5 en 5.1)

Hierbij wordt de drijfmest dagelijks uit de stal verwijderd (via een schuif op een dichte vloer) en extern opgeslagen op het bedrijf. In Gollenbeek et al. (2022a) is als uitgangspunt het Rav-systeem A1.21 gekozen met een emissiefactor van 7,0 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Dit is echter een niet volledig dichte vloer waardoor een deel van de mest en urine in de onderliggende kelder terecht zal komen. Het principe lijkt daardoor beter toepasbaar op vloeren die ook zonder kelder aangelegd kunnen worden zoals bijvoorbeeld A1.18, A1.26, A1.31 en anderen. Omdat gebruik van een systeem met een andere emissiefactor gevolgen heeft voor de beschreven berekeningen is echter deze keuze gevolgd. Als variant hierop (die niet wordt behandeld in Gollenbeek et al. (2022a)) is ook het gebruik van een fakkel meegenomen waarmee de lucht uit de mestopslag wordt gereinigd van methaan. Aangenomen is dat deze fakkel een verwijderingsefficiëntie van 80% heeft voor zowel methaan als ammoniak.

Dagontmesting + Mono-vergisting (6)

Hierbij wordt net als in scenario 5 de mest direct uit de stal verwijderd en daarna vergist (zie scenario 2).

Primaire scheiding van feces en urine (8)

Hierbij wordt in de stal al een scheiding gemaakt tussen feces (vast mest) en urine. De urine wordt afgevoerd naar de kelder onder de stal. De feces wordt met een schuif uit de stal verwijderd en gescheiden opgeslagen.

Semi-dichte vloer + onder afzuiging (+ mono-vergisting) (9)

Dit systeem komt overeen met A1.39 aangevuld met gescheiden opslag van de vaste mest die van de roostervloer wordt verwijderd (9.1) en vergisting daarvan in een mono-vergister (9.2).

Van de toegevoegde systemen is de emissie van ammoniak, methaan en lachgas door berekening ingeschat. Het risico op afwijkende ammoniakemissies in de praktijk wordt ook bij deze systemen ingeschat als *groot* als de basis van het systeem gevormd wordt door een systeem met een definitieve emissiefactor en *zeer groot* als een systeem met een voorlopige emissiefactor aan de basis ligt. Voor methaan en lachgas is de onzekerheid ook *groot*.

3 Potentiële emissiereductie

3.1 Potentiële emissiereductie voor ammoniak, methaan, geur en fijn stof

De (potentiële) reductie van ammoniakemissie die behaald kan worden met de 17 geselecteerde technieken zijn berekend op basis van de definitieve of voorlopige emissiefactor uit de Rav en de emissie voor overige huisvestingssystemen (A1.100) en weergegeven in Tabel 1. De reductie varieert voor vloersystemen van 36% voor A1.35 (V17 Agro V1) met een voorlopige emissiefactor van 8,3 kg NH₃ per dierplaats per jaar tot 54% voor A1.13 (Ecovloer), A1.23 (Swaans Patent Comfort G6) en A1.28 (Proflex Meadow) allen met een emissiefactor van 6 kg NH₃ per dierplaats per jaar. De resterende twee technieken behalen een reductie van 35% voor A1.36 (Koetoilet) met een voorlopige emissiefactor van 8,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar en 72% voor A1.39 (Lely Sphere) met een voorlopige emissiefactor van 3,6 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Voor de emissie van methaan, lachgas en geur is geen emissiefactor beschikbaar en kan daarom geen emissiereductie berekend worden. De verwachting is dat al deze technieken de emissie van deze componenten niet reduceren.

Voor fijnstof is voor alle beschikbare technieken wel een emissiefactor beschikbaar van 148 gram PM10 per dier per jaar maar die wijkt niet af van het emissieniveau van de overige huisvestingssystemen (A1.100). De reductie is in alle gevallen 0%. De toepassing van een chemische luchtwasser als aanvullende nageschakelde techniek zou de fijnstofemissie wel verlagen. De emissiefactor voor een chemische luchtwasser (A1.17) is 96 gram PM10 per dier per jaar. Dat is een reductie van 35%, mits de luchtwasser juist wordt toegepast en alle lucht de stal via de luchtwasser verlaat.

De ammoniakemissie uit de stal van de toegevoegde systemen is op twee manieren berekend. Er is gebruik gemaakt van de emissiefactoren van de toegepaste reductiesystemen uit de Rav zoals beschreven in Gollenbeek et al. (2022a). Dat levert een reductiepercentage op stalniveau op die is weergegeven in Tabel 2. De ammoniak-, methaan- en lachgasemissie is door Gollenbeek et al. (2022a) berekend op basis van een emissiemodel en massabalansen en uitgewerkt voor zowel een intensief bedrijf zonder weidegang als een extensief bedrijf met weidegang. De aanpak en uitgangspunten voor de berekeningen zijn in het genoemde rapport uitgebreid beschreven. Reductiepercentages voor ammoniak, methaan en lachgas van het intensieve bedrijf zonder weidegang zijn ook weergegeven in Tabel 2. Tevens is daarin de totale emissie op bedrijfsniveau opgenomen. Over de emissie van geur en fijnstof (PM10) van deze systemen zijn geen gegevens beschikbaar.

3.2 Afwenteling naar andere milieucomponenten en bedrijfsonderdelen

Van afwenteling is sprake wanneer door het toepassen van een emissie reducerend systeem de emissie op een andere plek of van een andere gas toeneemt én ook de totale emissie toeneemt waardoor de emissiereductie in de stal geheel of gedeeltelijk teniet wordt gedaan.

Het werkingsprincipe van de systemen die opgenomen zijn in de Rav (Tabel 1), heeft geen invloed op de vorming en emissie van methaan, lachgas, geur of fijn stof (PM10). Hierdoor wordt verwacht, dat er *in de stal* bij deze systemen geen afwenteling plaatsvindt naar andere gassen. De emissie van andere milieucomponenten verandert dus niet door toepassing van deze Rav-systemen. Alleen bij toepassing van een chemische luchtwasser als nageschakelde techniek is vermindering van de fijnstofuitstoot aangetoond (Melse et al, 2012). Bij de stalsystemen op de Rav is geen informatie bekend over de afwenteling van ammoniakemissie naar andere onderdelen van het bedrijf (opslag en aanwending). De emissiefactoren voor aanwenden van drijfmest worden uitgedrukt als percentage van het ammonium-N gehalte in de toegediende

mest. Als het stalsysteem dus effectief is (minder verlies van ammonium-N door lagere ammoniakemissie) zal de absolute emissie tijdens uitrijden toenemen.

Voor de systemen die zijn toegevoegd uit Gollenbeek et al. (2022a) is niet alleen de emissies uit de stal berekend maar ook de emissie tijdens opslag, aanwending en (als dat van toepassing is) tijdens mestverwerking. Afwenteling van de stal naar opslag, verwerking en toediening, is daarmee weer te geven in een percentage dat berekend is als de toename van de totale emissie van het scenario ten opzichte van de totale emissie van het referentiescenario (Tabel 2). Een 'interne' verschuiving van de emissies zonder dat het totaal toeneemt wordt dus niet gezien als afwenteling. De afwenteling blijft voor ammoniak en methaan beperkt tot respectievelijk 3% en 1% voor enkele systemen (zie Tabel 2). Afwenteling naar lachgasemissie treedt bij bijna alle systemen op en varieert van 1%-35% (zie Tabel 2).

3.3 Toepassing in kelderloze stallen

Sommige van deze Rav-systemen zijn ook toe te passen in stallen zonder mestopslag (kelderloze stallen). Als dat het geval is wordt dat in Tabel 1 aangegeven. Deze inschatting is voor een groot deel gebaseerd op een overzicht van emissiearme stalsystemen voor de melkveehouderij opgesteld door Exlan-Agrifirm (Agrifirm, 2020). In dat geval wordt er geen mest meer in de stal opgeslagen maar wordt de mest dagelijks afgevoerd naar een externe opslag. Deze variant is opgenomen als scenario 5 in Gollenbeek et al. (2022a). Het is daardoor mogelijk of makkelijker om reductietechnieken in de externe mestopslag toe te passen. Als voorbeeld daarvan is voor affakkelen (variant op scenario 5) en mono-vergisting (scenario 6) gekozen. Kelderloos bouwen is weinig gebruikelijk in de Nederlandse melkveehouderij. Dat is deels omdat het bouwen van een kelder bouwkundige voordelen kan hebben. Maar vaker dan nu gebruikelijk is zou een stal ook zonder kelder gebouwd kunnen worden. Dat heeft een aantal voordelen:

- Beter binnenklimaat door ontbreken van belangrijke emissiebron
- Meer mogelijkheden om emissie reducerende technieken toe te passen bij externe mestopslag
- Beschikbaarheid van versere mest met een hogere methaanopbrengst bij vergisting.
- Minder ammoniak- en methaanemissie uit de stal
- Vermindering van brand- en ontploffingsgevaar

Daar tegenover staan langere transportlijnen voor urine en feces en (mede daardoor) een verhoogde kwetsbaarheid door onvoldoende management of schuifkwaliteit. Ook in bestaande stallen is het vaak technisch en bouwkundig mogelijk om de bestaande kelder buiten werking te zetten maar dit vraagt aanzienlijke (veelal niet realistische) investeringen. Voor uitbreiding van de opslagcapaciteit buiten de stal in mestsilo of foliebassin bestaat meestal een vergunningplicht.

4 Overzicht combinaties van bestaande technieken

Voor de beantwoording van deze vraag is breder gekeken naar de technieken in bijlage 1 van de Rav dan de selectie op basis van huidige beschikbaarheid voor een veehouder (vraag 1). Systemen die als individuele technieken niet beschikbaar zijn kunnen in combinatie met andere technieken wel extra reductie van ammoniak opleveren. Het effect van die combinatie is meestal nog niet vastgesteld door metingen en is daarom zo goed mogelijk is ingeschat. De technieken die in aanmerking komen voor combinatie met andere beschikbare technieken zijn:

- A1.2 Loopstal met hellende vloer en giergoot of met roostervloer; beide met spoelsysteem. Het reducerend effect van gebruik van water op een roostervloer is recent opnieuw onderzocht. De resultaten daarvan beschreven in het rapport *Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen; Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus* (van Dooren et al, 2022). Bij gebruik van circa 10 liter water per m² bevuild vloeroppervlak is een reductie van de ammoniakemissie van 37% gemeten. Bij de combinatie met andere maatregelen (Rav-systemen) wordt van deze reductie uitgegaan.
- A1.17 Mechanisch geventileerde stal met een chemische luchtwasser (zie ook paragraaf 2.1.4) Bij toepassing van een luchtwasser is ervan uitgegaan dat alle stallucht de stal via de luchtwasser verlaat. Als reductiepercentage is daarom 95% genomen. Daardoor is de ammoniakemissie bij toepassing op een roostervloer (A1.100) al zo laag dat combinatie met andere maatregelen niet veel extra reductie in absolute zin meer oplevert. Voor de volledigheid is ook nog de reductie van de combinaties berekend als de werking van de nageschakelde techniek op het niveau ligt van de voorlopige emissiefactor van systeem A1.17.
- A1.36 Ligboxenstal met urine-opvangstation Bij toepassing in combinatie met andere technieken is aangenomen dat aanvullend hetzelfde reducerende effect behaald kan worden. De reductie op basis van de voorlopige emissiefactor van 36% is dus ook toegepast op de emissiefactor van andere type (dichte) vloeren.
- A1.39 Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een mechanische kelderluchtafzuiging met een chemisch luchtwassysteem (95% emissiereductie) Als zelfstandig systeem is de reductie van de ammoniakemissie van dit systeem gebaseerd op een combinatie van onderdelen. Naast het reinigen van de afgezogen kelderlucht met een chemische (zure) luchtwasser worden de roosterspleten van de bestaande betonnen roostervloer afgesloten met inlays met urineafvoergaatjes. De vloer wordt frequent bevochtigd en schoon gezogen door een mestverzamelrobot. Wanneer dit systeem gecombineerd wordt met vloertype van andere Rav-systemen verandert de bijdrage van de mest in de kelder aan de totale ammoniakemissie van de stal. Daarmee wordt de bijdrage van de kelderluchtafzuiging aan de totale emissiereductie kleiner. Dat is vooral het geval bij vloertypen zonder afvoergaatjes of -gleuven voor de urine. Daarom is voor die systemen die ook kelderloos gebouwd kunnen worden aangenomen dat 10% van de emissie uit de kelder afkomstig is. Door toepassing van een chemische luchtwasser wordt de ammoniakemissie via deze luchtstrook met 95% gereduceerd. Voor de combinaties met overige systemen is bij gebrek aan aanvullende gegevens over de verdeling van de resterende emissie over vloer en kelder uitgegaan van de emissiereductie die hoort bij de voorlopige emissiefactor in de Rav.

Er zijn geen combinaties gemaakt met de extra toegevoegde systemen omdat die al bestaan uit een combinatie van technieken samengebracht in scenario's.

De reductiepercentages voor de ammoniakemissie van de combinaties ten opzichte van de referentie (A1.100) zijn op basis van bovenstaande uitgangspunten berekend en weergegeven in de tabellen de bijlage. Eerdere opmerkingen over onzekerheden en afwenteling bij individuele technieken gelden ook voor de combinaties van maatregelen. Kort samengevat (zie ook paragraaf 2.1.3): de onzekerheid rond de

ammoniakemissie hangt bij een definitieve emissiefactor af van de verschillen tussen bedrijven door invloed van omgeving en management en van de werkelijke effectiviteit in de praktijk. Bij systemen met een voorlopige emissiefactor bestaat die onzekerheid vooral door het ontbreken van emissiemetingen en het gebruik van modelberekeningen en de gehanteerde veiligheidsmarge. Stapeling van onzekerheden vergroot de onzekerheid bij combinatie van maatregelen.

Met alle combinaties is een emissieniveau voor ammoniak te behalen dat (ver) onder de grenswaarde van 8,6 kg NH₃ per dierplaats per jaar uit het Besluit emissiearme huisvesting (Beh) ligt. Verreweg de grootste reductie van de ammoniakemissie is te behalen met een chemische luchtwasser als nageschakelde techniek. Het systeem omschreven onder A1.17 is niet meer toepasbaar omdat bij dat systeem onduidelijkheid bestaat over het aandeel ventilatielucht dat door de wasser de stal verlaat. Als de ventilatieopeningen aangepast zouden worden kan hiermee een grote reductie van ammoniakemissie bereikt worden (zie ook paragraaf 2.1.4). Nadeel van deze aanpak is wel dat de elektriciteitskosten toenemen en de kans bestaat dat het binnenklimaat in de stal verslechtert omdat het ventilatieniveau van de stal beperkt wordt tot het minimum om kosten voor de luchtwasser te besparen.

Uit onderzoek door van Dooren et al. (2022) blijkt dat door gebruik van water mogelijk meer reductie van ammoniakemissie te behalen is dan de emissiefactor (A1.2) nu aangeeft. Die emissiefactor is 11,2 kg NH₃ per dierplaats per jaar (22% reductie) en dat is hoger dan de geldende grenswaarde in het Besluit emissiearme huisvesting (Beh). Daardoor kan dat systeem nu niet meer worden toegepast. Als gevonden reducties in van Dooren et al. (2022), namelijk 37% inderdaad een goed beeld geven van de hoogte van de jaarrond emissiefactor zou deze techniek ook beschikbaar zijn en op relatief eenvoudige wijze in bestaande stallen tot een reductie van de ammoniakemissie kunnen leiden. Daarnaast is het aannemelijk dat het gebruik van water ook op dichte vloeren leidt tot een verdere reductie van de ammoniakemissie en waarschijnlijk een verbetering van de schuifkwaliteit en daardoor beloopbaarheid. De verdunde mest heeft ook verder tijdens opslag en toediening nog een reducerend effect op de ammoniakemissie.

Combinaties van A1.36 ('Cowtoilet' van Hanskamp) met een dichte vloer kunnen een grotere reductie opleveren dan bij toepassing op een roostervloer. Hoe dichter de vloer is hoe groter het aandeel van de emissie van die vloer in de totale stalemissie is. Het koetoilet reduceert, door het gedeeltelijk opvangen van de urine (bron van de ammoniakemissie), vooral de vloeremissie. Bij gebruik van A1.39 (Lely Sphere) ligt combinaties met dichte vloeren juist minder voor de hand omdat de dit systeem vooral invloed heeft op de kelderemissie. Voor beide systemen geldt dat de berekening van de emissiereductie gebaseerd is op een voorlopige emissiefactor. Een definitieve emissiefactor gebaseerd op emissiemetingen volgens het meetprotocol is nog niet beschikbaar.

5 Emissiereductie van stalsysteem

Met het stalsysteem wordt volgens de Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies in de Subsidiemodule brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen (Sbv) de mest- en voeropslag, mestkelder, mestbewerkingsinstallatie of dierenverblijven (of een combinatie hiervan) op een veehouderijlocatie bedoeld. Deze definitie van het stalsysteem is dus breder dan alleen het gebouw waar de dieren in gehouden worden. Bij beantwoording van deze vraag worden emissies uit voeropslag en bij eventuele mestbewerking buiten beschouwing gelaten omdat dit naar verwachting te verwaarlozen bronnen zijn, er geen of weinig gegevens beschikbaar zijn over emissieniveaus en/of er geen referentieniveau bekend is op basis waarvan een reductie vastgesteld kan worden.

Naast dieren in de categorie melk- en kalfkoeien ouder dan twee jaar (A1) is een melkveebedrijf ook vrijwel altijd vrouwelijk jongvee tot twee jaar (A3) aanwezig. Voor deze diercategorie zijn geen emissie reducerende systemen beschikbaar. In het project Proeftuin Natura 2000 Overijssel is in 2016 een overzicht gemaakt van toepasbaarheid van toen beschikbare Rav-systemen voor jongvee. Daarbij moest onderscheid gemaakt worden tussen jongvee jonger dan één jaar en jongvee tussen één en moment van afkalven. Eerst is daarom het referentie emissieniveau voor deze categorie (4,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar) op basis van TAN excretie opgesplitst in 3,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar voor jongvee tot één jaar en 6,0 kg NH₃ per dierplaats per jaar voor jongvee ouder dan één jaar. Vervolgens is op basis van de emissiefactor voor melkvee in verhouding tussen de referentieniveaus de emissiefactor voor de twee categorieën jongvee berekend. Hetzelfde is gedaan voor de beschikbare Rav-systemen voor melkvee. Belangrijkste criterium of een toepasbaar Rav-systeem voor melkvee ook toepasbaar is voor jongvee is de aanwezigheid van mestspelen en de breedte daarvan. Omdat klauwen van jongvee kleiner zijn kunnen systemen, ontworpen voor melkvee, niet bij jongvee toegepast worden.

Al de toepasbare Rav-systemen of combinaties daarvan hebben alleen effect op de emissie uit de stal en geen effect op emissies buiten de stal. Sommige individuele technieken of varianten daarop kunnen wel extra emissiereductie buiten de stal mogelijk maken. Een voorbeeld daarvan is het snel en volledig verwijderen van de mest en urine uit de stal waardoor de methaanopbrengst bij vergisting stijgt. Aan de andere kant kan het risico op toenemende emissie ontstaan door technieken in de stal. Een voorbeeld daarvan is het gescheiden afvoeren en opslaan van feces en urine. Als voor de feces geen emissiearme opslagtechniek beschikbaar is neemt het risico op emissie van ammoniak, methaan en lachgas erg toe. Deze en andere voorbeelden worden uitgewerkt in de beschrijving van de extra maatregelen die zijn toegevoegd (Gollenbeek et al. 2022a). Voor deze scenario's is naast de stalemissie voor ammoniak, methaan en lachgas ook de emissie van het hele stalsysteem in Sbv definitie weergegeven.

6 Investerings- en jaarkosten

Alle individuele technieken zijn toepasbaar in bestaande stallen. In alle gevallen gaat dit wel gepaard met extra kosten ten opzichte van toepassing in nieuwbouw. Daarbij moet rekening gehouden worden met 25-40% meerkosten in bestaande stallen. Tot februari 2022 bedroeg de kostenstijging ten opzichte van het voorgaande jaar ongeveer 10-20% (Producentenprijzen CBS). Daarna zijn de kosten voor arbeid en materialen zeer sterk verder gestegen en fluctueren steeds. Ook de beschikbaarheid is minder of onzeker geworden waardoor levertijden sterk zijn toegenomen. De kosten zijn per systeem opgenomen in Tabel 3. De kosten van de toegevoegde systemen zijn overgenomen uit Gollenbeek et al. (2022a) en opgenomen in Tabel 4. Op een aantal onderdelen van de kostenberekening volgt een korte toelichting. De kosten worden in de tabellen weergegeven als *extra* kosten boven de reguliere huisvesting per dierplaats. Voor de toegevoegde systemen is daarbij uitgegaan van een stal met 250 dierplaatsen.

Slopen

Als een stal gesloopt wordt ontstaat er afvalmateriaal: een hoeveelheid puin, maar ook isolatiemateriaal, golfplaten, hout, glas, deuren enz. De hoeveelheid ligt in de volgende orde van grootte: 1 ton puin per m² te slopen gebouw (gebouw in metselwerk) circa 15 kilo gording, muurplaat en balkhout per m² te slopen gebouw

Sloopwerkzaamheden:

- gebouw per m² € 4,50 (€ 2,25 tot € 6,80)

Kosten van de stort van bouwmaterialen per ton:

- | | |
|--|---------|
| • Betonpuin, zonder ander puin en hout | € 4,50 |
| • Puin van beton en metselwerk, zonder ander puin en hout | € 6,80 |
| • Idem met 10% ander puin en hout | € 11,50 |
| • Idem met 30% ander puin en hout | € 22,50 |
| • Puin van kalksteen, poriso, leislag, bimsbeton, gasbeton, gips, enz. | € 18,00 |
| • Idem met 10% hout | € 22,50 |
| • Puin van asfalt | € 18,00 |
| • Hout, incurante stukken, kunststof e.d. | € 34,00 |

Kostenefficiëntie

De relatie tussen extra kosten en daarmee behaalde reductie van de ammoniakemissie wordt uitgedrukt als kostenefficiëntie in euro per kg vermeden kg NH₃ emissie per dierplaats per jaar en berekend op basis van de extra totale jaarkosten per dierplaats per jaar. Voor de toegevoegde systemen worden deze jaarkosten verminderd met de opbrengsten die berekend zijn in Gollenbeek et al. (2022a).

Inflatie en beschikbaarheid van materialen en arbeid

De afgenomen beschikbaarheid van (bouw)materialen en arbeid heeft samen met de hogere energiekosten geleid tot een sterke prijstoenamen van genoemde producten. Dat maakt dat alle gegeven kosteninschattingen een beperkte houdbaarheid hebben.

7 Effecten op dierenwelzijn en veiligheidsrisico's

Naast de afwenteling op methaan, lachgas, fijnstof en geur kan er ook afwenteling plaatsvinden op andere duurzaamheidsaspecten. Aandacht wordt gegeven aan dierenwelzijn, brandveiligheid en externe veiligheid.

Bij dierenwelzijn is per toepasbaar Rav-systeem een inschatting gemaakt van de aspecten beloopbaarheid en klauwgezondheid. De beloopbaarheid is voor dichte betonnen vloeren lager inschat dan voor roostervloeren. Klauwgezondheid is beter ingeschat voor vloeren met een volledig zachte toplaag dan voor betonnen vloeren. De klauwgezondheid wordt echter door meer aspecten beïnvloed dan alleen de hardheid van het loopoppervlak maar ook door bijvoorbeeld voeding, weidegang, hygiëne etc.. Ook de beloopbaarheid kan door meer zaken beïnvloed worden. Deze aspecten zijn nu niet meegewogen.

Met name bij dichte betonnen vloeren speelt dat de beloopbaarheid slechter wordt door het achterblijven van een dun laagje mest als gevolg van onvoldoende kwaliteit van de mestschuif. Voor de combinatie van systemen zoals beschreven in paragraaf 2.3 heeft alleen het gebruik van water (combinatie met A1.2) een, positief, effect de beloopbaarheid en klauwgezondheid. Die is ten opzichte van individuele maatregel met één scorecategorie verhoogd. Voor de andere combinaties is aangenomen dat ze geen effect hebben op de beloopbaarheid en de klauwgezondheid. De score is bepaald ten opzichte van de standaard roostervloer.

Onder brandveiligheid wordt ook het risico op explosie verstaan. Onder risico worden zowel de kans op de gebeurtenis als de gevolgen van een gebeurtenis verstaan. Over de kans op een explosie en factoren die daarbij een rol spelen is onlangs geschreven door (Anteagroup, 2021). De mate waarin (dichte) vloeren de kelderventilatie beperken speelt daarbij een rol. Maar er zijn nog andere factoren die een belangrijke rol spelen zoals de aanwezigheid van een schuimlaag, het moment van mixen van de mest en een ontstekingsbron.

Voor de inschatting van het risico van afwenteling bij dichte vloeren is nu alleen de mate waarin de vloer de kelder afsluit meegenomen. Door minder kelderventilatie loopt de concentratie van methaan hoger op. De kans op een explosie is daardoor groter en ook de gevolgen van een explosie zijn veel groter door de drukopbouw in de kelder als gevolg van de explosie. Aangenomen is dat dichte vloeren die ook in een stal zonder kelders toegepast kunnen worden een hoger risico hebben dan dichte vloeren waarbij dat niet mogelijk is omdat ze nog regelmatige mest afstorten hebben. Bij vloeren die een variant zijn op een roostervloer is geen toegenomen risico verondersteld.

Dagontmesting of scheiding van mest en urine vermindert het risico omdat er minder methaan in de stal wordt geproduceerd. Mestvergisting heeft geen invloed op brandveiligheid in de stal. Ook buiten de stal is kans op brand of ontploffing minimaal. Biogas moet met lucht (zuurstof) gemengd worden om een brandbaar mengsel te verkrijgen. Een waarschuwingssysteem voor te hoge methaanconcentraties in de kelder is beschikbaar.

Onder externe veiligheid worden andere veiligheidsaspecten voor mens en dier begrepen. Dat kunnen ongevallen zijn door gladde vloeren of risico op verstikking door het vrijkomen van schadelijke gassen. Een belangrijk voorbeeld daarvan is het ophopen van giftige gassen zoals zwavelwaterstof (H_2S) of blauwzuurgas (HCN) bij het mixen van mest. Voor het voorkomen van te hoge concentraties H_2S zijn persoonlijke beschermingsmiddelen en alarmmelders op de markt. Net als voor brandveiligheid is het risico bij dichte vloeren groter dan bij roostervloeren. Daarom zijn dezelfde scores als voor brandveiligheid aangehouden. Tenslotte zijn de systemen gescoord op robuustheid. Robuustheid zegt iets over de moeite die het voor de veehouder kost om het systeem optimaal te laten functioneren. De scores van de verschillende systemen zijn opgenomen in Tabel 1.

8 Conclusies

Onder integrale duurzame maatregelen worden brongerichte stalsystemen bedoeld die zowel tot vermindering van de ammoniak- en methaanemissie leiden en daarnaast tot verbetering van dierenwelzijn en brandveiligheid.

Op de lijst met erkende en beschikbare stalsystemen die met een (voorlopige) emissiefactor voor ammoniak in bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij zijn opgenomen, staan geen systemen die aan de definitie van een integrale brongerichte aanpak voldoen. Al deze systemen missen een reducerend effect op de methaanemissie.

Daarom is een aantal extra systemen in de beoordeling meegenomen die (vaak op basis van Rav-systeem) de mest buiten de stal verwerken en daarmee extra reductie van ammoniakemissie bereiken maar ook vaak de methaanemissie verlagen.

Criterium voor opname in de beoordeling was in deze fase van de sectoranalyse melkvee dat er (een zekere mate van) zekerheid is over de te behalen emissiereductie. Die is voor deze extra systemen gevonden in modelberekeningen uitgevoerd in het kader van de PPS Next Level Mestverwaarden (Gollenbeek et al., 2022a). Dat maakt vergelijkbaarheid met emissiereductie van Rav-systemen lastiger maar biedt wel perspectief voor integrale emissiereductie.

Uit die berekeningen blijkt dat systemen waar mono-vergisting van (dagverse) mest een onderdeel van is, de grootste reductie van methaanemissie behalen. Mono-vergisting van (dagverse) mest zorgt ook voor een positief exploitatieresultaat (jaaropbrengsten -/- jaarkosten).

Systemen waarbij water of ammoniumarme vloeistof gebruikt wordt voor het spoelen van de loopvloer of waarbij kelderafzuiging wordt toegepast reduceren de ammoniakemissie het meest.

Conclusie is dat voor met stalmaatregelen voor melkvee alleen door het betrekken van mestverwerking buiten de stal een integrale reductie van emissies (methaan en ammoniak) uit stal en mestopslag mogelijk is.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A., I. Vermeij & N.W.M. Ogink, 2023. Sectoranalyse varkens ten behoeve van de Sbv-investeringsmodule. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1414.
- Agrifirm, 2020, Emissiearme stalsystemen melkrundveehouderij, Agrifirm NWE bv.
<https://www.agrifirm.nl/uitdagingen/welk-emissiearm-stalsysteem-past-bij-mij/>
- Anteagroup, 2021, Veiligheid van emissiearme stalvloersystemen in melkveehouderijen. projectnummer 0460201.100
- Bremmer, B., I. Huisman, F. Toemen, H.H. Ellen, J. van Harn, H.J. van Dooren, I. de Jonge, F. Stouthart, N.W.M. Ogink, 2022. Verbetering van effectiviteit emissiearme stalsystemen in de praktijk: inventarisatie, analyse kritische factoren en advies voor verbetering van toepassing van ammoniak reducerende technieken. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1380
- Bruggen, van C. en K. Geertjes, 2019. Stikstofverlies uit opgeslagen mest. Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, oktober 2019. https://www.cbs.nl/-/media/pdf/2019/44/2019ep39-stikstofverliezen-dierlijke-mest_web.pdf
- Dooren, H.J.C. van, K. Blanken, N.W.M. Ogink, 2022. Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen; Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1304.
- Gollenbeek L.R., J.P.B.F. van Gastel, F.A.M. Casu, I. Huisman, N. Verdoes, 2022a. Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest; NL Next Level Mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1372.
- Gollenbeek L.R., S. Bokma, H.J.C. Van Dooren, 2022b. Analyse beschikbare technieken voor emissiereductie in vleeskalverstallen; Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1425.
- Monteny, G. J., Schulte, 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 of the ASAE, 41, 193-201.
- Kamerstukken, 2020, Problematiek rondom stikstof en PFAS, Tweede Kamer der Staten-Generaal, Vergaderjaar 2019–2020, 35334, nr. 82.
- Melse, R.W., P. Hofschreuder, N. W. M. Ogink (2012) Removal of Particulate Matter (PM10) by Air Scrubbers at Livestock Facilities: Results of an On-Farm Monitoring Program, Transactions of the ASABE. 55(2): 689-698. (doi: 10.13031/2013.41378)
- Staatscourant, 2021. Regeling van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van 26 oktober 2021, nr. WJZ/ 21225831, tot wijziging van de Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies en de Regeling openstelling EZK- en LNV-subsidies 2021 in verband met de wijziging en openstelling van de Innovatiemodule betreffende Brongerichte verduurzaming van stal- en managementmaatregelen. Staatscourant Nr. 43895, 27 oktober 2021

Bijlage 1 Tabellen

Tabel 1: Beschikbare brongerichte emissie-reducerende maatregelen uit de Rav.

Rav code	Systeem	BWL nummer	Rav EF NH ₃ (kg/dp/j) ¹	Rav EF PM10 (g/d/j) ²	Betrouw- baarheid ⁴	Nageschakelde techniek mogelijk	Reductie NH ₃ -emissie (%)	Kelderloze toepassing	Reductie NH ₃ emissie (%) i.c.m.				
									A1.2 (37%)	A1.17 (95%)	A1.17 (61%)	A1.36 (35%)	A1.39 (72%)
A 1.10	Ligboxenstal met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag, met mestschuif	BWL 2010.31.V6	7	148	3	Ja	46%	Nee	66%	97%	79%	65%	85%
A 1.13	Ligboxenstal met roostervloer voorzien van cassettes in de roosterspleten en mestschuif	BWL 2010.34.V10	6	148	3	Ja	54%	Nee	71%	98%	82%	70%	87%
A 1.14	Ligboxenstal met geprofileerde vlakke vloer met hellende sleuven, regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif	BWL 2010.35.V8	7	148	3	Ja	46%	Nee	66%	97%	79%	65%	85%
A 1.18	Ligboxenstal met een V-vormige vloer van geprofileerde vloerelementen in combinatie met een gierafvoerbuis en met mestschuif	BWL 2012.04.V5	8	148	3	Ja	38%	Ja	61%	97%	76%	60%	43%
A 1.21	Ligboxenstal met vlakke vloerplaten met tegelprofiel, hellende sleuven en regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen of -kleppen en mestschuif.	BWL 2013.01.V4	7	148	3	Ja	46%	Nee	66%	97%	79%	65%	85%
A 1.23	Ligboxenstal met geprofileerde vloerplaten met sterk hellende langssleuven met urineafvoergat en hellende dwarsgroeven, aangesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtkleppen, met mestschuif	BWL 2013.04.V6	6	148	3	Ja	54%	Nee	71%	98%	82%	70%	87%
A 1.24	Ligboxenstal met vloer met sterk hellende langssleuven, de vloerplaten aaneengesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif	BWL 2013.05.V5	7	148	3	Ja	46%	Nee	66%	97%	79%	65%	85%
A 1.26	Ligboxenstal met hellende V-vormige vloer, voorzien van geprofileerde rubber matten, met centrale giergoot en mestschuif	BWL 2013.07.V4	8	148	3	Ja	38%	Ja	61%	97%	76%	60%	43%
A 1.27	Ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd voorzien van afdichtkleppen in de roosterspleten, met mestschuif en vernevelsysteem	BWL 2014.02.V4	8	148	3	Ja	38%	Nee	61%	97%	76%	60%	83%
A 1.28	Ligboxenstal met roostervloer, voorzien van rubber matten en composiet nokken met een hellend profiel, kunststofcassettes met kleppen in de roosterspleten en met mestschuif	BWL 2015.05.V2	6	148	3	Ja	54%	Nee	71%	98%	82%	70%	87%
A 1.30	Ligboxenstal met roostervloer voorzien van bolle rubber matten, met mestschuif	BWL 2017.06.V3	8	148	3	Ja	38%	Nee	61%	97%	76%	60%	83%
A 1.31	Ligboxenstal met sleufvloer met dichte hellende vloer met geprofileerde rubber tegels, met mestschuif	BWL 2018.02.V2	8,1 ³	148	2	Ja	38%	Ja	61%	97%	76%	60%	42%
A 1.33	Ligboxenstal met vlakke vloer, voorzien van rubberen sleufvloer met 3% hellende langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met mestschuif	BWL 2018.06.V1	7,1 ³	148	2	Ja	45%	Nee	66%	97%	79%	65%	85%
A 1.35	Ligboxenstal met vlakke vloer voorzien van rubberen sleufvloer, met vlakke langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met vingermestschuif	BWL 2019.01.V1	8,3 ³	148	2	Ja	36%	Ja	60%	97%	75%	59%	41%
A 1.36	Ligboxenstal met urine-opvangstation	BWL 2021.05	8,4 ³	148	2	Ja	35%	Ja	59%	97%	75%	-	40%
A 1.37	Ligboxenstal met een indrukbare drainerende loopvloer voorzien van een mestschuif, de urine en mest worden direct gescheiden en apart opgeslagen	BWL 2021.06	6,4 ³	148	2	Ja	51%	Nee	69%	98%	81%	68%	86%
A 1.39	Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een roostervloer voorzien van inlays met urineafvoergaatjes in de roosterspleten, frequent bevochtigen en schoonzuigen van de vloer door een mestverzamelrobot en een mechanische kelderluchtafzuiging met een chemisch luchtwassysteem (95% emissiereductie)	BWL 2021.08	3,6 ³	148	2	Ja	72%	Nee	83%	99%	89%	82%	-

¹ kilogram per dierplaats per jaar; ² gram per dier per jaar; ³ Voorlopige emissiefactor (VEF); ⁴ Schaal van 1 t/m 5, waarin 1 = systeem is onbetrouwbaar; 5 = systeem is betrouwbaar (betrouwbaarheid zegt iets over de kans dat de weergegeven emissiereducties, bij goed gebruik van het systeem, daadwerkelijk worden behaald).

Tabel 1 (vervolg): Beschikbare brongerichte emissie-reducerende maatregelen uit de Rav (vervolg).

Rav code	Dierenwelzijn ¹	Dierenwelzijn i.c.m. A1.2 ¹	Brandveiligheid ²	Externe veiligheid ²	Robuustheid ³
A 1.10	++	++	0	0	3
A 1.13	+	++	0	0	2
A 1.14	--	-	-	-	3
A 1.18	--	-	--	--	3
A 1.21	--	-	-	-	3
A 1.23	--	-	-	-	3
A 1.24	--	-	-	-	3
A 1.26	+	++	--	--	3
A 1.27	-	0	0	0	3
A 1.28	++	++	0	0	3
A 1.30	++	++	0	0	3
A 1.31	-	0	--	--	3
A 1.33	++	++	-	-	3
A 1.35	+	++	--	--	3
A 1.36	0	+	0	0	3
A 1.37	++	++	-	-	3
A 1.39	0	+	++	++	3

¹ Score dierenwelzijn ten opzichte van een betonnen roostervloer: ++: veel beter. +: beter; 0: geen verschil; -: slechter; --: veel slechter.
² Score brandveiligheid ten opzichte van een betonnen roostervloer: ++: veel minder risico; +: minder risico; 0: geen verschil; -: meer risico; --: veel meer risico.
³ Robuustheid zegt iets over de moeite die het voor de veehouder kost om het systeem optimaal te laten functioneren. Schaal van 1 t/m 5, waarin 1 = systeem is niet robuust; 5 = systeem is heel robuust;

Tabel 2: Overzicht van toegevoegde emissie reducerende systemen gebaseerd op Gollenbeek et al. (2022a).

Nummer	Scenario	Code ¹	Rav	Betrouw-	Nageschakelde	Rav EF NH ₃	Reductie	Stal ⁵ (ton/jaar)			Totaal ⁵ (ton/jaar)			Stal (%)			Afwenteling (%)			Kelderloze toepassing
			systeem	baarheid ⁴	techniek mogelijk	(kg/dp/j) ²	NH ₃ -emissie (%)	NH ₃ -emissie	CH ₄ -emissie	N ₂ O-emissie	NH ₃ -emissie	CH ₄ -emissie	N ₂ O-emissie	Reductie NH ₃	Reductie CH ₄	Reductie N ₂ O	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	
1	Regulier	1	A1.100	4	Ja	13	0%	3,8	39,5	0,14	7,3	47,0	0,80	0%	0%	0%				Nee
2	Regulier + Mono-Vergisten	2	A1.100	3	Ja	13	0%	3,7	21,1	0,14	7,5	26,0	0,73	3%	47%	0%	3%	Nee	Nee	Nee
3	Regulier + Mono-Vergisten + Strippen	3	A1.100	3	Ja	13	0%	3,7	21,1	0,14	5,8	27,2	0,82	3%	47%	0%	Nee	Nee	2%	Nee
4	Regulier + Spoelen + Strippen	4.1	-	2	Ja	4.9	62%	1,9	27,6	0,07	3,7	31,4	0,84	50%	30%	50%	Nee	Nee	5%	Nee
5	Regulier + Spoelen + Mono-vergisting + Strippen	4.2	-	2	Ja	4.9	62%	1,9	21,1	0,07	4,0	27,0	0,84	50%	47%	50%	Nee	Nee	5%	Nee
6	Dagontmesting	5	A1.21	3	Ja	7.0	46%	2,3	10,0	0,09	6,1	47,7	1,08	39%	75%	36%	Nee	1%	35%	Nee
7	Dagontmesting + Methaanoxidatie door fakkel	5.1	A1.21	3	Ja	7.0	46%	2,3	10,0	0,09	5,9	17,5	1,08	39%	75%	36%	Nee	Nee	35%	Nee
8	Dagontmesting + Mono-vergisting	6	A1.21	3	Ja	7.0	46%	2,3	2,7	0,09	6,2	8,3	0,96	39%	93%	36%	Nee	Nee	20%	Nee
9	Dagontmesting + Mono-vergisting + Strippen	7	A1.21	3	Ja	7.0	46%	2,3	2,7	0,09	4,3	8,2	0,81	39%	93%	36%	Nee	Nee	1%	Nee
10	Primaire scheiding mest en urine	8	A1.18	3	Ja	8.0	38%	2,6	14,4	0,10	6,6	47,5	0,74	32%	64%	29%	Nee	1%	Nee	Ja
11	Semi-dichte vloer + Kelderafzuiging	9.1	A1.39	2	Ja	3.6	72%	1,7	14,4	0,14	5,3	47,5	0,81	55%	64%	0%	Nee	1%	1%	Nee
12	Semi-dichte vloer + Kelderafzuiging + Mono-vergisting	9.2	A1.39	2	Ja	3.6	72%	1,7	7,2	0,14	5,3	13,8	0,82	55%	82%	0%	Nee	Nee	2%	Nee

¹ Nummer van scenario volgens Gollenbeek et al. (2022); ² Emissiefactor Rav in kilogram per dierplaats per jaar; ³ ton per jaar; ⁴ Schaal van 1 t/m 5, waarin 1 = systeem is onbetrouwbaar; 5 = systeem is betrouwbaar (betrouwbaarheid zegt iets over de kans dat de weergegeven emissiereducties, bij goed gebruik van het systeem, daadwerkelijk worden behaald); ⁵ Berekende verliezen van melkvee en bijbehorend jongvee uitgaande van een intensief bedrijf met 250 melkkoeien overgenomen uit Gollenbeek et al (2022).

Tabel 2 (vervolg): Overzicht van toegevoegde emissie reducerende systemen gebaseerd op Gollenbeek et al. (2022a) (vervolg).

Nummer	Scenario	Dierenwelzijn ¹	Dierenwelzijn i.c.m. A1.2 ¹	Brandveiligheid ²	Externe veiligheid ²	Robuustheid ³
1	Regulier					
2	Regulier + Mono-Vergisten	0	+	0	0	2
3	Regulier + Mono-Vergisten + Strippen	0	+	0	0	2
4	Regulier + Spoelen + Strippen	0	+	0	0	2
5	Regulier + Spoelen + Mono-vergisting + Strippen	0	+	0	0	2
6	Dagontmesting	--	-	+	+	3
7	Dagontmesting + Methaanoxidatie door fakkel	--	-	+	+	3
8	Dagontmesting + Mono-vergisting	--	-	+	+	2
9	Dagontmesting + Mono-vergisting + Strippen	--	-	+	+	2
10	Primaire scheiding mest en urine	--	-	+	+	3
11	Semi-dichte vloer + Kelderafzuiging	-	0	++	++	3
12	Semi-dichte vloer + Kelderafzuiging + Mono-vergisting	-	0	++	++	3

¹ Score dierenwelzijn ten opzichte van een betonnen roostervloer: ++: veel beter. +: beter; 0: geen verschil; -: slechter; --: veel slechter.
² Score brandveiligheid ten opzichte van een betonnen roostervloer: ++: veel minder risico; +: minder risico; 0: geen verschil; -: meer risico; --: veel minder risico.
³ Robuustheid zegt iets over de moeite die het voor de veehouder kost om het systeem optimaal te laten functioneren. Schaal van 1 t/m 5, waarin 1 = systeem is niet robuust; 5 = systeem is heel robuust;

Tabel 3: Overzicht extra investeringen en jaarkosten van reeds beschikbare brongerichte emissie-reducerende maatregelen uit de Rav.

Rav code	Systeem	Extra kosten (€/dierplaats)					Kostenefficiëntie NH ₃ (€/kg)
		Investeringsen	Jaarlijks kosten	Afschrijvingen	Rente	Onderhoudskosten	
A 1.10	Ligboxenstal met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag, met mestschuif	518	47,5	26	9	12,5	7,9
A 1.13	Ligboxenstal met roostervloer voorzien van cassettes in de roosterspleten en mestschuif	540	47	27	9,5	11	6,7
A 1.14	Ligboxenstal met geprofileerde vlakke vloer met hellende sleuven, regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif	203	20	10,1	3,5	6,2	3,3
A 1.18	Ligboxenstal met een V-vormige vloer van geprofileerde vloerelementen in combinatie met een gieraafvoerbuis en met mestschuif	203	20	10,1	3,5	6,2	4,0
A 1.21	Ligboxenstal met vlakke vloerplaten met tegelprofiel, hellende sleuven en regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen of -kleppen en mestschuif.	180	18	9	3,2	5,8	3,0
A 1.23	Ligboxenstal met geprofileerde vloerplaten met sterk hellende langssleuven met urineafvoergat en hellende dwarsgroeven, aangesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtkleppen, met mestschuif	248	24	12,4	4,3	7,1	3,4
A 1.24	Ligboxenstal met vloer met sterk hellende langssleuven, de vloerplaten aaneengesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif	113	12	5,6	2	4,4	2,0
A 1.26	Ligboxenstal met hellende V-vormige vloer, voorzien van geprofileerde rubber matten, met centrale giergoot en mestschuif	383	36	19,1	6,7	9,8	7,2
A 1.27	Ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd voorzien van afdichtkleppen in de roosterspleten, met mestschuif en vernevelsysteem	568	77	36,2	10	30,5	15,4
A 1.28	Ligboxenstal met roostervloer, voorzien van rubber matten en composiet nokken met een hellend profiel, kunststofcassettes met kleppen in de roosterspleten en met mestschuif	719	65	36	12,6	16,6	9,3
A 1.30	Ligboxenstal met roostervloer voorzien van bolle rubber matten, met mestschuif	418	39	20,9	7,3	10,6	7,8
A 1.31	Ligboxenstal met sleufvloer met dichte hellende vloer met geprofileerde rubber tegels, met mestschuif	405	38	20,2	7,1	10,3	7,8
A 1.33	Ligboxenstal met vlakke vloer, voorzien van rubberen sleufvloer met 3% hellende langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met mestschuif	575	52,5	28,8	10,1	13,7	8,9
A 1.35	Ligboxenstal met vlakke vloer voorzien van rubberen sleufvloer, met vlakke langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met vingermestschuif	405	38	20,3	7,1	10,3	8,1
A 1.36	Ligboxenstal met urine-opvangstation	843	76	42,1	14,7	19	16,5
A 1.37	Ligboxenstal met een indrukbare drainerende loopvloer voorzien van een mestschuif, de urine en mest worden direct gescheiden en apart opgeslagen	639	58	32	11,2	15	8,8
A 1.39	Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een roostervloer voorzien van inlays met urineafvoergaatjes in de roosterspleten, frequent bevochtigen en schoonzuigen van de vloer door een mestverzamelrobot en een mechanische kelderluchtafzuiging met een chemisch luchtwassysteem (95% emissiereductie)	1.193	164	59,6	20,9	83,5	17,4

Tabel 4: Overzicht extra investeringen, jaarkosten en opbrengsten van de toegevoegde emissie reducerende systemen uit Gollenbeek et al. (2022a).

Nummer	Scenario	Code ¹	Rav systeem	Extra kosten (€/dp) ²		Opbrengsten (€/dp/j) ³	Kosten efficiëntie NH ₃	Kosten efficiëntie CH ₄
				Investeringsen	Jaarlijks kosten			
1	Regulier	1	A1.100					
2	Regulier + Mono-Vergisten	2	A1.100	1684	363	437	-740	-4
3	Regulier + Mono-Vergisten + Strippen	3	A1.100	2488	674	600	740	4
4	Regulier + Spoelen + Strippen	4.1	-	1213	335	52	149	24
5	Regulier + Spoelen + Mono-vergisting + Strippen	4.2	-	2912	670	473	104	11
6	Dagontmesting	5	A1.21	180	18	0	12	1
7	Dagontmesting + Methaanoxidatie door fakkel	5.1	A1.21	200 ⁴	20 ⁴	0	13	1
8	Dagontmesting + Mono-vergisting	6	A1.21	1848	382	538	-104	-4
9	Dagontmesting + Mono-vergisting + Strippen	7	A1.21	2640	683	705	-15	-1
10	Primaire scheiding mest en urine	8	A1.18	203	20	0	17	1
11	Semi-dichte vloer + Kelderafzuiging	9.1	A1.39	1200	221	32	90	8
12	Semi-dichte vloer + Kelderafzuiging + Mono-vergisting	9.2	A1.39	2908	575	410	79	5

¹ Nummer van scenario volgens Gollenbeek et al. (2022); ² Kosten in euro per dierplaats; ³ opbrengsten in euro per dierplaats per jaar; ⁴ Schatting.

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.

