

**Strooiselstalsystemen:
ammoniak en andere emissies,
dierwelzijn en mestkwaliteit**

Jeroen Pijlman, Gert-Jan Monteny, Jan de Wit

© 2018 Louis Bolk Instituut

Strooiselstalsystemen: ammoniak en andere emissies, dierwelzijn en mestkwaliteit - Een verkenning van strooiselstalsystemen bij de verschillende landbouwhuisdieren, met het zwaartepunt op (potentiële maatregelen voor de beperking van) ammoniakemissies, in relatie tot overige emissies, dierwelzijn en mestkwaliteit.

Ir. Jeroen Pijlman¹, Dr. ir. Gert-Jan Monteny², Ir. Jan de Wit¹

¹ Louis Bolk Instituut ² Monteny Milieu Advies

Publicatienummer 2018-027 LbD

57 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Voorwoord

Op aanvraag van de Provincie Noord-Brabant heeft het Louis Bolk Instituut, in samenwerking met Monteny Milieu Advies, een verkennend onderzoek naar potstallen uitgevoerd, met name gericht op (de mogelijkheden tot reductie van) ammoniak-emissies, maar met aandacht voor andere effecten binnen/ aspecten van het bedrijfssysteem, en voor meerdere diersoorten waar potstallen relevant zijn. Voorwaar een veel omvattende en lastige opdracht, ook omdat "potstallen" zeer gevarieerd zijn qua uitvoering en bedrijfs-systemen waar ze onderdeel van zijn, er weinig gedegen vergelijkend onderzoek is uitgevoerd naar potstallen, en door de (politieke) gevoeligheid van dit onderwerp.

Dank zijn we verschuldigd aan Sjoerd Bokma (WUR-LR) voor zijn initiële inzet, aan Karin Groenestein (WUR-LR) en Michel Smits (HAS Hogeschool Den Bosch) voor hun tussentijdse adviezen en review van een eerdere versie van dit rapport, aan Theo van de Ven en Jos van Lent (Provincie Noord-Brabant) voor hun kritische maar betrokken begeleiding van dit project, en aan een brede groep veehouders en adviseurs die in verschillende fases van dit onderzoek hebben meegedacht.

De auteurs

November 2018

Inhoud

Samenvatting	5
1 Aanleiding	7
2 Afbakening en Methode	8
2.1 Afbakening en uitgangspunten	8
2.2 Methodiek en leeswijzer	8
3 Algemeen	10
3.1 Potstallen: strooiselstallen met veel variatie	10
3.2 Ammoniakemissies en strooiselstallen	11
3.3 Broeikasgas- en fijnstofemissies en strooiselstallen	12
3.4 Strooiselstallen in het bedrijfssysteem	14
3.5 Relevante verschillen gangbaar en biologisch gehouden dieren in strooiselstalsystemen	17
4 Inventarisatie per diercategorie	19
4.1 Melkvee	19
4.2 Melkgeiten	20
4.3 Vleesrunderen: zoogkoeien en vleesstieren	21
4.4 Zeugen	23
4.5 Samenvattende waardering huidige strooiselstalsystemen	25
5 Potentiële maatregelen ter beperking van de NH₃-emissie van strooiselstalsystemen	26
5.1 Omschrijving aanpassingsmogelijkheden en verwachte effecten	26
5.2 Perspectieven potentiële maatregelen ter beperking van de NH ₃ -emissie	34
6 Conclusies en aanbevelingen	36
7 Referenties	39
Bijlagen	
Bijlage 1. Voorbeeld stikstofkringloop vleesstier >1 jaar oud	43
Bijlage 2. Strooiselstallen voor melkvee	44
Bijlage 3. Emissies strooiselstallen t.o.v. referentie melkvee	45
Bijlage 4. Emissies strooiselstallen voor melkgeiten	46
Bijlage 5. Schematische dwarsdoorsnede strooiselstal voor melkgeiten	47
Bijlage 6. Verschillende typen strooiselstallen voor rundvee	48
Bijlage 7. Emissies strooiselstallen voor zoogkoeien	49
Bijlage 8. Emissies strooiselstallen t.o.v. referentie vleesstieren	50
Bijlage 9. Groepshuisvesting zeugen gedeeltelijke strooiselstal	51
Bijlage 10. Emissies strooiselstallen t.o.v. referentie zeugen	52
Bijlage 11. Beschrijving combideck systeem bij pluimvee	53
Bijlage 12. Vloer per functie en High welfare floor	54
Bijlage 13. Modelberekeningen ammoniakemissie niet-strooisel gedeelte in een gemengde stal	55
Bijlage 14. Aanwezig bij bespreking concept-resultaten	57

Samenvatting

De huidige 'potstallen' zijn strooiselstallen met een zeer diverse uitvoering (diepte van pot, hoeveelheid stro-gebruik, etc.). Het voorkomen van strooiselstallen en hun variaties in de praktijk is slechts bij zeer grove benadering bekend. Ze komen met name voor bij bedrijven met melkgeiten, zoogkoeien, in mindere mate bij vleesstieren, en sporadisch bij zeugen. Bij melkvee betreft het waarschijnlijk slechts enkele tot hooguit tientallen bedrijven waarvan een aanzienlijk deel van de stal is uitgevoerd met een pot; vaker voorkomend is een strooiselgedeelte voor een deel van de dieren (bijvoorbeeld melkvee in transitie en of hoogproductieve dieren). Met uitzondering van geitenstallen en zoogkoeienstallen, zijn 'potstallen' veelal gemengde stalsystemen waarvan een aanzienlijk deel van de vloer (30% tot >50%) is uitgevoerd als roostervloer of dichte vloer met geen/weinig strooisel.

In het algemeen:

- scoren strooiselstallen positief op dierwelzijn,
- faciliteren strooiselstallen koolstof-vastlegging in de bodem (klimaatmitigatie), verhoging van het watervasthoudend vermogen en drainage (klimaatadaptatie en stabielere productie-omstandigheden) en een rijker bodemleven.

De beperkt beschikbare metingen aan gasvormige emissies van strooiselstallen zijn moeilijk te interpreteren. Desondanks kan in algemene zin geconcludeerd worden dat:

- de ammoniakemissie van huidige strooiselstalsystemen sterk variabel is maar grofweg niet lager is dan de emissie van overige stalsystemen, waarschijnlijk met uitzondering van zeugenstallen die een lagere ammoniakemissie hebben.
- de emissies vanuit het niet-strooiseldeel vaak (zeer) belangrijk zijn voor de totale stal-emissie van ammoniak.
- strooiselstallen een (extra) bron voor de emissie van broeikasgassen zijn. Met name methaanemissies uit diepere potten met rundvee waarin anaerobe omstandigheden optreden, kunnen sterk verhoogd zijn.
- de weinige metingen aan geur en fijnstof laten geen duidelijk verlaagde of verhoogde emissie zien bij strooiselstallen.

De effecten van maatregelen in strooiselstallen zijn gescoord op hun effecten op ammoniak-emissie (tabel 2), op overige emissies, dierwelzijn en mestkwaliteit (tabel 3) en toepasbaarheid, kosten en borging (tabel 4).

Het effect van maatregelen in het strooiseldeel is onzeker. De hypothese is dat de emissie uit het strooiselgedeelte van stallen, mits goed gemanaged, laag kan zijn indien het vormen van natte, semi-anaerobe gedeeltes wordt beperkt en het emissie-remmend pakket van droog, schoon stro bovenop dit vochtige stro op peil blijft. De vermindering van semi-anaerobe gedeeltes in de stromest zal de methaan-emissie ook verminderen; voor lachgas is de situatie complex en minder eenduidig.

Belangrijkste potentiële ammoniak-reductiemaatregelen zijn:

- aangepaste vloeren in het niet-strooiseldeel (nauwelijks van toepassing voor geiten)
- verlaging van het eiwitgehalte in het rantsoen (minder toepasbaar bij zeugen).

Daarnaast:

- scoren maatregelen bij de opslag van de stromest buiten de stal (afdekken) en het emissiearm aanwenden van stromest hoog, indien niet alleen de stal-emissie maar de totale bedrijfsemisatie in ogenschouw wordt genomen. Management van de stromest-opslag gericht op lage emissies van zowel ammoniak, methaan als lachgas lijkt complex maar mogelijk.
- is dakisolatie, en mogelijk aanvullende klimatisering, een potentierijke maatregel indien de stal ook zomers gebruikt wordt.
- is het maximaliseren van weidegang een potentierijke maatregel voor rundvee.

Het is aan te bevelen om de effecten van de maatregelen voor het strooiseldeel nauwkeuriger in kaart te brengen met metingen. Vanwege de grote variatie (ook in de tijd) zijn herhaalde, langere meetreeksen aan 'case-controle experimenten' hierbij belangrijk.

1 Aanleiding

Op 13 juli 2017 heeft de Provincie Brabant in aanvulling op het landelijk beleid met een wijziging van de provinciale verordening natuurbescherming bepaald dat naast nieuwe ook bestaande stallen uiterlijk vanaf 2022 (afhankelijk van de leeftijd van de stal) aan (oplopende) reductie-eisen voor ammoniakuitstoot moeten voldoen. Aangezien er op dit moment geen gewijzigde stalontwerpen voor potstallen voorhanden zijn waarmee aan de landelijke en provinciale eisen kan worden voldaan, zouden potstallen daarmee feitelijk vanaf dat jaar niet meer toegestaan in de provincie. Voor veel potstallen geldt echter vooralsnog een uitzonderingspositie om aan de reductie-eisen te voldoen (zoals veel biologische bedrijven, gangbare bedrijven met zoogkoeien, geitenbedrijven met minder dan 500 dieren jonger dan 1 jaar, etc.), maar ook voor deze bedrijven is een emissiebeperking gewenst (deels geformuleerd in streefnormen voor emissie-reductie). Ook voor andere strooiselstallen kan een uitzonderingspositie worden toegekend vanwege de benodigde experimenteerruimte, zoals nu geldt voor vrijloopstallen bij melkvee in verband met onderzoek naar dierenwelzijn en emissies.

Daarnaast heeft Provincie Noord-Brabant in het kader van haar ambitie om een transitieversnelling van de Brabantse agrofoodsector te realiseren, het uitvoeringsprogramma 'Ondersteunende Maatregelen Transitie Veehouderij' opgesteld in oktober 2017. Onderdeel daarvan is het voornemen om een proef te starten met potstallen mede omdat *"de potstal kan bijdragen aan het dierenwelzijn en stalmest oplevert die aanzienlijk beter is voor de bodem dan drijfmest."* Ook gaf de provincie aan dat *"er verschillende manieren zijn waarop de potstal gebruikt kan worden, maar er nog geen vergelijkend onderzoek is gedaan naar wat de meest effectieve manier is voor het beperken van emissies, onder welke omstandigheden en voor welke diersoort. ..."*

Dit rapport beschrijft de resultaten van een verkenning naar potstallen en bijbehorende houderijsystemen in verschillende diersectoren. Bij deze verkenning ligt de nadruk op (de mogelijkheden tot reductie van) ammoniakemissies vanuit potstallen, maar wordt ook rekening gehouden met overige emissies (geur, fijnstof, methaan, lachgas), de vervolgemissies vanuit de opslag / bij aanwending. Doel van deze verkenning is om te komen tot een onderbouwd inzicht in de stand van onderzoek, perspectieven, knelpunten en meerwaarde van potstallen/potstalhousersystemen. Op basis hiervan kunnen aan de meest perspectiefvolle systemen metingen worden uitgevoerd in een vervolgtraject.

2 Afbakening en Methode

2.1 Afbakening en uitgangspunten

Vanwege de variatie in potstalsystemen (zie &3.1) spreken we in het rapport vooral over 'strooiselstallen'. Deze verkenning is gericht op bestaande strooiselstalsystemen en (nieuwe) innovaties binnen deze systemen, specifiek voor de diercategorieën melkvee, melkgeiten, zoogkoeien, vleesstieren en zeugen. Mogelijk zijn er in de provincie Noord-Brabant enkele strooiselstallen aanwezig met andere dieren dan de genoemde diercategorieën; maar gezien het verwachte kleine aantal van deze stallen is gekozen de huidige studie op de genoemde diercategorieën af te bakenen.

Uitgangspunt van deze verkenning is het zoeken naar (experimenteer)mogelijkheden voor voorlopers die gebruik maken van strooiselstalsystemen, waarbij de nadruk ligt op (de mogelijkheden tot beperking van) ammoniak-emissies vanuit potstallen. Daarnaast is rekening gehouden met overige emissies (geur, fijnstof, methaan, lachgas), vervolg-emissies (trade-off/afwenteling) vanuit de opslag en bij aanwending, dierwelzijnsaspecten en mestkwaliteit (gericht op bodemkwaliteit en biodiversiteit).

Tenslotte moet worden opgemerkt dat in het ammoniakbeleid de buitenopslag van mest niet bij de stal wordt gerekend, maar als aparte emissiebron wordt aangemerkt. Voor overige broeikasgassen geldt dat onderscheid niet. Emissies van een uitloop (permanent toegankelijk) worden wel tot de stalemissies gerekend worden, maar emissies tijdens weidegang weer niet. Dit maakt dat sommige maatregelen zouden kunnen leiden tot afwenteling; emissies in de stal dalen terwijl ze bijvoorbeeld tijdens opslag stijgen. Eventuele afwentelingen worden toegelicht in deze verkenning.

2.2 Methodiek en leeswijzer

Na een algemene omschrijving van de relevante kenmerken en processen van strooiselstalsystemen (hoofdstuk 3), is er een expert- en literatuuronderzoek naar het voorkomen en gemeten emissies van deze strooiselstallen uitgevoerd (hoofdstuk 4). Aangezien zowel de strooiselstallen zelf en de systemen waarin ze worden toegepast, als de gemeten emissies een enorme variatie laten zien, is de definiëring van perspectiefrijke maatregelen en hun mogelijke effecten (hoofdstuk 5) sterk hypothese-vormend op basis van expert-judgement van de auteurs van dit rapport. Concept-resultaten zijn besproken in een meeting met adviseurs en veehouders (zie bijlage 14), waarna een volgende versie is voorgelegd aan Karin Groenestein (WUR-LR) en Michel Smits (HAS-Hogeschool Den Bosch) ter becommentariëring. Het definitieve concept is voorgelegd aan de provincie Noord-Brabant (dhr. Jos van Lent en Theo van de Ven), waarna nog enige redactionele aanpassingen zijn gemaakt.

De opbouw van het rapport is als volgt:

1. In hoofdstuk 3 zijn in het algemeen een omschrijving gemaakt van strooiselstalsystemen, hun emissies, de relatie met dierwelzijn en het bedrijfssysteem (o.a. mestkwaliteit en stikstofkringloop), en is een overzicht gemaakt van belangrijke aspecten van biologisch versus gangbaar gehouden vee in strooiselstallen.
2. In hoofdstuk 4 is per diercategorie uitgewerkt welke strooiselstalsystemen in gebruik zijn, wat relevante functionele eigenschappen zijn en is een inventarisatie gemaakt van emissies.
3. In hoofdstuk 5 is een inschatting gemaakt van de effecten van (innovatieve) stal(-systeem) aanpassingen en management-maatregelen op de ammoniak-emissies, overige emissies (geur, fijnstof, methaan, lachgas), vervolg-emissies vanuit de opslag en bij aanwending, dierwelzijnsaspecten en bedrijfssysteem effecten (o.a. mestkwaliteit in relatie tot bodemkwaliteit en biodiversiteit en de stikstofkringloop).
4. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies en aanbevelingen uitgewerkt.

3 Algemeen

3.1 Potstallen: strooiselstallen met veel variatie

Een potstal wordt traditioneel geïnterpreteerd als een stal met een diepe 'pot' waarin door de dieren uitgescheiden mest en urine in een strobed (veelal tarwestro) valt, welke regelmatig (vaak dagelijks) wordt ingestrooid. De dieren verblijven (liggen, lopen, staan) in dezelfde ruimte waardoor mest en stro door elkaar worden gemengd, wat zich langzaam ophoopt ('oppot') tot zogenoemde potstalmest. Wanneer het stro-mest mengsel een bepaalde hoogte heeft bereikt, wordt de pot leeggehaald. Afhankelijk van de diepte van de pot gebeurt dit doorgaans één tot enkele malen per jaar. Na het leeghalen wordt de stromest direct uitgereden over het land of opgeslagen in een mestopslag.

Een veelvoorkomende variatie op potstallen met volledige strooiselbedden, is een potstal waarbij een gedeelte van stal (bijv. bij de voerplaatsen) niet is ingericht als ingestrooide 'pot', maar met een gedeeltelijk dichte vloer (soms licht ingestrooid) of roostervloer. Daarnaast is de hellingstal een voorkomende variatie op de potstal. Deze is vooral voortgekomen uit de wens om te besparen op de hoeveelheid benodigd strooisel en arbeid. Daarbij ligt de vloer van de 'pot' in een helling van 5 tot 8°, waardoor (een deel van) de natte stro-mest door de dieren naar beneden getrapt wordt richting de vlakke vloer. De strooiselmest op de vlakke vloer wordt weggeschoven richting een opslag, doorgaans buiten de stal. Soms ligt de helling ook andersom, waardoor dieren gemakkelijker de stap kunnen maken naar de vlakke vloer. Andere strooiselstallen, waarvan er enkele in de praktijk worden toegepast, veelal op experimentele basis, betreffen bijvoorbeeld wroet- en rondloopstallen (bij varkens) en vrijloopstallen (bij melkvee).

Tussen en binnen deze strooiselstalsystemen zijn veel variaties mogelijk die betrekking hebben op:

- de frequentie van leeghalen (en daarmee samenhangend de diepte) van de 'pot'.
- de verhouding tussen het ingestrooide gedeelte en het niet-ingestrooide gedeelte (dichte vloer of roostervloer met mestkelder)
- de inrichting van het niet ingestrooide deel: hetzij met roosters hetzij als vlakke, dichte vloer (met eventueel gootjes) waar de mest en urine met een mestschuif weg wordt geschoven richting een mestput of mestsilo.
- de frequentie van mest wegschuiven van de vloer (van ca. één keer per week tot meerdere keren per dag).
- de aanwezigheid van een kelder in de stal (waarbij emissies tot de stal worden gerekend) of de aanwezigheid van een opslag buiten de stal waar mest heen gebracht wordt (waarbij emissies *niet* tot de stal worden gerekend), en de wijze van mestopslag (bijv. dunne mest in een kelder onder de roostervloer en vaste mest buiten de stal).

- de oppervlakte per dier (van elk van de functionele ruimtes).
- de hoeveelheid strooisel per dier en per tijdseenheid.
- de mate waarin de dieren het stro opnemen, hetgeen o.a. een relatie heeft met de endogene methaanproductie.
- het ventilatiesysteem: dit kan variëren van volledige natuurlijke ventilatie tot een (momenteel zelden voorkomende) volledige gestuurde ventilatie met een gedefinieerde inlaat en uitlaat (al dan niet voorzien met een luchtwasser).

Daarnaast kan het houderijsysteem, waarbinnen deze strooiselstallen worden gebruikt, sterk verschillen in bijvoorbeeld:

- verblijftijd in de stal: dit kan variëren van permanent gebruik tot vele maanden per jaar leeg/niet gebruikt (bij volledige weidegang).
- hoeveelheid (minerale) stikstof-uitscheiding per dier in de stalperiode (en de gebruikte rantsoenen, waarbij met name de totale opname en het eiwitgehalte de stikstof-uitscheiding per dier beïnvloed).

Alle variaties binnen strooiselstalsystemen kunnen, deels in onderlinge interactie, effect hebben op de emissies, dierwelzijn en mestkwaliteit (en daarmee samenhangend op klimaataspecten, bodemkwaliteit en biodiversiteit).

3.2 Ammoniakemissies en strooiselstallen

De ammoniak (NH_3) emissie van mengmest van zoogdieren is hoofdzakelijk afkomstig van de ureum-N in de urine (afbraakproduct van eiwitmetabolisme), en in mindere mate door mineralisatie van de (organisch gebonden) N uit faeces (o.a. onverteerde voerresten). De som van ureum-N en gemineraliseerde N noemen we TAN (Totaal Ammoniakaal N). In vaste-mestsystemen, zoals stromest, wordt een groter deel van de organisch gebonden N gemineraliseerd. Tegelijkertijd kan in stromest de gemineraliseerde N ook weer omgezet worden in microbiële massa (immobilisatie van N), waarbij warmteontwikkeling plaatsvindt. Daarom wordt veelal gesproken van netto mineralisatie.

De NH_3 -emissie in stromest is het resultaat van vier processen (met tussen haakjes de belangrijkste invloedsfactoren):

1. de enzymatische omzetting (hydrolyse) van ureum-N in ammonium (NH_4^+) (urease-activiteit, temperatuur);
2. netto mineralisatie van organisch gebonden N tot NH_4^+ (C/N-verhouding, temperatuur, vocht, O_2);
3. het chemisch evenwicht tussen NH_3 en NH_4^+ (pH);
4. de vervluchtiging van gasvormig NH_3 (diffusie/verdamping; temperatuur, luchtsnelheid en emitterend oppervlak).

Voor strooiselstallen is sprake van een complexer en meer variabele situatie dan bij mengmeststallen vanwege de aanwezigheid van stro wat niet alleen resulteert in hogere koolstof/stikstof ratio en complexere processen rond mineralisatie en immobilisatie maar ook een grotere variatie geeft in aerobe/ anaerobe omstandigheden in verschillende lagen van het pakket (hier wordt in par. 3.3 nader op ingegaan). Ten opzichte van stallen met mengmest vinden bovengenoemde processen in het algemeen in veel mindere mate plaats op het grensvlak van stromest en lucht, maar veel meer in diepere lagen. Daarbij is sprake van een grotere weerstand tegen met name verdamping/vervluchtiging, zodat eerder sprake zal zijn van diffusie dan van verdamping. Het geringere NH_3 transport door diffusie zou echter weer gecompenseerd kunnen worden door een hogere temperatuur als gevolg van aerobe omzettingen, hogere NH_3 concentraties (in het strooisel) en een groter emitterend oppervlak (het ruwe oppervlak van het strooisel). In de praktijk blijkt echter dat veel NH_3 zich in het bed ophoopt omdat de dieren door het belopen van het bed het mengsel van stro en mest zo aandrukken dat er weinig lucht in het bed aanwezig is. Dit is ook afhankelijk van de soort en hoeveelheid strooisel die gebruikt wordt ten opzichte van de vocht/urine productie door de dieren. In het algemeen lijkt zuurstofloosheid vooral van toepassing voor potstallen met rundvee (m.n. melkvee) en minder bij geiten en zeugen; bij deze laatste wordt de luchtigheid van het stromestpakket ook verhoogd door het wroetgedrag van de dieren.

De NH_3 -emissie voor strooiselstallen is zeer variabel, waarbij zowel (veel) lagere als hogere emissies gemeten worden ten opzichte van mengmestsystemen (zie bijv. Groot Koerkamp et al., 1998). Opvallend is de grote variatie in gemeten emissies van zowel strooiselstallen als mengmestsystemen, als gevolg van omstandigheden (zoals temperatuur) en/ of het productiesysteem, de exacte stalrichting (ventilatiesnelheid), het management, etc. In verschillende Europese landen wordt dan ook met verschillende emissiefactoren gerekend, variërend van -8% tot +20% van de hoeveelheid TAN voor strooiselstallen ten opzichte van mengmestsystemen (Loyon et al., 2016).

3.3 Broeikasgas- en fijnstofemissies en strooiselstallen

Het broeikasgas lachgas (N_2O) kan evenals NH_3 gevormd worden uit ammonium (NH_4^+), via de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie. Deze microbiële processen zetten NH_4^+ om, waarbij koolstof (C) nodig is als energiebron voor de microben. Daarnaast kunnen de microben niet leven zonder water. Nitrificatie zet NH_4^+ om in nitraat (NO_3^-); denitrificatie zet vervolgens de NO_3^- weer om in vrij stikstofgas (N_2). Voor nitrificatie is zuurstof nodig; voor de denitrificatie moet de omgeving zuurstofarm zijn. Wanneer omstandigheden suboptimaal tijdens deze processen (onvoldoende koolstof, water of zuurstof bij nitrificatie) kunnen deze niet compleet verlopen en kan o.a. het vluchtige tussenproduct N_2O ontstaan en emitteren. De activiteit van de microbiële populatie in de mest die verantwoordelijk is voor de vorming van N_2O is ook afhankelijk van de pH, van het droge stof gehalte, van de temperatuur en

de concentratie van NH_4^+ in de mest. Luchtsnelheden hebben theoretisch minder effect op de hoeveelheid N_2O die emitteert omdat N_2O niet wateroplosbaar is en de emissie dus niet beïnvloed wordt door het concentratie evenwicht tussen water en lucht. Wanneer meer luchtbeweging een grotere beschikbaarheid van zuurstof impliceert, kan dit wel een verhogend effect hebben op de N_2O emissie. De N_2O emissie van dunne mest in de opslag onder de roosters bij strooiselstallen is vanwege de volledig anaerobe omstandigheden zeer laag (volgens IPCC is dat 0.2% van de N-excretie). De N_2O emissie uit stromest wordt over het algemeen hoger verondersteld vanwege het hoger gehalte aan organische stof en de (deels) aerobe omstandigheden, maar varieert nogal (0,2 – 0,9% van N-totaal; Webb et al. 2012). Ook de stikstofverliezen in de vorm van N_2 en NO zijn hoger uit vaste mest dan uit dunne mest (Groenestein et al., 2015). Dit impliceert dat de totale N-verliezen uit strooiselmest groter zijn dan uit mengmest.

Het broeikasgas methaan (CH_4) wordt gevormd door methanogene bacteriën onder anaerobe omstandigheden uit de organische stof van de (stro-)mest (in de stal, kelder en/of in de opslag buiten de stal). De concentratie aan (minerale) stikstof en de organische stof zijn van invloed op de CH_4 emissie. De activiteit van methanogene bacteriën is afhankelijk van omgevingsfactoren als droge stof gehalte, pH, temperatuur en beschikbaarheid van zuurstof (Jun et al., 1999; Groenestein, 2006). Ook is CH_4 niet oplosbaar in water en daarom is de emissie theoretisch niet afhankelijk van de luchtsnelheid over het emitterend oppervlak. Wanneer meer luchtbeweging impliceert dat meer aerobe omstandigheden gaan overheersen kan de CH_4 emissie afnemen. De theorie daaromtrent is dat de CH_4 weliswaar gevormd is in de diepere anaerobe lagen, maar dat methanofiele bacteriën in de aerobe toplaag de CH_4 tot CO_2 oxideren (Groenestein, 2006). Hoewel de aanwijzingen sterk zijn dat dat gebeurt, is het nog onvoldoende gevalideerd.

Fijnstof bestaat voor het merendeel uit deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan $10\text{ }\mu\text{m}$. Dit stof wordt aangeduid als PM_{10} . In het algemeen geldt hoe kleiner het stof, hoe schadelijker, omdat het dieper in de longen kan doordringen. Daarom wordt behalve PM_{10} ook $\text{PM}_{2.5}$ onderscheiden voor deeltjes met een diameter die kleiner zijn dan $2.5\text{ }\mu\text{m}$. Bij mest met een hoog droge stof gehalte (bijv. gedroogde pluimveemest en wellicht ook stromest in strooiselstallen) zijn hogere fijnstofemissies te verwachten vanuit huisvesting, maar ook tijdens de toediening van mest. Aarnink en Ellen (2006) geven aan dat de voersamenstelling via de mestsamenstelling geen noemenswaardig effect heeft op de fijnstofemissie.

Relaties tussen ammoniak, methaan en lachgas emissies

Szántó (2009) gaf als invloedsfactoren op de kwaliteit (en dus ook op de emissie) van een composteringsproces voor mest: het vochtgehalte, de structuur/ porositeit, de samenstelling (o.a. C/N-verhouding), pH, het zuurstofgehalte en de temperatuur en de temperatuurgradiënt in het bed. Uit Misselbrook en Powell (2005) is af te leiden dat anaerobe gedeeltes

waarschijnlijk verantwoordelijk is voor relatief hoge N_2O en CH_4 emissies en hoge NH_3 -emissies, met name als bovenliggend strooisel geen weerstand meer biedt aan de diffusie van de gevormde NH_3 . Samenvattend zal semi-anaerobe stromest (wat dichter en/of vochtiger is) meer CH_4 emissie opleveren ten opzichte van een aeroob pakket. En een combinatie van (wisselende) aerobe en anaerobe omstandigheden in stro-mest zal meer N_2O emissies kunnen opleveren ten opzichte van enkel aerobe (of anaerobe) omstandigheden.

3.4 Strooiselstallen in het bedrijfssysteem

Vanuit een integrale bedrijfssysteem benadering zijn er een aantal belangrijke eigenschappen aan te merken waarin strooiselstallen zich onderscheiden van systemen zonder strooisel. Deze eigenschappen zijn in deze paragraaf beschreven.

3.4.1 Mestkwaliteit

Vaste mest (stromest) is een belangrijk product van strooiselstallen met belangrijke gerelateerde ecosysteemdiensten:

- Vaste mest wordt gewaardeerd in het kader van biodiversiteit en natuurbeheer, m.n. bij weidevogelbeheer, vanwege de positieve effecten op insecten en bodemleven (Deru et al., 2016).
- Ook voor akkerbouwpercelen is vaste mest een geliefde mestsoort in verband met de positieve effecten op bodemkwaliteit en bodemleven. Zo resulteerde de langjarige toepassing van rundveepotstalmest bij grove groenten-teelten in meer regenwormen (als indicator van het bodemleven) en een hoger organisch stof gehalte in de bodem dan rundveemengmest (Bokhorst et al., 2008; Koopmans en Bloem, 2018). Vergelijkbare resultaten werden ook behaald met andere bemestingssoorten waarmee veel (meer) organische stof werd aangevoerd, zoals compost; hierbij bleven gewasopbrengsten echter achter.
- Vaste mest draagt bij aan een hoger organische stof gehalte met name in akkerbouw-rotaties (in bovengenoemde proef na 17 jaar 2,1% t.o.v. 1,6% bij mengmest; Koopmans en Bloem, 2018). Bij grasland is deze positieve relatie minder duidelijk (zie bijv. Eekeren et al., 2009), mogelijk als gevolg van de grotere hoeveelheid organische stof die door het gewas zelf wordt toegevoegd aan de bodem, in combinatie met samenhangende interacties (bijv. de hoeveelheid beschikbare N). Naast eventuele effecten op productie (stabiliteit), is dit hogere gehalte bodem organische stof ook interessant vanwege de klimaatdoelstellingen: vastlegging van koolstof in de bodem als mitigatiemaatregel en verhoging van watervasthoudend vermogen als adaptatiemaatregel.

3.4.2 Stikstofkringloop en emissies

Bijlage 1 laat schematisch een versimpelde stikstofkringloop zien van een bedrijfssysteem met een strooiselstal, uitgewerkt voor een vleesrund ≥ 1 jaar. De figuur laat zien dat er naast stalemissies, ook opslag- en aanwendingsverliezen van mest zijn, en emissies van de bodem naar water en de atmosfeer van stikstof. Wanneer vaste mest op grasland wordt aangewend is dat altijd bovengronds, en op bouwland wordt het doorgaans ondergewerkt in twee werkgangen. Het Nederlands Emissie Model voor Landbouw (NEMA; van Bruggen et al., 2018) schat de NH_3 -emissie bij bovengrondse mestaanwending op grasland op 71% van de totale hoeveelheid TAN, en op bouwland op 46% van de hoeveelheid aangebrachte TAN bij onderwerken in 2 werkgangen en op 22% van de hoeveelheid aangebracht TAN bij onderwerken in 1 werkgang. Ter vergelijking, de emissie van mengmest aanwending wordt geschat op 19 tot 30.5% bij emissie-arme aanwendingstechnieken. Dit betekent dat, op basis van NEMA-schattingen:

- De NH_3 -aanwendingsverliezen van vaste mest 15 – 52% hoger liggen dan van mengmest.
- De NH_3 -veldemissies ongeveer 2.7 tot 4.2 maal zo hoog zijn dan NH_3 -stal emissies, op basis van de Rav-emissiefactor voor overige stalsystemen.

Er wordt in NEMA geen onderscheid gemaakt tussen mengmest of vaste mest voor de emissie bij bovengrondse aanwending, mogelijk omdat vaste mest geïnterpreteerd wordt als de gemiddelde mest vanuit grupstallen (dus vaste mest en gier). Dit komt overeen met indicatieve metingen van Deru et al. (2018) waarbij de gemeten NH_3 -emissie bij bovengrondse aanwending van mest en gier op grasland circa 2 maal zo hoog was (als % van de hoeveelheid TAN) dan bij emissie-arme aanwending van mengmest. Echter, bovengronds uitrijden van gier is uitzonderlijk en niet gekoppeld aan mest uit strooiselstallen. Bovendien, net als bij emissies uit mest in de stal, spelen vele factoren een rol bij de NH_3 -emissies tijdens de veldperiode. Er zijn voorbeelden van proeven waarbij NH_3 -emissies bij emissie-arme aanwendingstechnieken nagenoeg van vergelijkbare hoogte waren als bovengronds uitrijden (Huijsmans en Schils, 2009).

Webb et al. (2012) laten een grote variatie zien in de NH_3 -emissie bij aanwending van vaste mest, mede afhankelijk van de diersoort en tijdstip tot onderwerken, maar in sommige gevallen ook in relatie tot opslag: NH_3 -emissie tijdens opslag kan de emissie tijdens aanwending verlagen doordat er minder TAN aanwezig is in de mest. Het effect van hoeveelheid stro in de stromest was minder duidelijk, maar een grotere hoeveelheid stro kan de emissie tijdens aanwending verhogen. In het algemeen kunnen Webb et al. (2012) echter weinig sterke conclusies te trekken omdat de processen complex zijn, en de interacties tussen processen in de stal, opslag en aanwending sterk, terwijl er nauwelijks studies voor handen zijn waarbij deze processen en interacties geïntegreerd zijn onderzocht. Ook bij de aanwending van vaste mest uit zogenaamde vrijloopstallen zijn zeer lage NH_3 -

emissies gemeten, mogelijk in relatie met hoge N-verliezen en/of N-immobilisatie in de stal (Galema et al., 2015).

Sommer en Hutchings (2001) rapporteerden dat NH₃-emissies van vaste mest door vergelijkbare mechanismen worden beïnvloed als bij mengmest: omgevingstemperaturen, wind en neerslag hebben een sterk effect op de veldemissies. Het is dus aannemelijk dat de NH₃-emissies van vaste mest aanwending in de praktijk ook sterk variëren, en mogelijk door managementkeuzes (behoorlijk) lager kunnen uitvallen dan de hierboven genoemde NEMA-emissie factoren, bijvoorbeeld wanneer vaste mest op bouwland laat het in najaar wordt aangewend (relatief vochtig en koud) en snel wordt ingewerkt.

Ondanks deze onzekerheden, betekent dit ook dat de regelmatig geponeerde stelling dat de vervolg-emissies bij aanwending van strooiselmest veel lager zijn dan de NH₃-emissies bij mengmest-aanwending vooralsnog niet kan worden onderbouwd, en dat beperking van de veldemissies minstens zo belangrijk zijn dan beperking van de stal-emissie indien men de NH₃-emissies uit het gehele bedrijfssysteem wil beperken.

3.4.3 Dierwelzijn en strooiselstallen

Een stalsysteem en de inrichting ervan heeft invloed op het dierenwelzijn. Maar hierop zijn ook andere variabelen van invloed, bijvoorbeeld bezettingsgraad, klimaat, management, voeding en groepsgrootte. Daardoor geeft een strooiselstal niet per definitie altijd een beter dierenwelzijn dan een alternatief, aangezien de variatie binnen de verschillende stal-systemen groot is en afhankelijk van het precieze stalontwerp, management etc.. Wel worden in het algemeen strooiselstallen geassocieerd met een beter dierenwelzijn dan betonvloeren en stalsystemen met (lig)boxen. Belangrijke voordelen van strooiselstalsystemen zijn:

- Lagere incidentie van klauw-, hak- en beenwerkbeschadigingen, doordat er geen obstakels zijn bij het gaan liggen en opstaan, er geen gladde vloer aanwezig is, en door een zachtere ondergrond waardoor er minder piekbelastingen op de klauwen en beenwerk zijn. Vooral bij rundvee in strooiselstallen is in wetenschappelijke literatuur te vinden dat de incidentie van klauwaandoeningen lager is dan bij roosterstalsystemen (Smolders, 2012; Tuytens, 2005).
- Dieren kunnen een vrije lighouding aannemen (met name ten opzichte van systemen met ligafscheidingen), waardoor dieren makkelijker kunnen gaan liggen en niet botsen met ligafscheidingen tijdens het gaan liggen of opstaan. Uit onderzoek blijkt dat runderen, ten opzichte van strooiselstallen, in stalsystemen met betonnen vloeren minder vaak gaan liggen of opstaan, dat de ligperiodes korter zijn evenals de totale ligduur, en dat runderen vaker kortere ligperiodes hadden of minder intenties tot gaan liggen lieten zien en meer twijfelden om te gaan liggen (Graf, 1979; Andrae en Smidt, 1982; Graf, 1984; Ladewig, 1987). Wel zouden synthetische matten mogelijk een

vergelijkbaar niveau van comfort als stro kunnen geven, al zijn voor zover bekend deze stalsystemen niet naast elkaar onderzocht (Tuytens, 2005).

- Uit onderzoek met vleesvarkens is gebleken dat het verstrekken van stro minder staartbijten, agressie en anti-sociaal gedrag opleverde, en een verhoging gaf van activiteit, exploratie en speelgedrag (Beattie et al. 1995). In andere studies neemt ook stereotiep gedrag af na de verstrekking van stro (Tuytens, 2005). Mogelijk is een gedeelte van deze effecten door te vertalen naar zeugen. Anderzijds zijn deze effecten (gedeeltelijk) ook te bereiken door stro in een rek te verstrekken in plaats van een bodem met strooisel. Strostallen met verrijkte uitloop gaven bij varkens een grotere gedragsdiversiteit (Hirt en Wechsler, 1994).
- In vergelijking met een onverwarmde betonvloer, is stro voor varkens comfortabeler dan een kale betonvloer. Bij verwarmde betonvloeren is dit verschil niet meer aanwezig. Ten opzichte van synthetische ligmatten is het niet bekend of varkens een voorkeur geven voor stro (Tuytens, 2005).
- Varkens kunnen wroeten in strooiselstal. Wroeten is onderdeel van het natuurlijke gedrag van varkens. Ook is stro een stimulus voor dieren en geeft het de mogelijkheid voor verkenning en vreten (Tuytens, 2005).
- Stro geeft varkens de mogelijkheid om hun microklimaat te beheersen wat de dieren een hoger thermisch comfort geeft (Tuytens, 2005), en stro geeft een zeug vlak voor werpen de mogelijkheid om een nest te bouwen waar ze op dat moment voor gemotiveerd is (Arey et al. 1991).
- Er zijn indicaties dat de uitval van dieren lager is wanneer ze gehuisvest zijn op stro, ten opzichte van betonnen (rooster)vloeren (Tuytens, 2005). Hierdoor is de levensduur van dieren langer is, waardoor er minder jongvee voor vervanging aangehouden hoeft te worden. Er zijn, voor zover bekend, geen wetenschappelijk onderbouwde studies waar dit met zekerheid uit te concluderen valt.

Nadeel van strooiselstallen is dat dieren vaker vies kunnen zijn of worden, met name als de mest relatief nat is (vooral bij melkvee). Daarnaast heeft stromest vaak ideale omstandigheden voor bacteriën en pathogenen om te groeien, wat een negatief effect op diergezondheid kan betekenen. Zo worden bij strooiselstallen met melkvee vaak meer melkwaliteitsproblemen (hoog celgetal) gesignaleerd (Smolders, 2012).

3.5 Relevante verschillen gangbaar en biologisch gehouden dieren in strooiselstalsystemen

Hieronder zijn relevante verschillen tussen gangbaar en biologisch gehouden dieren opgesomd en toegelicht. Per punt is aangegeven hoe de relatie met NH₃-emissie kan zijn. Er is niet ingegaan op de effecten van de relevante verschillen op broeikasgas- en fijnstofemissies, en eventuele trade-offs tussen verschillende emissies.

- De N-excretie per dier per jaar verschilt aanzienlijk voor biologisch gehouden dieren in vergelijking met niet-biologisch gehouden dieren, door verschillen in productieniveau, rantsoen en/of voederconversie (Bikker et al., 2013). Zo is de N-excretie per dier voor biologisch melkvee (en waarschijnlijk ook geiten; Groenestein et al., 2015) 9-12% lager maar voor zeugen 59% hoger dan voor gangbare dieren. Voor zoogkoeien en vleesstieren zijn geen gegevens bekend. Een lagere N-excretie per dier kan resulteren in een lagere NH₃-emissie per dier (bij gelijkblijvende emissie-factoren; dit is echter ook van andere rantsoen gerelateerde factoren afhankelijk zoals pH en concentratie NH₃).
- Bij biologische gehouden runderen en geiten wordt verplichte weidegang toegepast (SKAL-regelgeving schrijft voor: *de dieren moeten altijd naar buiten kunnen, tenzij dit niet kan door weers-, bodem- en gezondheidsomstandigheden. ...*), wat betekent dat een deel van de mest en urine in het land terecht komt, waardoor de NH₃-emissie uit de stal lager is (mede afhankelijk van de verandering van besmeurd oppervlak in de stal tijdens de weidegangperiode; zie verder hoofdstuk 5). Bij niet-biologisch gehouden dieren wordt vaak minder weidegang worden toegepast, bijvoorbeeld omdat er geen of niet voldoende weidegrond beschikbaar is op het bedrijf. Bij melkkoeien, bijvoorbeeld, past 76% van de gangbare bedrijven weidegang toe, waarbij het aandeel weide-uren in het weideseizoen 26% is met 175 weidedagen, terwijl bij biologische melkveebedrijven dit 100 en 56% en 211 dagen is, respectievelijk (Agrimatie, cijfers 2016) ¹.
- Weidegang voor biologisch gehouden zeugen en stieren komt vaak voor maar is niet verplicht, een uitloop in de open lucht wel. De uitlopen mogen verhard zijn en voor maximaal 75% overkapt zijn. De aanwezigheid en de inrichting van de uitloop (bodem, beton, overkapping, etc.) zal van invloed zijn op de NH₃-emissie van het strooisel-stalsysteem. Gangbaar gehouden zeugen beschikken doorgaans niet over een uitloop.
- Stallen voor biologische gehouden dieren dienen natuurlijk geventileerd zijn, wat het gebruik van *end-of-pipe* technieken (zoals een luchtwasser) complex maakt. Bij het gebruik van een luchtwasser dient de vuile lucht de stal via de wasser te verlaten om emissies te reduceren, wat maakt dat stalsystemen met luchtwassers nagenoeg altijd mechanisch geventileerd zijn en een gedefinieerde in- en uitlaat van lucht hebben.
- In de stallen voor biologisch gehouden dieren dient voldoende daglicht binnen te komen. Hierdoor wordt dakisolatie minder vaak toegepast bij biologisch gehouden dieren, terwijl dakisolatie kan bijdragen aan een verminderde NH₃-emissie (zie hoofdstuk 5).

¹ Voor de emissiereductie **bij mengmeststallen met een roostervloer** geeft Ogink et al. (2014) de formule: 2,61% * aantal weideuren per dag * aantal weidedagen/365. Voor biologische bedrijven zou deze weidegang de NH₃-emissie beperken met 20,2% en voor gangbare bedrijven met 7,8%. Op basis van CBS-cijfers, met 1780 weideuren per jaar, komen Hoving et al. (2014) voor gangbare bedrijven op een emissiereductie van 12,7%, en voor biologische bedrijven, met 3300 weideuren, op 23,6%. Indien alle bedrijfseffecten worden meegenomen (dus inclusief effecten op mestopslag en toediening), zou de emissiebeperking nog 26% hoger liggen, nl. 3,3% per weide-uur i.p.v. 2,61% (Hoving et al., 2014).

4 Inventarisatie per diercategorie

In dit hoofdstuk is per diercategorie uitwerkt hoeveel dieren en strooiselstallen er aanwezig zijn (voor zover bekend), wat de typische eigenschappen van de gebruikte stalsystemen per diercategorie zijn en of er meetresultaten zijn van emissies van de strooiselstalsystemen ten opzichte van een eventueel meest gebruikt referentie stalsysteem.

4.1 Melkvee

4.1.1 Aantallen en huisvestingssystemen

In Nederland wordt 88 % van het jongvee ouder dan 1 jaar in ligboxenstallen gehuisvest, en van de melk- en kalfkoeien ca. 95%. En, van het jongvee van 1 jaar of ouder wordt ca. 1% in een potstal gehuisvest en van de melk- en kalfkoeien ca. 0% (afgerond) (CBS-Statline, cijfers 2012). In 2018 waren in Noord-Brabant 2470 melkveebedrijven, en uit een eerdere telling (in 2000) bleek dat er ruim 100 potstallen in de provincie stonden (CBS-Statline). In 2017 waren er 40 melkveebedrijven die werkten volgens biologische productiewijze of in omschakeling waren, waarvan slechts enkele hun melkvee in strooiselstallen gehuisvest hebben.

Algemene indruk is dat er slechts enkele volledige strooiselstallen zijn op melkveebedrijven in Noord-Brabant. Deze strooiselstallen hebben veelal gedeeltelijk een rooster- of dichte vloer bij het voerhek. Vaker voorkomend (maar ook onbekend hoe vaak) is een gedeeltelijke strooiselstal waarbij een gedeelte van het melkvee (veelal het melkvee in transitie, soms ook een groep met hoogproductieve dieren) op strooisel worden gehouden, terwijl het overige melkvee op een roostervloer loopt. Een recente ontwikkeling is de vrijloopstal waarin het melkvee op een andere ondergrond van natuurlijk materiaal dan stromest verblijft, een veel groter oppervlak per dier heeft (minimaal 10 m², veelal circa 15 m² i.p.v. circa 6 bij "gewone" strooiselstallen) en, in afwijking van potstallen, verschillende vormen van stimulering van het composteringsproces van de mest worden toegepast zoals beluchten en omzetten van het stro-pakket (Galema et al., 2014). Ook daarvan zijn er enkele in Noord-Brabant.

In een strooiselstal voor melkvee is het lig- en loopgedeelte gecombineerd. Zie bijlage 2 voor foto's en een aantal belangrijke karakteristieken van strooiselstallen voor melkvee. Een strooiselstal bestaat uit een groot, met stro ingestrooid lig- en loopgedeelte en een vreetgedeelte, dat meestal is voorzien van een roostervloer met mestkelder, hoewel dit ook uitgevoerd kan worden met andere vloersystemen die gebruikelijk zijn in ligboxenstallen. Het totaal aantal m² per dierplaats is veelal aanzienlijk groter dan in ligboxenstallen.

Bij met name melkgevende koeien geeft een diepere strooiselstal of hellingstal (waar het strooiselpakket onderaan de helling veelal dik is) vaak problemen ten aanzien van het strooiselverbruik, uiergezondheid en/of de stalhygiëne door de relatief grote hoeveelheid

dunne mest die de dieren produceren. Ook kan broei optreden in een opgebouwd stro/mestpakket. Daarnaast kan het voorkomen dat koeien door hun hoge gewicht weg zakken in het strooiselpakket, waardoor uiers makkelijk bevuild worden, en leidt de aanwezigheid van tochtige koeien tot extra vervuiling. Vandaar dat de volledige strooiselstal en hellingstal voor melkvee nauwelijks wordt gebruikt (Ouweltjes et al., 2003).

4.1.2 Emissies strooiselstal ten opzichte van ligboxenstal voor melkvee

Mosquera et al. (2005) maten bij een strooiselstal op een commercieel melkveebedrijf een NH₃-emissie van 13,9 kg per koe per jaar, rekening houdend met een weideperiode van 175 dagen per jaar en bij 7 uur beweiden per dag. Ook de gemiddelde methaan- en lachgasemissies lagen hoger dan de emissies in ligboxenstallen zoals gemeten door Mosquera et al. (2011), gemiddeld ruim driemaal zo hoog, maar deze gemiddeldes werden sterk beïnvloed door één zeer hoge meetwaarde. Naast een warme pot (45 °C) was ook de hoge buitentemperatuur opmerkelijk (ruim 2 °C hoger dan de normaal gemiddelde jaartemperatuur tijdens de metingen).

Hoewel nog in ontwikkeling, laten de emissie-onderzoeken aan vrijloopstallen weinig bemoedigende resultaten zien: de N-verliezen zijn aanzienlijk hoger dan die van de referentiestallen, door vergelijkbare tot hogere NH₃-emissies en (veel) hogere lachgas-emissies dan in referentiestallen (Galema et al. 2015). Het veel grotere oppervlak per dier en de actieve compostering, met soms sterk verhoogde temperaturen in het strobed, lijken hiervoor de belangrijkste oorzaken. Regelmatig bijstrooien van materiaal met een hoge C/N verhouding wordt aangemerkt als een mogelijkheid om de N-verliezen sterk te beperken (de Boer en Galema, 2015).

Volgens Mosquera et al. (2012) geven diverse meetresultaten geen aanleiding te veronderstellen dat NH₃-emissie van strooiselsystemen hoger of lager zou zijn dan bij traditionele systemen. De methaanemissies uit strooiselstalsystemen kunnen wel 2-6 maal hoger zijn dan uit mengmestsystemen, met name uit diepe potstallen waarin anaerobe condities optreden (Webb et al., 2012).

4.2 Melkgeiten

4.2.1 Aantallen en huisvestingsystemen

In 2017 telde Noord-Brabant 103 bedrijven met in totaal 116.455 met melkgeiten (inclusief geiten <1 jaar oud), met een gemiddelde bedrijfsgrootte van 1.131 melkgeiten. In Noord-Brabant is het aandeel biologisch gehouden geiten met 3.0 % wat lager ten opzichte van het gemiddelde in Nederland (6.9%) (Agrimatie, cijfers 2014).

Strooiselstallen zijn het gangbare staltype voor de geitenhouderij (KWIN-V, 2016-2017). Het overgrote merendeel van de melkgeiten is gehuisvest in volledige strooiselstallen, zonder mestgang. Stallen voor melkgeiten hebben doorgaans potdieptes van ca. 40 tot 90 cm (Schuiling, 2000). Per melkgeit wordt een minimaal oppervlakte aangehouden van 1.3 m³ (gangbaar) en 1.5 m³ (biologisch). Strooiselstallen voor melkgeiten zijn veelal natuurlijk geventileerd en relatief open. Bijlage 5 laat een schematische doorsnede zijn van een strooiselstal voor melkgeiten. De stallen zijn doorgaans opgebouwd uit een voergang met aan beide zijden een 'pot' waarin de dieren op stro lopen. Grotere stallen bestaan vaak uit meerdere voergangen met aan beide zijden 'potten'. De mestopslag is doorgaans buiten de stal of in sommige gevallen buiten het bedrijf. Gangbaar gehouden melkgeiten worden nagenoeg niet geweid in tegentelling tot geiten in de biologische houderij welke verplicht geweid worden.

4.2.2 Emissies strooiselstal voor melkgeiten

Er zijn drie onderzoeken naar de ammoniak- en geuremissie uit geitenstallen gedurende de afgelopen jaren uitgevoerd (voor zover bekend) welke in grote lijnen onder gelijke omstandigheden waren, met name ten aanzien van stalbezetting, ventilatiesoort, ventilatiedebiet, temperatuur en strogebruik (Bijlage 4). In alle studies werd een NH₃-emissie gemeten die gelijk of groter was (tot 4.4 kg/ dierplaats/ jaar) dan de Rav-waarde voor geiten > 1 jaar (1.9 kg/ dierplaats/ jaar). Qua geuremissie werden grote verschillen gemeten van 2.9 tot 23.8 OUE per seconde per dierplaats, wat zowel onder als boven de Rgv referentie voor geiten >1 jaar is (18.8 OUE per seconde per dierplaats).

4.3 Vleesrunderen: zoogkoeien en vleesstieren

4.3.1 Aantallen en huisvestingsystemen

In 2017 telde provincie Noord-Brabant 930 bedrijven met gemiddeld 40 stuks jongvee voor vleesproductie, waarvan 534 bedrijven met mannelijk jongvee van 1- 2 jaar. Tevens waren er 647 bedrijven met gemiddeld 15 overige koeien (wat met name zoogkoeien zijn). In 2017 waren er in Noord-Brabant 20 bedrijven die rundvee voor de vleesproductie op biologische wijze hielden, met een gemiddelde bedrijfsgrootte van 38 dieren (CBS-statline, 2018).

Strooiselstallen voor vleesvee kennen vele variaties. De volledig ingestrooide stal wordt gekenmerkt door het hoogste strooiselverbruik, 5-10 kg per GVE (Bijlage 6, A). Een ander nadeel van dit type stal is dat het voerhek in principe verstelbaar moet zijn met de hoogte van de stromest mee voor een comfortabele vreethouding. Volledig ingestrooide stallen komen daarom niet veel meer voor (Van Gansbeke et al., 2006). De gedeeltelijk ingestrooide stal (Bijlage 6, B) en hellingstal zijn als varianten op de volledige strooiselstal ontwikkeld (Bijlage 6, C, D en E), met name om stro te besparen. Ook kan een optimale vreethouding makkelijker worden gerealiseerd in deze stallen. Bij een goede inrichting

vermindert een niet-strooisel gedeelte de diercirculatie door het strooiseldeel (ligruimte). In sommige gevallen is het niet ingestrooide gedeelte van de stal niet overkapt (Van Gansbeke et al., 2006). Ook bestaan er hellingstallen met een volledige strooiselvloer, zonder ruimte waar niet ingestrooid wordt. Bij aanwezigheid van een niet-strooiseldeel, wordt deze doorgaans regelmatig met een mestschuif of machinaal uitgemest. Een minder vaak voorkomende variant op de hellingstal is de omgekeerde hellingstal, waarbij de helling dan uitsluitend dient om gier te concentreren en het strobed droger te houden (Van Gansbeke et al., 2006).

Stallen voor vleesvee zijn doorgaans natuurlijk geventileerd. Naast een gesloten stal komt de openfront stal veel voor, al dan niet met een geïsoleerd dak. De 'gesloten' stal heeft doorgaans wanden die ventilatie (gedeeltelijk) toestaan, met behulp van windbreekgaas of vele smalle/ kleine openingen in de wand.

Bij zoogkoeien en vleesstieren komen allerlei staltypes voor: grupstallen, mengmeststallen en strooiselstallen in alle variaties. Met name zoogkoeien en vleesstieren welke tot een zwaarder eindgewicht worden opgefokt, worden naar zeggen hoofdzakelijk in strooiselstallen gehuisvest. Echter, volgens gegevens van de Landbouwtelling werden in 2015 nog 50-65% van deze dieren in mengmeststallen gehuisvest (van Bruggen et al., 2018).

4.3.2 Emissies strooiselstal voor zoogkoeien

Groenestein en Huis in 't Veld (1994) rapporteerden (omgerekend) een emissie van 14,2 NH₃ g per dier per dag voor een potstal (10,7 m² pot per dierplaats; 2,1 m² betonplaat per dierplaats aan voerhek) voor zoogkoeien (Blonde d'Aquitaine). De Rav-emissiewaarde van 4,1 kg NH₃ (A2.100; omgerekend 22,8 g per dier per dag bij 180 dagen stal) is afgeleid van de relatieve TAN-emissie in de stal door zoogkoeien ten opzichte van melkvee (Ogink en Groenestein, 2014), waarbij er voor zoogkoeien geen verschillende stalsystemen worden onderscheiden binnen de Rav. Door Groenestein en Huis in 't Veld (1994) is de methaan-emissie voor zoogkoeien gemeten (Bijlage 7), welke 2 à 3 keer hoger was dan bij melkvee in een ligboxenstal (127-142 kg, Bijlage 3).

4.3.3 Emissie strooiselstal ten opzichte van roosterstal voor vleesstieren

Door Ruis-Heutinck et al. (1999) zijn oppervlakte-metingen met een zogenaamde Lindvall-doos uitgevoerd aan ammoniak- en methaanemissie van onder andere een roostervloer en een strooiselstal (1 m diep stropakket) voor vleesstieren (Bijlage 8). De NH₃-emissie was circa 20% en die van methaan circa 80% hoger dan van een roostervloer + mestkelder.

Oriënterende metingen (Monteny, persoonlijke mededelingen) aan een praktijkstal met vleesstieren (650 kg), gehouden op een 0,6 m diepe pot, met een hellende betonvloer aan

het voerhek (6,1 m² per dierplaats waarvan 4,2 m² pot) in juni (23°C) gaven een emissie van omgerekend 14 g NH₃ per dierplaats per dag (wat zich vertaalt naar 5,1 kg per jaar).

Eind 2016 zijn op vier bedrijven met vleesstieren (8 - 24 maanden, Rav categorie A6) enkele metingen uitgevoerd naar emissies van natuurlijk geventileerde hellingstallen, met 6,4 tot 7,2 m² per dier en 38% tot 50% dichte vloer, waarop de meeste mest aanwezig was en die 1-4 dagen voor de metingen was uitgemest. De emissies bedroegen omgerekend 12,7 tot 29,6 kg NH₃ (gemiddeld 21,4) en 71,3 tot 207,3 kg methaan (gemiddeld 111) per dierplaats per jaar (Aarnink et al., 2017), bij temperaturen in de pot van 19 tot 25°C. De NH₃-emissie was veel hoger dan zowel bovengenoemde oriënterende meting van een strooiselstal, als de meting aan een volledige roostervloer (7,2kg NH₃/dp/j bij een vloeroppervlak van 2,8m²; Scholtens en Huis in 't Veld, 1998) als de Rav-emissiewaarde van 5,3 kg NH₃ (A6.100) welke is afgeleid van de relatieve TAN-emissie in de stal door vleesstieren ten opzichte van melkvee (Ogink et al., 2014). Lachgas- en PM10-emissies konden door Aarnink et al. (2017) niet nauwkeurig worden bepaald, omdat de concentraties in de uitgaande lucht vrijwel niet verhoogd waren ten opzichte van de concentraties in de ingaande lucht. Hieruit kan wel geconcludeerd worden dat de emissie van lachgas en PM10 laag waren.

4.4 Zeugen

4.4.1 Aantallen en huisvestingssystemen

In 2017 telde provincie Noord-Brabant 1574 bedrijven met varkens, waarvan 766 bedrijven met fokvarkens (zeugen en opfokzeugen). De gemiddelde bedrijfsgrootte was 3814 dieren voor bedrijven met varkens, en 739 dieren voor bedrijven met fokvarkens. In Nederland wordt 0,6% van de varkens gehouden als biologisch op 2,3% van de bedrijven. In 2017 was in Noord-Brabant de gemiddelde bedrijfsgrootte van biologische bedrijven met fokvarkens 119 dieren (CBS-statline, 2018).

Groepshuisvesting (voor zeugen sinds 2013 verplicht) met een gedeeltelijke roostervloer en dichte betonvloer zonder stro, al dan niet met voerstations of met voerligboxen, is het meest voorkomende huisvestingssysteem voor zeugen. Dit is hier het referentiesysteem. Een variant hierop is de groepshuisvesting met gedeeltelijke strooiselruimte. Voor drachtige zeugen geldt dat ze een oppervlak van tenminste 2.25 m² per dier beschikbaar moeten hebben, waarvan 1,3 m² een aaneengesloten dichte vloer is (normen variëren ±10% afhankelijk van groepsgrootte).

Elke strooiselstal voor zeugen bestaat uit een ligruimte, een mest- en loopruimte en een eetruimte (Bijlage 9). In de praktijk varieert het oppervlak strooiselruimte per zeug, maar vaak is het zo groot als het voorgeschreven oppervlak voor de dichte vloer. Sommige stallen hebben naast een dichte vloer ook een gedeelte roostervloer (bedoeld als mestruimte). De mestruimte is in sommige gevallen tot ca. 20 cm verdiept voor een mechanische

mestafvoer (Van der Peet-Schwering et al., 2010). In een inventarisatie van strooiselstallen varieerde het jaarlijkse strogebruik per zeug tussen de 240 kg en 600 kg, waarbij de bovenzijde van het stro niet sterk met mest bevuild was (23% van het oppervlak), maar bij de ingang naar de ligruimte meestal wel.

Zeugenstallen zijn zowel mechanisch als (gedeeltelijk) natuurlijk geventileerd. De (drijf)mestopslag is vaak onderdeel van de stal, en in andere gevallen elders op of buiten het bedrijf.

4.4.2 Emissies strooiselstal zeugen ten opzichte van stalsysteem zonder strovoorziening

Ivanova et al. (2008) berekende voor biologisch gehouden zeugen in drie gedeeltelijke strooiselstallen met uitloop en weide (waar tot 50% van de urine werd gedeponeerd) NH_3 -emissies die vergelijkbaar of hoger waren dan de Rav referentie. De emissie van de uitloop en kelder waren substantieel, maar konden volgens Ivanova et al. fors gereduceerd worden door een aangepast ontwerp, resulterend in een lagere emissiewaarde dan de Rav-waarde (D1.3.100) van 4,2 kg NH_3 per zeug per jaar. Groenestein (2006) mat in een zeugenstal met een vloeroppervlak die voor 60% uit strobed bestond, (overig was roostervloer en dichte vloer) een NH_3 -emissie van 2,9 kg per zeug per jaar (Bijlage 10). Mede op basis hiervan is een emissie-waarde van 2,6 kg toegekend voor een rondloopstal met strobed (D1.3.10) ondanks dat daarin geen eisen omtrent een verkleind emitterend kelderoppervlak zijn opgenomen. Het belang van een klein emitterend kelderoppervlak valt ook af te leiden uit Aarnink et al. (2017). Zij berekenden een NH_3 -emissie van 1,7 en 3,7 kg per jaar voor twee gedeeltelijke strooiselstallen met biologische vleesvarkens, met een lage kelder-emissie door een klein emitterend oppervlak als het belangrijkste verschil. In dezelfde studie werd voor de referentiestallen (zonder stro en zonder uitloop) een NH_3 -emissie van 3,3 en 3,5 kg per jaar berekend. De lagere keldertemperatuur van de natuurlijk geventileerde biologische stallen (15,7 vs. 22,4°C) werd als waarschijnlijke verklaring genoemd.

Ook vond Groenestein (2006) dat emissies van de broeikasgassen methaan en lachgas in een strooiselstal voor zeugen niet substantieel waren gegeven het stro-management in de onderzochte stal. Aarnink et al. (2017) vonden geen verhoogde fijnstof-concentraties in strooiselstallen voor vleesvarkens. In metingen aan de zogenaamde wroetstal voor vleesvarkens (een hellende strooiselstal met zaagsel, meer ruimte per dier en dagelijkse stromestverwijdering vanuit de lagergelegen goot) werden duidelijk lagere ammoniak-, geur-, stof- en methaan-emissies gevonden dan in traditionele stallen; de lachgas-emissie was iets verhoogd (Houwers et al., 2014). De gemeten NH_3 -emissie bleef echter (ruim) boven de grenswaarde voor emissie-arme stallen. Verdere verlaging van de NH_3 -emissie werd mogelijk geacht door een snellere, gescheiden, afvoer van mest en urine en een vermindering van de stro-bevuiling in het liggedeelte, met name in zomerperiode. Dit is o.a. mogelijk door een aangepaste stalinrichting, waarbij gebruik wordt gemaakt van het

hygiënisch gedrag van varkens, en regelmatig afdekken van bevuild strooisel met vers droog stro (Houwens et al., 2014).

4.5 Samenvattende waardering huidige strooiselstalsystemen

Een solide waardering van de huidige strooiselstalsystemen ten opzichte van andere stalsystemen wat betreft de NH₃-emissie is onmogelijk omdat:

- de huidige strooiselstallen zeer divers zijn in hun uitvoering, zowel wat betreft het oppervlak en management van het strooiseldeel als het oppervlak, type en management van het niet-strooiseldeel van het vloeroppervlak.
- de resultaten van de metingen een enorme spreiding laten zien, deels als gevolg van de variatie in relevante omgevingsfactoren (zoals temperatuur en ventilatiedebiet), en deels door bovengenoemde variatie in uitvoering en management. Nadere analyse van de meetresultaten gaf slechts beperkt extra duiding aan de resultaten omdat relevante informatie omtrent omgevingsfactoren, productie- en stalsysteem vaak ontbrak of moeilijk interpreteerbaar was.
- het voor een aantal diercategorieën onduidelijk is met welk stalsysteem strooiselstallen vergeleken moeten worden. Met name bij geiten en vleesvee zijn er nauwelijks (andere) stalsystemen waarover gedegen informatie beschikbaar is; voor zover informatie wel beschikbaar is (bijv. Rav-waardes voor geiten, zoogkoeien en vleesstieren) is meestal onduidelijk wat het productiesysteem is waarop dit betrekking heeft (bijv. aangaande TAN-excretie van de dieren in de stal, stalinrichting, etc.).

In algemene zin kan geconcludeerd worden dat de NH₃-emissie van huidige strooiselstalsystemen sterk variabel is maar grofweg niet lager is dan de emissie van overige stalsystemen, waarschijnlijk met uitzondering van zeugenstallen die een lagere NH₃-emissie hebben. En dat de emissies van het niet-strooiseldeel (zeer) belangrijk zijn voor de totale stal-emissie.

Daarnaast is het strooiselgedeelte een extra bron voor de emissie van broeikasgassen. Met name methaanemissies uit diepere potten met rundvee waarin anaerobe omstandigheden optreden, kunnen sterk verhoogd zijn. De weinige metingen aan geur en fijnstof laten geen duidelijk verlaagde of verhoogde emissie zien bij strooiselstallen. Voor fijnstof is waarschijnlijk de kwaliteit van het strooisel (schimmel?) wel van belang.

5 Potentiële maatregelen ter beperking van de NH₃-emissie van strooiselstalsystemen

5.1 Omschrijving aanpassingsmogelijkheden en verwachte effecten

In deze paragraaf worden aanpassingsmogelijkheden voor strooiselstallen en hun mogelijke effecten toegelicht. De potentiële aanpassingsmogelijkheden worden vervolgens gescoord voor hun effecten op NH₃-emissie (tabel 2), op overige emissies, dierwelzijn en mest-kwaliteit (tabel 3) en toepasbaarheid, kosten en borging (tabel 4). Aangezien gemeten emissies een enorme variatie laten zien en de omschrijving van relevante omstandigheden veelal weinig nauwkeurig is, is de definiëring van perspectiefrijke maatregelen en hun mogelijke effecten sterk hypothese-vormend op basis van expert-judgement van de auteurs.

Aanpassingen aan het niet-strooisel gedeelte:

De verwachting is dat bij de meeste strooiselstallen (m.u.v. geitenstallen) in de niet-ingestrooide gedeelten (dichte vloeren en roostervloeren) de grootste emissie-reducties behaald kunnen worden. Dit wordt geïllustreerd met indicatieve berekeningen in tabel 1 voor het niet-strooiseldeel in een rundveestal. Het effect van frequenter uitschuiven van niet-ingestrooide vloerdelen richting een afgesloten mestopslag blijkt zeer groot, terwijl het gebruik van (Rav-erkende) aangepaste vloeren de NH₃-emissie verder beperkt. Afhankelijk van de huidige situatie zijn ook het verkleinen of afdichten van het emitterend oppervlak onder de vloer (bijvoorbeeld een voerstoep achter het voerhek) of van de mestput, potentierijke maatregelen. Naast de combineerbaarheid met een strooiseldeel, is de beloopbaarheid van de geschoven vloer een belangrijk aandachtspunt, om te voorkomen dat runderen (met name vleesrunderen, welke mest produceren met hoge consistentie) niet uitglijden op gedeeltelijk weggeschoven/ uitgesmeerde mest.

Tabel 1: Uitkomsten indicatieve berekeningen met het NH₃-emissiemodel voor melkveestallen (Monteny, 2000) voor het niet-strooiselgedeelte in een strooiselstal voor rundveestal met 3 m² per dierplaats aan oppervlak zonder strooisel (zie verdere toelichting bijlage 13). Voor elke uitvoering wordt de mestverwijdering tot uitdrukking gebracht in de 'plasdikte' van de invoer voor het rekenmodel. Plasoppervlak dichte, vlakke vloer: 1,2 m²; plasoppervlak roostervloer: 0,8 m².

Uitvoering en mestverwijdering	Berekende ammoniakemissie (kg NH₃/ dier / jaar)
1. Dichte, vlakke vloer, zonder mestkelder, met niet-frequente mestverwijdering (bijv. schuif) – plasdikte 5 mm.	37,7
2. Idem, twee maal daags mest verwijderen – plasdikte 2,5 mm	23,8
3. Idem, vier maal daags mest verwijderen – plasdikte 1,25 mm	13,2
4. idem, met frequente mestverwijdering (minstens elke twee uur) – plasdikte 0,48 mm	7,0
5. Traditionele betonnen roostervloer met mestkelder en frequente mestverwijdering – plasdikte 0,48 mm	7,2
6. Emissiearme dichte vloer zonder mestkelder met frequente mestverwijdering – plasdikte 0,27 mm	3,4
7. Emissiearme roostervloer met mestkelder en frequente mestverwijdering – plasdikte 0,27 mm	3,0

Het instrooien met stro van niet-verdiepte stalgedeelten met een dichte vloer wordt soms in de praktijk toegepast, bijvoorbeeld om vloeren stroever te houden. Ook kan dit stro vocht met ammonium opnemen en de luchtsnelheid boven het emitterend oppervlak beperken. Het is echter onwaarschijnlijk dat het instrooien (en onregelmatig uitschuiven) van dit stalgedeelte een belangrijk reducerend effect heeft op de NH_3 -emissies, o.a. omdat vochtig strooisel ook een vergroting van het emitterend oppervlak geeft ten opzichte van een betonnen vloer.

Aanpassingen aan het strooisel gedeelte:

Betreffende het aanpassen van de ingestrooide gedeelten, kan worden gedacht aan verkleining van het oppervlak per dier bij een gelijkblijvende hoeveelheid stro verbruik, wat in principe leidt tot een kleiner emitterend oppervlak. Deze maatregel is ongunstig voor het dierwelzijn. Bovendien moet vermeden worden dat de hogere veebezetting leidt tot extra bewegingen (en het eventueel 'doorzakken' van m.n. rundvee door het stromest-pakket) wat een groter oppervlak geeft met bevuilde stromest die niet is afgedekt met droog schoon stro.

Bij diepere potten/ minder vaak uitmesten ontstaan diverse omzettingsprocessen in de stromest (aerob, semi-anaerob tot volledig anaerob, afhankelijk van de porositeit van het bed, dus compostering of fermentatie) die kunnen leiden tot o.a. (extra) ammoniak-, lachgas-, methaan- en geur-emissies. Een kortere verblijftijd van de stromest in de pot is **in theorie** gunstig om de ontwikkeling van anaerobe processen te remmen of voorkomen, en kan dus leiden tot lagere emissies uit het stromest pakket. Vergelijking van de studies van Aarnink et al. (2012) met Beurskens et al. (2004) en Huis in 't Veld et al. (2002) duidt, naast een mogelijk lagere NH_3 -emissie, ook op een verlaagde geur-emissie door een frequentere mestverwijdering, hoewel de metingen bij een minder frequente leeghalen van het strooisel gedeelte ook gepaard gingen met een hogere omgevingstemperatuur en een hoger ventilatiedebiet. Nadeel van frequentere mestverwijdering is wel dat tijdens en kort na het uithalen van het strooisel-gedeelte telkens een piek kan optreden in de NH_3 -emissie doordat het emissie-remmende stropakket wordt doorbroken en een gedeelte van de emissie naar de mestopslag verplaatst wordt (gedurende de eerste 25 uur veel hoger dan de stal-emissie; zie ook Mosquera et al., 2005b). Emissies van de mestopslag kunnen echter worden beperkt door middel van afdekken (zie 'mestopslag' verderop).

Theoretisch kan ook het draineren van het strooiseldeel of toepassen van een vocht doorlatende vloer een vermindering van de minerale N voorraad in het stro-pakket geven en tegelijkertijd anaerobie verminderen. Uitdaging hierbij is een zodanig ontwerp dat de gaten voor urine-afvoer niet verstopt raken door aankoekende stromest. Bovendien is het de vraag wat het effect kan zijn van een dergelijke maatregel in een strooisel-stal waar door voldoende stro instrooien voorkomen wordt dat er een anaerobe laag ontstaat.

Daarnaast zouden toevoegingen aan het stromestpakket de emissies kunnen reduceren. Hierbij valt te denken aan (organische) zuren, urease-remmers, etc. De effectiviteit van

continue toevoegen is waarschijnlijk beperkt c.q. er is relatief veel toevoegingsmiddel nodig (door de grote hoeveelheid stromest); bovendien bestaat het risico dat deze toevoegingen de mestkwaliteit verminderen en een negatief effect hebben op de bodemkwaliteit. Tijdelijke toepassing (d.m.v. verneveling) tijdens het uithalen van het strooisel gedeelte kan wel effectief zijn om de emissie-piek tijdens dit uithalen te beperken.

Verschillende studies zijn gedaan naar het soort strooisel, het wel/ of niet hakselen, de frequentie van instrooien en de hoeveelheid gebruikt stro. Met name de hoeveelheid strooisel is een belangrijke aanpassing, aangezien met meer stro ook de vochtopname capaciteit van het strobed toeneemt. Pain en Jarvis (1999) rapporteren een vermindering van de NH₃-emissie uit een potstal voor vleesvee van 25% bij een toename van het strogebruik (ten opzichte van 'gangbaar') met 25%, terwijl 25% vermindering van het strogebruik een emissie-toename van ruim 68% gaf. Ook Groenestein (2006) mat een toenemende snelheid waarmee NH₃ geproduceerd werd na een urinelozing bij een toenemende hoeveelheid mest in het strobed voor zeugen. Bij indicatieve metingen aan een strobed voor jongvee met een droog oppervlak waren de emissies nihil (Deru et al., 2018). Echter, indien het strogebruik sterk wordt verhoogd is er risico op verhoogde emissies door verhoogde omzettingen in het strobed en bijkomende temperatuurstijging (compostering; Loyon et al., 2016; Webb et al., 2012).

Tarwestro is het meest gebruikte strotipe in strooiselstallen. Onderzoeksinstituut ILVO (2018) vond dat zaagsel en vlas lemen een 50 tot 100% hogere NH₃-retentie hadden dan tarwestro, wat theoretisch tot een lagere emissie leidt, maar konden geen verschillen in NH₃-emissie meten in een stalsituatie, mogelijk door korstvorming bovenop waardoor de urine niet werd geabsorbeerd door de onderliggende laag. Vlas lemen en zaagsel zijn bovendien duurder dan tarwe of gerstestro, en beperkt beschikbaar. Ook zijn er veel praktijkervaringen met gerstestro, waarbij het echter niet duidelijk is of dit beter of meer vocht opneemt dan tarwestro. Daarnaast zijn er indicaties dat fijner gemalen stro makkelijker en meer vocht opneemt dan niet gemalen stro (Tuytens, 2005). Uit onderzoek van ILVO (2018) bleek echter geen effect op NH₃-emissies van gehakseld ten opzichte van ongehakseld stro. En uit onderzoek naar materialen voor vrijloopstallen was het effect van bewerking op vochtopname beperkt (Szanto et al., 2015). In dit laatste onderzoek is ook veen/turf getest met als interessante eigenschap dat deze een lage pH heeft; het is echter duur en de milieueffecten bij winning zijn veelal zeer negatief.

Een andere mogelijke aanpassing voor het verlagen van de emissies uit het strooisel gedeelte is het koelen van het mestpakket, conform het sterke effect van temperatuur op de emissies uit mestkelders (zie bijv. Aarnink et al., 2017). Voor het koelen van het strooiseldeel zijn mogelijk aanpassingen nodig (bijv. vanwege condensvorming), maar zijn mogelijk vergelijkbaar aan het Combideck-systeem (Bijlage 11) zoals nu bij pluimvee wordt toegepast om mest te koelen.

Als laatste categorie van aanpassingen van strooiselstallen kan men denken aan nieuwe technieken of vernieuwde stalontwerpen, bijvoorbeeld de 'Vloer per functie' en de 'High welfare floor' (Bijlage 12), welke gericht kunnen zijn op het sneller afvoeren van de urine, het voorkomen van een anaerobe situatie in het stro-pakket, het benutten van dierspecifiek gedrag etc. Wel kunnen deze technieken of ontwerpen betekenen dat (gedeeltelijk) afgestapt wordt van het gebruik van strooisel, wat betekent dat er een negatieve effecten op mestkwaliteit en/ of dierwelzijn kunnen zijn.

Stalklimaatbeheersing aanpassing:

Wanneer het aanpassen van het stalklimaat leidt tot het minder noodzakelijke ventilatie, kan dit leiden tot verlaagde emissies. Gedacht kan worden aan dakisolatie (waardoor instralingswarmte wordt verminderd), een warmtewisselaar, etc. Deze maatregelen leiden in het algemeen tot een lagere/ constantere temperatuur in de stal en een lagere ventilatie/ luchtbeweging, waardoor de vervluchtiging wordt verlaagd. Een aanpassingsmogelijkheid is ook het volledig klimatiseren van de stallucht door middel van een adiabatische koeling, gericht op een constante temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Met dit systeem is ervaring in de kalver- en geitenhouderij, waarbij het minder energieverbruik voor ventileren geeft, een beperking van fijnstof (via de adiabatische warmtewisselaar, 30% lager) en een beperking van ammoniak- en geuremissie. Voor zover bekend, zijn er echter geen onafhankelijke metingen aan dit systeem verricht.

(Meer) weidegang, zonder of met het schoonmaken van het strooiselgedeelte van de stal:

Weidegang is landelijk erkent als maatregel om NH₃-emissies te verminderen bij melkvee, en het is aannemelijk dat dit effect ook aanwezig is voor melkgeiten en vleesvee aangezien NH₃-emissie ontstaat wanneer mest en urine met elkaar in aanraking komen. In de weide vallen deze grotendeels gescheiden op de grond, waardoor de NH₃-emissie beperkt is (circa 4% van de TAN). In de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) voor melkvee wordt een NH₃-emissiereductie van 5% toegekend als alle melk- en kalfkoeien in de stal minimaal 720 uur per kalenderjaar worden geweid (Mosquera et al., 2016). De vermindering van de NH₃-emissie is niet lineair aan het aantal weide-uren aangezien de emissie vanuit de stal gedeeltelijk doorgaat (vanuit de aanwezige mest), ook als er geen vee aanwezig is. Het volledig leegmaken van het strooiselgedeelte van de stal, bij permanente weidegang, zou deze emissie uit het strobed kunnen verminderen. Anderzijds, recent ongepubliceerd onderzoek van ILVO (2018) in een vleesveestal toonde geen verschillen in NH₃-emissie uit een vleesveestal als deze wel of niet werd leeggehaald, mogelijk vanwege achterblijvende natte mest aan wanden en vloer (bij de schoongemaakte stal) en/of omdat het emissieremmende pakket van droog, schoon stro dik genoeg was (bij de niet-schoongemaakte stal). Weidegang is een weinig relevante optie voor veel vleesstieren en zeugenbedrijven, evenals voor melkvee- en geitenbedrijven zonder voldoende huiskavel. Ook is het schoonmaken van het strooiseldeel bij melkgeiten nauwelijks mogelijk aangezien dit deel ook tijdens weidegang gebruikt wordt.

Mestopslag:

Door Mosquera et al. (2005b) werden de gasvormige emissies op verschillende momenten na het verwijderen van de stromest richting opslag (buiten de stal) bepaald. Uit de metingen werd afgeleid dat de NH_3 -emissie vanuit de opslag omgerekend 7,9 kg per dier per jaar bedroeg, wat gelijk is aan 55% van de ook gemeten stal-emissie. Deze emissie vond vooral plaats in de eerste 2 dagen na het uithalen (en dan vooral direct na het uithalen: na 6 uur was de emissie $>3\times$ zo hoog dan na 25 uur) en was na 13 dagen nihil geworden. De methaanemissie was beperkt gedurende de eerste dagen na uithalen, maar na twee weken werd een emissie gemeten van 30,8g $\text{CH}_4\text{-C}$ per m^3 mest per dag. Omdat de methaanemissie varieerde in de tijd maar er slechts gedurende een beperkte periode gemeten was, kon geen jaar emissie worden vastgesteld, maar de methaanemissie uit de opslag was op het moment van meten minder dan 4% van de emissie uit de strooiselstal. Lachgas-emissies waren verwaarloosbaar.

Uit de overzichtsstudie van Webb et al. (2012) komen vergelijkbare NH_3 -emissies uit de opslag naar voren (gemiddeld 7,8% van de totale N), maar met een enorme spreiding in de gemeten waardes. Uit de studie van Chadwick (2005) komen lagere emissies uit de opslag naar voren (tot circa 50% minder). Bovendien zou het verdichten en afdekken van mesthopen, de NH_3 -emissie tot 90% kunnen verminderen en ook lachgas-emissie tegengaan (afhankelijk van de omstandigheden). Reden hiervoor is o.a. de verminderde luchtuitwisseling tussen opslag en buitenlucht en een lagere temperatuur (verminderde compostering) als gevolg van minder indringing van zuurstof (Webb et al., 2012). Ook de Boer et al. (2015) wijst de hoge temperatuur ($>60^\circ\text{C}$) in bodem van de gemeten vrijloopstal aan als waarschijnlijke verklaring voor het hoge N-verlies (27% van de totale N). Echter, de N kan ook in de vorm van lachgas-emissies verloren zijn gegaan en ook de stijgende pH bij aerobe compostering kan bijdragen aan hoge NH_3 -verliezen (Webb et al., 2012).

Snel drogen van de strooiselmest is, in theorie, ook een mogelijkheid. Echter, gezien de relatief grote hoeveelheden stromest zal dit gepaard gaan met hoge energiekosten en bijkomende emissie van broeikasgassen.

Verlagen ruw eiwit rantsoen:

Herkauwers en zeugen scheiden stikstof uit eiwit-overschotten grotendeels uit in de vorm van ureum in de urine, wat na omzetting als ammoniak kan emitteren. Vele studies geven aan dat bij runderen het ruw eiwitgehalte verlaagd kan worden mits het rantsoen voldoende darm verteerbaar eiwit (DVE) bevat, geen negatieve onbestendig eiwit balans (OEB) heeft en de energie/DVE-verhouding van het rantsoen klopt. Goselink en Šebek (2011) gaven aan dat de TAN-productie van melkgevende koeien 8 tot 16% kan dalen door het verlagen het ruw eiwitgehalte in het voer en het optimaliseren van het VEM- en DVE-aanbod. Uit recent onderzoek van ILVO (2018) met vleesvee werd geconcludeerd dat een

verlaging van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen van 2 à 3 % een daling van NH₃-emissie gaf van ca. 50%.

Voor varkens geldt dat het rantsoen voldoende essentiële aminozuren moet bevatten. Uit onderzoek van Aarnink et al. (2012) blijkt dat een 10 g/kg verlaging van het ruw eiwitgehalte van voer voor gaste en dragende zeugen (t.o.v. 135 g/kg), een NH₃-emissiereductie van 10% oplevert, terwijl een 20 g/kg verlaging een verlaging van 20% oplevert. Verlaging van het eiwitgehalte in het rantsoen is mogelijk, hoewel vaak kostprijsverhogend (m.n. in de biologische landbouw), en niet algemeen van toepassing voor de zeugenhouderij aangezien rantsoenen vaak al zijn geoptimaliseerd.

Tabel 2. Potentiële aanpassingen/ maatregelen en effecten op NH₃-emissie vanuit de stal per diercategorie binnen het strooiselstalsysteem, ten opzichte van een huidige situatie. Waardering met '0' (geen gunstig effect verwacht), '+' (klein gunstig effect verwacht) of '++' (groot gunstig effect verwacht). Meerdere niveaus van waardering geven aan dat het effect van de maatregel onzeker en/of sterk afhankelijk van de uitvoering is.

Stalaanpassing/ maatregel	Melkvee	Geiten	Zoog- koelen	Vlees- stieren	Zeugen
Aanpassingen niet-strooiselgedeelte					
<i>Aangepaste vloeren (Rav) en/ of afdichten emitterend oppervlak onder vloer / van put</i>	++	n.v.t.	++	++	++
<i>Oppervlak verkleinen (bijv. voerstoept)</i>	0/+	n.v.t.	0/+	0/+	0/+
<i>Frequenter (uit)schuiven niet-ingestrooide vloerdelen</i>	+	n.v.t.	+	+	+
<i>Instrooien niet ingestrooide deel</i>	0	0	0	0	0
Aanpassingen strooiselgedeelte					
<i>Oppervlak per dier zo klein mogelijk houden bij gelijkblijvend stroverbruik</i>	+	+	+	+	+
<i>Verminderen van minerale-N bron in stro-pakket d.m.v. drainage</i>	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
<i>Verminderen van minerale-N bron in stro-pakket d.m.v. frequenter leeghalen</i>	0	0	0	0	0
<i>Stromest koelen (tegengaan broei)</i>	+	+	+	+	+
<i>Toevoegmiddelen (remmen omzettingsprocessen)</i>	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Strooisel					
<i>Soort</i>	0	0	0	0	0
<i>Gehakseld</i>	0	0	0	0	0
<i>Frequentie instrooien verhogen</i>	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
<i>Hoeveelheid verhogen</i>	0/++	0/++	0/++	0/++	0/++
(Meer) weidegang					
<i>Zonder volledig schoonmaken strooiselgedeelte</i>	+	+	+	+	+
<i>Met (vrijwel) volledig schoonmaken strooiselgedeelte</i>	++	n.v.t.	+/++	+/++	n.v.t.
<i>Stalklimaatbeheersing (warmtewisselaar, dakisolatie, etc.)</i>	+	+	+	+	+
<i>Aangepaste stalsystemen voor strooiselstallen</i>	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++
Mestopslag (buiten de stal)					
<i>Afdekken</i>	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++
<i>Mest drogen</i>	++	++	++	++	++
<i>Verlagen ruw eiwit rantsoen</i>	+/++	+/++	+/++	+/++	0/+

Tabel 3. Effect van potentiële maatregelen ter beperking van de NH₃-emissie, per diercategorie uitgesplitst, op andere emissies, dierwelzijn en mestkwaliteit ten opzichte van een huidige situatie. Waardering met '-' (minder gunstig), '0' (vergelijkbaar) of '+' (gunstiger). De kleuren geven de zekerheid van de score aan (rood = onzeker, oranje = aanwijzingen maar onderbouwing onvoldoende, groen = vrijwel zeker op basis van expert-judgement of literatuur).

Stalaanpassing/ maatregel	Fijnstof	Methaan	Lachgas	Dierwelzijn	Mestkwaliteit
Aanpassingen niet-strooiseldeel					
Aangepaste vloeren (Rav) en/ of afdichten emitterend oppervlak onder vloer /van put	0	0	0	0/+	0
Oppervlak verkleinen (bijv. voerstoep)	0	0	0	0	0
Frequenter (uit)schuiven niet-strooisel deel	0	0/+	0	-/+ (*)	0
Instrooien niet-strooisel deel	-/0	0	0	0/+	0/+
Aanpassingen strooiseldeel					
Oppervlak per dier zo klein mogelijk houden bij gelijkblijvend stroverbruik	0/+	0	0	-	0
Vermindering minerale-N in stro pakket d.m.v. drainage	0	0	+	0	0/+
Vermindering minerale-N in stro pakket d.m.v. frequent leeghalen	0	+	+	0	0
Stromest pakket koelen (tegengaan broei)	0	+	+	0/+	0/+
Toevoegmiddelen (remmen omzettingsprocessen)	0/+	0	0/+	0	-/0
Strooisel					
Soort	0/+	0	0	-/0/+	0
Gehakseld	-/0	0	0	0	0/+
Frequentie instrooien verhogen	-/0	0	0	0/+	0
Hoeveelheid verhogen	-/0	-/0/+	-/0/+	0/+	-/0/+
(Meer) weidegang					
Zonder volledig schoonmaken strooiselgedeelte	+	-/0	-/0	+	0
Met (vrijwel) volledig schoonmaken strooiselgedeelte	+	0/+	0/+	+	0
Stalklimaatbeheersing (warmtewisselaar, dakisolatie, etc.)	0/+	0	0	0/+	0
Aangepaste stalsystemen voor strooiselstallen	0/+	0/+	0/+	-/0/+	-/0
Mestopslag					
Afdekken	0	-/0	0/+	n.v.t.	0/+
Mest drogen	0	0/+	0/+	n.v.t.	+
Verlagen eiwit gehalte rantsoen	0	-/0/+	0/+	0/+	0

* Negatief effect voor gladdere vloeren, positief voor drogere vloeren

Tabel 4. Score van de potentiële maatregelen ter beperking van de NH₃-emissie op praktische toepasbaarheid, relatieve kosten per eenheid NH₃-emissie verlaging en borgingsmogelijkheden.

Stalaanpassing/ maatregel	Praktische toepasbaarheid	Relatieve geschatte kosten per eenheid NH ₃ emissie verlaging ¹⁾	Borgbaarheid
Aanpassingen niet-strooiselgedeelte			
Aangepaste vloeren (Rav) en/ of afdichten emitterend oppervlak onder vloer / van put	Goed	Hoog	Goed
Oppervlak verkleinen (bijv. voerstoep)	Goed	Midden	Goed
Frequenter (uit)schuiven niet-ingestrooide vloerdelen	Matig/Goed	Laag/ Midden	Goed (met logger op schuif)
Instrooien niet ingestrooide deel	Goed	Hoog	Redelijk
Aanpassingen strooiselgedeelte			
Oppervlak per dier zo klein mogelijk houden bij gelijkblijvend stroverbruik	Matig	Laag	Goed
Verminderen van minerale-N bron in stro-pakket d.m.v. drainage	Goed	Midden	Goed
Verminderen van minerale-N bron in stro-pakket d.m.v. frequenter leeghalen	Goed	Laag/ Midden	Nauwelijks ²⁾
Stromest koelen (tegengaan broei)	Matig	Hoog	Goed
Toevoegmiddelen (remmen omzettingsprocessen)	Slecht	Midden	Nauwelijks
Strooisel			
Soort	Goed	Hoog	Niet
Gehakseld	Goed	Hoog	Niet
Frequentie instrooien verhogen	Goed	Hoog	Moeilijk (logger?)
Hoeveelheid verhogen	Goed	Midden	Moeilijk, administratief
(Meer) weidegang			
Zonder volledig schoonmaken strooiselgedeelte	Goed	Laag	Redelijk
Met (vrijwel) volledig schoonmaken strooiselgedeelte	Slecht/goed	Laag	Redelijk
Stalklimaatbeheersing (warmtewisselaar, dakisolatie, etc.)	Goed	Midden	Goed
Aangepaste stalsystemen voor strooiselstallen	Slecht /matig	?	Goed (afh. van technologie)
Mestopslag (buiten de stal)			
Afdekken	Goed	Laag	Redelijk
Mest drogen	Matig/ goed	Hoog	Redelijk
Verlagen ruw eiwit rantsoen	Matig/ goed	Laag/ midden	Moeilijk tot redelijk ³⁾

1) Hierdoor kan een maatregel die relatief goedkoop is (hakselen van het stro) als relatief duur wordt gescoord, aangezien de NH₃-emissie waarschijnlijk nauwelijks wordt verminderd.

2) Controlemogelijkheden beperkt vanwege (zeer) kleine trefkans

3) In principe mogelijk op basis van gegevens uit stalbalans, kringloopwijzer ed., maar verdere ontwikkeling noodzakelijk en niet gemakkelijk.

5.2 Perspectieven potentiële maatregelen ter beperking van de NH₃-emissie

Op basis van voorgaande is een algemene inschatting gemaakt van de belangrijkste emissie reducerende maatregelen. Voor alle diercategorieën geldt dat er alternatieve stalsystemen mogelijk of reeds in ontwikkeling zijn waarmee een grote emissiereductie mogelijk lijkt. Echter, dit zijn geen eenvoudige opties omdat ze niet direct beschikbaar zijn en/of een lagere score op dierwelzijn en/of mestkwaliteit hebben. Indien niet de stalemissie maar de totale bedrijfsemissie in ogenschouw wordt genomen, geldt voor alle diercategorieën ook dat maatregelen bij de opslag van de stromest buiten de stal (afdekken) hoog scoren als maatregel. Daarnaast zijn modelmatig geschatte mestaanwendings-emissies voor alle diercategorieën groter dan stalemissies, wat betekent dat op bedrijfsniveau ook mestaanwending als emissiebron gereduceerd kan worden.

Voor een forse vermindering van de stalemissie (inclusief binnenopslag van de mest) lijkt het voor de hand liggend om maatregelen te richten op het 'met mest besmeurde' vloeroppervlak (loop-vreet gedeelte, zonder stro) en het management van het gestrooide stalgedeelte (liggedeelte, met stro):

- Het liggedeelte dient dan minimaal te zijn qua hoeveelheid opgeslagen urine en strooisel-oppervlak (binnen grenzen van dierwelzijn en maatschappelijke perceptie/acceptatie). De invloed van stro-managementmaatregelen is vooralsnog onzeker en variabel. Waarschijnlijk is voldoende en mogelijk ook frequent instrooien van belang om het vormen van natte, semi-anaerobe gedeeltes te beperken (mogelijk ook te beperken door een drainerende vloer onder het stropakket) en het emissie-remmend pakket van droog, schoon stro bovenop het vochtige stro op peil te houden.
- Het loop-vreetgedeelte (zonder stro) dient te worden voorzien van de best toepasbare emissiearme vloer inclusief frequente mestverwijdering.

Daarnaast is dakisolatie, en mogelijk aanvullende klimatisering, aan te bevelen (ter beperking van hoge temperaturen en noodzakelijke ventilatie), evenals vermindering van de N-last in de stal via weidegang (bij voorkeur in combinatie met volledige verwijdering van de stromest) en verlaging van het eiwitgehalte in het rantsoen.

De relevantie en toepasbaarheid van elk van deze maatregelen is afhankelijk van de uitgangssituatie en verschilt per diersoort. Zo is weidegang met volledig schoonmaken van het strooiseldeel nauwelijks toepasbaar voor geitenbedrijven, terwijl dakisolatie nauwelijks relevant is voor zoogkoeien die alleen gedurende de wintermaanden op stal verblijven.

Of deze maatregelen voldoende perspectief bieden voor een sterke beperking van de ammoniak-emissie van strooiselstallen is niet te zeggen. Enerzijds omdat de Rav-waarden van de huidige systemen soms laag lijken (bijvoorbeeld bij geiten), anderzijds omdat de grootte van de effecten van veel maatregelen nog onzeker is.

Daarbij dient te worden opgemerkt dat de effecten van deze maatregelen niet simpelweg optelbaar zijn en soms kunnen leiden tot negatieve afwenteling verder op in het bedrijfssysteem. Zo heeft een beperking van het eiwitgehalte in het rantsoen zowel een reducerend effect op de stalemissies als op de emissies uit de mestopslag en bij aanwending (door de lagere TAN-hoeveelheden in de mest). Anderzijds geeft een beperking van de stalemissie door een lagere temperatuur of ventilatie juist risico op hogere emissies tijdens opslag en aanwending (door hogere ammonium concentraties in de mest).

6 Conclusies en aanbevelingen

Ondanks de vele onzekerheden en beperkte meetgegevens zijn de volgende conclusies mogelijk:

- Een groot deel van de strooiselstallen is feitelijk een gemengd stalsysteem met een aanzienlijk deel (30% tot >50%) roostervloer en/of dichte vloer met geen/weinig strooisel, met uitzondering van geitenstallen en waarschijnlijk zoogkoeienstallen.
- Strooiselstallen scoren in het algemeen positief op dierwelzijn.
- Strooiselstallen faciliteren, via de productie van vaste mest, koolstof-vastlegging in de bodem (klimaatmitigatie), verhoging van het watervasthoudend vermogen en drainage (klimaatadaptatie en stabielere productieomstandigheden) en een rijker bodemleven.
- Alternatieve stalsystemen voor strooiselstalsystemen met goede scores voor dierwelzijn en mestkwaliteit zijn mogelijk maar nog experimenteel. Met name stalsystemen op basis van het zo goed en snel mogelijk scheiden van urine en mest (en het emissiearm opslaan van m.n. de urine) lijken perspectiefrijk voor het bereiken van forse ammoniak-emissiereducties.
- De weinige beschikbare metingen van strooiselstallen zijn moeilijk te interpreteren omdat het vaak metingen zijn aan individuele stallen, zonder dat er tegelijk aan een vergelijkbaar referentie stalsysteem is gemeten (geen 'case-control' metingen).
- Toch kan geconcludeerd worden dat de ammoniak-emissie van huidige strooiselstalsystemen sterk variabel maar grofweg niet lager is dan de emissie van overige stalsystemen, waarschijnlijk met uitzondering van zeugen. En dat de emissies vanuit het niet-strooiseldeel vaak (zeer) belangrijk zijn voor de totale stal-emissie van ammoniak.
- Daarnaast is het strooiselgedeelte een extra bron voor de emissie van broeikasgassen. Met name methaanemissies uit diepere potten met rundvee waarin anaerobe omstandigheden optreden, kunnen sterk verhoogd zijn.
- De weinige metingen aan geur en fijnstof laten geen duidelijk verlaagde of verhoogde emissie zien bij strooiselstallen.
- Belangrijkste potentiële maatregelen zijn aangepaste vloeren in het niet-strooiseldeel (nauwelijks van toepassing voor geiten) en verlaging van het eiwitgehalte in het rantsoen (minder toepasbaar bij zeugen).
- Het effect van gemakkelijk toepasbare maatregelen (zoals de hoeveelheid strooisel vergroten) is onzeker. De hypothese is dat de emissie uit het strooiselgedeelte van stallen, mits goed gemanaged, laag kan zijn indien het vormen van natte, vaak semi-anaerobe, gedeeltes wordt beperkt en het emissie-remmend pakket van droog, schoon stro bovenop het vochtige stro op peil blijft. De vermindering van semi-anaerobe (natte) gedeeltes in de stromest zal de methaan- en mogelijk lachgas-emissies ook verminderen.

- Het belang en perspectief van rantsoenaanpassingen is tot nu toe onderbelicht gebleven, ook in het emissie-onderzoek (bijv. de stikstof-last van de stal, waarop de metingen van toepassing waren, is vaak niet in kaart gebracht).
- Daarnaast is voor rundvee maximaliseren van weidegang een potentierijke maatregel met een veel groter effect dan de nu gehanteerde 5% reductie, al zal de werkelijke emissiebeperking ook afhangen van de emissie uit de nog aanwezige (stro)mest in de stal.
- Dakisolatie, en mogelijk aanvullende klimatisering, is een potentierijke maatregel indien de stal ook zomers gebruikt wordt, ter beperking van hoge temperaturen en/of noodzakelijke ventilatie. Stalklimatisering is een vrij recente techniek met in theorie goede mogelijkheden (op meerdere gebieden), maar er is nog veel onzekerheid en beperkte praktijkervaring.
- Indien niet de stal-emissie maar de totale bedrijfsemissie in ogenschouw wordt genomen, geldt voor alle diercategorieën dat maatregelen bij de opslag van de stromest buiten de stal (afdekken) als ook het emissie arm aanwenden van strooiselmest hoog scoren als maatregel.
- Voor alle N-emissiebeperkende maatregelen (m.u.v. voereiwit verlaging) geldt dat er meer stikstof in de kringloop blijft, waardoor er een risico is op (deels) compenserende, hogere, N-verliezen elders in de kringloop (uitrijden en/of bodem), tenzij het management daarvan verder wordt geoptimaliseerd.

Aanbevelingen:

- Aangezien een groot deel van de strooiselstallen (m.u.v. geitenstallen en waarschijnlijk zoogkoeienstallen) een aanzienlijk deel (tot >50%) roostervloer en/of dichte vloer zonder strooisel hebben, welke vaak verantwoordelijk is voor een groot deel van de ammoniak-emissie, is het aan te bevelen om daar emissie reducerende maatregelen te nemen.
- Metingen om de effecten van de maatregelen voor het strooiseldeel nauwkeuriger in kaart te brengen zijn zeer gewenst. Dit betreft vooral metingen in relatie tot de dikte van het droog pakket, vochtigheidsgradiënt van strooisel, bevuilingspercentage van oppervlak, eventueel koeling (beperking verdamping/vervluchting) en het schoonmaken van het strooiseldeel tijdens weidegang. Vanwege de grote variatie (ook in de tijd) zijn langere meetreeksen, met voldoende herhalingen aan te bevelen.
- Indien metingen aan stalsystemen worden uitgevoerd is het sterk aan te bevelen om met 'case-control' metingen te werken (=een vergelijking tussen het te onderzoeken stalsysteem en een referentie-stal), zo goed mogelijk de stikstof last van de stallen te bepalen (naast alle gebruikelijkere factoren), en bij gemengde stalsystemen indicatieve interne metingen te doen om de relatieve bijdrage vanuit de verschillende staldelen te kunnen inschatten (bijvoorbeeld met een zogenaamde Lindvall-doos).

- Voor de langere termijn zou meer inzet moeten worden gepleegd op een modelmatig benadering van de stal-emissie, ter beperking van de invloed van variabele omstandigheden tijdens kortdurende metingen aan stalsystemen.
- Gezien het belang van de emissie tijdens de zomer (grotendeels 2/3^e van de totaal potentiële emissie) zou voor rundvee (ook bij andere stalsystemen) de volgende keuze logisch zijn: óf klimatiseren (en overige stalmaatregelen) óf maximale weidegang met een (vrijwel) volledig schoongemaakte stal c.q. met management van het strooiselgedeelte geoptimaliseerd gericht op het voorkomen van emissies.
- Indien de provincie de gestelde emissiereducties wil realiseren, dan moet er hoogstwaarschijnlijk fors geïnvesteerd worden in stalaanpassingen aangezien relatief goedkope maatregelen onvoldoende handelingsperspectief bieden voor NH₃-emissie beperking. Gegeven de onzekerheden omtrent effectieve maatregelen lijkt dit voor strooiselstallen op korte termijn onhaalbaar.

7 Referenties

- Aarnink, A.J.A. en H. Ellen, 2006. Processen en factoren bij fijnstofemissie in de veehouderij. ASG-rapport 11, Wageningen-UR.
- Aarnink, A.J.A., J.M.G. Hol en S. Bokma, 2017. Ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde hellingstallen voor vleesvee. Wageningen Universiteit en Research, Livestock Research rapport 1078, Wageningen.
- Aarnink, A.J.A., J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer en J. Mosquera, 2015. Ammoniakemissie uit varkensstallen met uitloop. Wageningen UR Livestock Research, rapport no. 868.
- Aarnink, A.J.A., J. Mosquera, M. Cambra López, H.I.J. Roest, J.M.G. Hol, M.C. Van der Hulst, Y. Zhao, J. W. H. Huis in 't Veld, F. A. Gerrits & N. W. M. Ogink, 2012. Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen. Wageningen UR Livestock Research. Lelystad.
- Aarnink, A.J.A., P. Bikker en J.T.M. Van Diepen, 2012. Voermaatregelen voor ammoniakreductie in stallen voor zeugen en biggen. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad
- Agrimatie, 2014.
<https://www.agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2267&indicatorID=2012>. Bezocht op 17 juli 2018.
- Agrimatie, 2016.
<https://www.agrimatie.nl/Binternet.aspx?ID=33&Bedrijfstype=2&SelectedJaren=2017%402016%402015%402014&GroteKlassen=Alle+bedrijven>. Bezocht op 30 oktober 2018.
- Altena, H. en H.M. Vermeer, 2004. Strohuisvesting van drachtige zeugen in grote groepen: knelpunten en oplossingen. Praktijkrapport varkens 28, Animal Sciences Group, Wageningen.
- Andrae, U. en D. Smidt, 1982. Behavioural alteration in young cattle on slatted floors. Hohenheimer Arbeiten 121, 51–60.
- Beattie, V.E., N. Walker en I.A. Sneddon, 1995. Effects of environmental enrichment on behaviour and productivity of growing pigs. *Animal Welfare* 4, 207–220.
- Beurkens, A.G.C., P. de Gijsel en J.M.G. Hol, 2004. Geuremissie van een stal voor melkgeiten. Agrotechnology & Food Sciences Group rapport 95, Wageningen.
- Bikker, P., J. van Harn, C.M. Groenestein, J. de Wit, C. van Bruggen en H.H. Luesink, 2013. Stikstof- en fosforexcretie van varkens, pluimvee en rundvee in biologische en gangbare houderijsystemen. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOT-werkdocument 347.
- Bokhorst, J.G., C. ter Berg, M. Zanen en C.J. Koopmans, 2008. Mest, compost en bodemvruchtbaarheid: 8 jaar proefveld Mest als Kans. Rapport LD10. Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- CBS Statline, 2018. <http://statline.cbs.nl/Statweb/>. Bezocht op 17 juli 2018.
- CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek), 2016. Dierlijke mest en mineralen 2015. ISBN: 978-90-357-2006-0.
- Chadwick, D.R., 2005. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment* 39, 787–799.
- de Boer, H.C., 2015. NPK balans, N-verlies en beddingsamenstelling van vrijloopstal Hoogland in 2014 (No. 886). Wageningen UR Livestock Research.
- de Boer, H.C., en P.J. Galama, 2015. Laag stikstofverlies kan: vrijloopstallen met composterende houtsnipperbedding. *V-focus*, 12(4), 28-30.
- Deru, J.G.C., N. van Eekeren en F. Lenssinck, 2016. Mest voor weidevogelgebieden in veenweiden. *V-focus* april 2016.

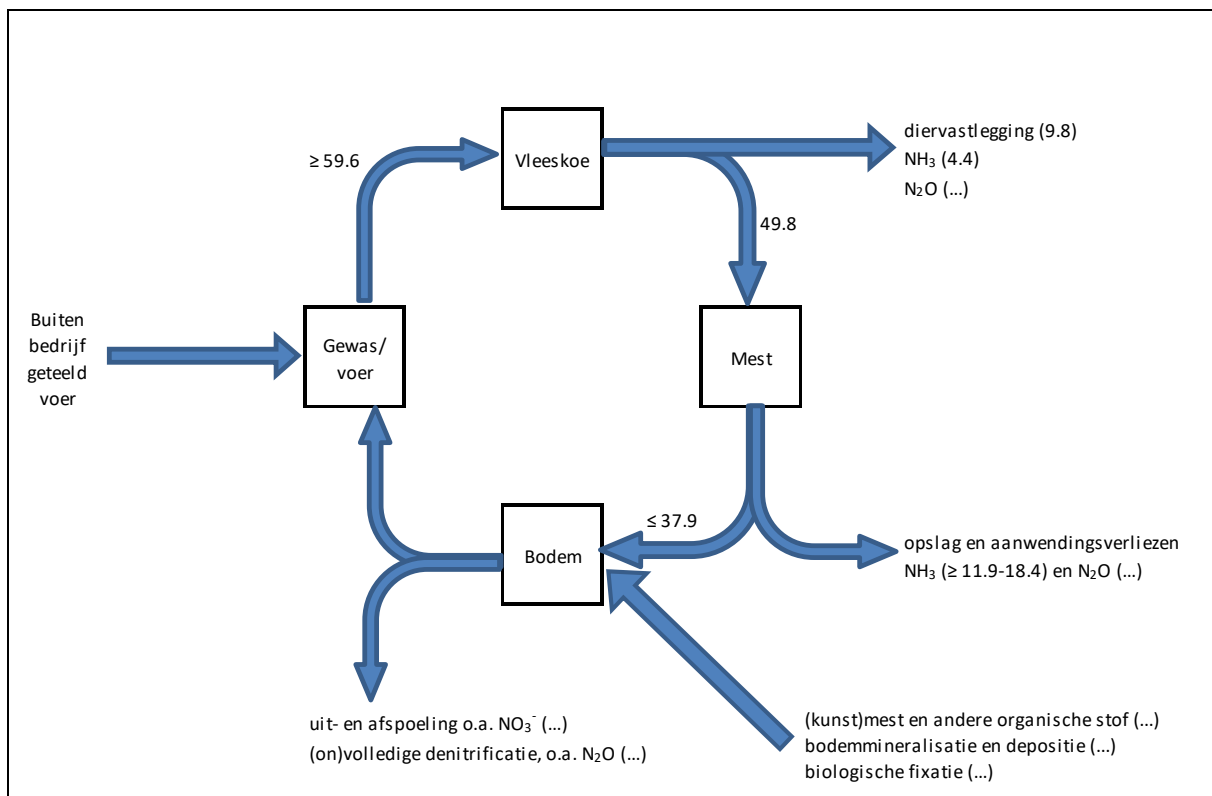
- Eekeren, N.J.M. van, H. de Boer, J. Bloem, T. Schouten, M. Rutgers, R.G.M. de Goede en L. Brussaard. 2009. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biol Fertil Soils*. 45:595-608.
- Firestone, M. K., R.B. Firestone, en J.M. Tiedje, 1980. Nitrous-Oxide from Soil Denitrification - Factors Controlling Its Biological Production. *Science* 208, 749-751.
- Galema, P., H. de Boer, H.J. van Dooren, W. Ouweltjes en J. Poelarends. 2014. Vrijloopstallen voor melkvee in de praktijk. Wageningen UR Livestock Research. Wageningen, Nederland.
- Galama, P.J., H.C. de Boer, H.J.C.van Dooren, W. Ouweltjes, en K. Driehuis, 2015. Sustainability aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands. Wageningen UR Livestock Research No. 873.
- Goselink, R. en L. Šebek, 2011. Ammoniakemissie melkveehouderij moet verder omlaag. V-focus december 2011.
- Graf, B., 1979. Spaltenbodenhaltung bei mastochsen. *Landbauforschung Volkenrode Sonderheft* 48, 73-88.
- Graf, B.P., 1984. Der Einfluss unterschiedlicher Laufstallsysteme auf Verhaltensmerkmale von Matschen. Eidgenossichen Technischen Hochschule, Zurich.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1993. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X. Potstal voor melkvee. IMAG-DLO Rapport 93-1005, IMAG-DLO, Wageningen, 15 p.
- Groenestein, C.M. en H.G. van Faassen, 1996. Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *Journal of Agricultural Engineering* 65, p. 269-274.
- Groenestein, C.M., 2006. Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw bedding. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Groenestein, C.M., J.F.M. Huijsmans en R.L.M. Schils, 2010. Emissies van broeikasgassen, ammoniak, fijn stof en geur in de mestketen. Wageningen Universiteit (Livestock Research, PRI en Alterra), rapport 248, 28 pp.
- Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1994. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XV: potstal voor zoogkoeien. DLO-Rapport 94-1006.
- Groenestein, C.M., J. de Wit en C. van Bruggen, 2015. Stikstof- en fosfaatexcretie van gangbaar en biologisch gehouden landbouwhuisdieren.: Herziening excretieforfaits Meststoffenwet 2015. Rapport WOt-technical report 45. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu,, Wageningen.
- Hirt, H. en B. Wechsler, 1994. Behavioural diversity as a measure of welfare: a study in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 40, 82-83.
- Houwers, H.W.J., K.H. de Greef en A.J.A. Aarnink, 2014. Ammoniakemissie-arme wroetstal voor vleesvarkens. Wageningen UR Livestock Research report No. 751.
- Hoving, I. E., G. Holshof, G. Migchels, M.A. van der Gaag en M. Plomp, 2014. Reductie ammoniakemissie bij maximalisatie weidegang op biologische melkveebedrijven. Wageningen UR Livestock Research report No. 792.
- Hubrecht, L., W. Willems en S. van Gansbeke. Rationeel strogebruik en -verdeling (thema 2). <https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/attachments/2-Rationeel%20stroverbruik.pdf>. Bezocht op 31 juli 2018.
- Huijsmans, J.F.M. en R.L.M. Schils, 2009. Ammonia and nitrous oxide emissions following field-application of manure: state of the art measurements in the Netherlands. Proceedings 655 of the International Fertiliser Society conference in Cambridge, York, UK. ISBN 978-0-85310-292-2.

- Huis in 't Veld, J.W.H., E. Evers en G. Mol, 2002. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVII: natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. Institute of Agricultural and environmental engineering, IMAG rapport 2002-18, Wageningen.
- ILVO, 2018. Dossier PAS-onderzoek ILVO. Kan aangepast stalmanagement ammoniakemissie verminderen? Management & Techniek 3, Boerenbond, 12 februari 2018.
- Ivanova-Peneva, S. G., A.J.A. Aarnink, en M.W.A. Verstegen, 2006. Ammonia and mineral losses on Dutch organic farms with pregnant sows. Biosystems engineering, 93(2), 221-235.
- Jun P., M. Gibbs en K. Gaffney, 1999. Methane and nitrous oxide emissions from livestock manure. Background report for expert group meeting on good practice in inventory preparation for agricultural sources of methane and nitrous oxide. 24-26 February, 1999, Wageningen, The Netherlands.
- Koerkamp, P. G., J.H.M. Metz, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M.R. Holden, R.W. Sneath, ... & M. Schröder, 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. Journal of Agricultural Engineering Research, 70(1), 79-95.
- Koopmans, C.J., J. Bloem, 2018. Soil quality effects of compost and manure in arable cropping: Results from using soil improvers for 17 years in the MAC trial. Rapport 2018-001 LbP. Louis Bolk Instituut, Bunnik. 40 p.
- KWIN-V, 2016-2017. Handboek Kwantitatieve Informatie Veehouderij. Wageningen UR Livestock Research. Wageningen, Nederland.
- Ladewig, J., 1987. Physiological results of welfare research in fattening bulls. In: Schlichting, M.C., Smidt, D. (Eds.), Welfare Aspects of Housing Systems for Veal Calves and Fattening Bulls, CEC Report. Luxembourg, pp. 123-129.
- Loyon, L., C.H. Burton, T. Misselbrook, J. Webb, F.X. Philippe, M. Aguilar, M. Doreau, M. Hassouna, t. Veldkamp, J.Y. Dourmad, A. Bonmati, E. Grimm, S.G. Sommer, 2016. Best available technology for European livestock farms: Availability, effectiveness and uptake. Journal of environmental management, 166, pp. 1-11.
- Misselbrook, T.H. en J.M. Powell, 2005. Influence of bedding material on ammonia emissions from cattle excreta. J. Dairy Sci. 88, pp. 4304-4312.
- Misselbrook, T.H., D.R. Chadwick, B.J. Chambers, K.A. Smith en J. Williams, 2008. Inventory of ammonia emissions from UK Agriculture 2007. DEFRA Publications, Londen.
- Mosquera, J., B. Philipsen, C. van Bruggen, C.M. Groenestein en N.W.M. Ogink, 2016. PASsend beweiden. Wageningen UR Livestock Research, rapport 98, Wageningen.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol en J.W.H. Huis in 't Veld, 2005a. Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee I - Stal. Rapport 324. Agrotechnology & Food Innovations BV, Wageningen UR, Wageningen.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder en J.M.G. Hol, 2005b. Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee II - Mestopslag buiten de stal. Agrotechnology & Food Innovations BV, Wageningen UR, Wageningen, 26 pp.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink, 2011. Fijnstofemissies uit stallen: melkvee. Wageningen UR Livestock Research rapport 296 (herziene versie), Wageningen.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 2012. Emissies uit de biologische veehouderij: processen en factoren. Wageningen UR Livestock Research No. 584.
- Ogink, N. W. M., C.M. Groenestein, en J. Mosquera, 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Wageningen UR Livestock Research No. 744.
- Ouweltjes, W., H.J.C. van Dooren, L.F.M. Ruis-Heutinck, G.J. Dijk en A. Meijering, 2003. Huisvesting van melkvee: knelpunten uit oogpunt van welzijn. Praktijkonderzoek Veehouderij PraktijkRapport Rundvee 21, Lelystad.
- Pain, B. en S. Jarvis, 1999. Ammonia emissions from agriculture. Iger Innovations 1999.

- Ruis-Heutinck, L.F.M., M.C.J. Smits, A.C. Smits, P.P.H. Kant, J.J. Heeres-van der Tol, 1999. Vloertype en oppervlakte bij vleesstieren. Effect op gedrag, gezondheid, milieu en technische presentaties, PR Publicatie 140, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Schuiling, E., 2000. Handboek Melkgeitenhouderij. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Smolders, G., 2012. Compost en ander strooisel in ligboxen voor melkvee. Wageningen UR Livestock Research rapport 464, Wageningen.
- Scholtens, R., J.W.H. Huis in 't Veld, 1998. Natuurlijk geventileerde vleesstierenstal met betonroosters. IMAG-DLO, Wageningen
- Somers, J.G.C.J., W.G.P. Schouten, K. Frankena, E.N. Noordhuizen-Stassen en J.H.M. Metz, 2005. Development of claw traits and claw lesions in dairy cows kept on different floor systems, *Journal of Dairy Sciences* 88 (1) pp.: 110-120.
- Szántó, G., 2009. NH₃ dynamics in composting. Wageningen University, PhD Thesis, 140 pp.
- Szántó, G.L., H.V.M. Hamelers, W.H. Rulkens en A.H.M. Veeken, 2007. NH₃, N₂O and CH₄ emissions during passively aerated composting of straw-rich pig manure. *Bioresource technology*, 98(14), 2659-2670.
- Szántó, G.L., G.J. Kasper, V. de Wilde en P.J. Galama, 2015. Technische evaluatie van potentiële bodemmaterialen voor vrijloopstallen: technisch rapport. Wageningen UR Livestock Research report No. 890.
- Tuytens, F.A.M., 2005. The importance of straw for pig and cattle welfare: A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 92, 261-282.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof en J. Vonk, 2018. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOT-technical report 119.
- Van der Peet-Schwering, C.M.C., A.I.J. Hoofs, H.M. Vermeer en G.P. Binnendijk, 2010. Groepshuisvesting voor drachtige zeugen: kenmerken van de verschillende systemen. Wageningen UR Livestock Research rapport 352, Wageningen.
- Van Gansbeke, S., L. Hubrecht en W. Willems, 2006. Huisvesting van vleesvee. Vlaamse overheid, departement Landbouw en Visserij, Afdeling Duurzame Landbouwwontwikkeling, Brussel.
- Webb, J., S. G. Sommer, T. Kupper, K. Groenestein, N. J. Hutchings, B. Eurich-Menden, L. Rodhe, T. H. Misselbrook en B. Amon, 2012. Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and Methane During the Management of Solid Manures. In: E. Lichtfouse (ed.), *Agroecology and Strategies for Climate Change, Sustainable Agriculture Reviews* 8, p.67-108, doi:10.1007/978-94-007-1905-7.

Bijlage 1. Voorbeeld stikstofkringloop vleesstier >1 jaar oud

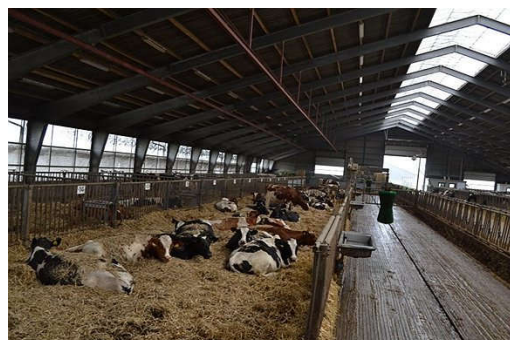
Versimpeld schema van de stikstofkringloop voor een vleesstier in een strooiselstalsysteem. Hier zijn de volgende uitgangspunten genomen: een vleesstier van 1 jaar en ouder produceert 49.8 kg N in de mest per jaar met een TAN-percentagage van 52% van het totale mest N-gehalte (van Bruggen et al. 2018), legt 27 g N/ kg groei vast (CBS, 2016) en groeit dagelijks 1000 gram. Stal ammoniak-emissie is 5.3 kg NH₃, omgerekend 4.4 kg N (Rav categorie A6.100). Aanwendingsverliezen zijn 46-71% van de aangewende TAN (van Bruggen et al. 2018). Alle getallen zijn uitgedrukt in kilogram stikstof per dier per jaar. Niet ingeschatte of onbekende waarden zijn weergegeven met puntjes.



Bijlage 2. Strooiselstallen voor melkvee



A: volledige strooiselstal



B: gedeeltelijke strooiselstal

In het Handboek Melkveehouderij (2014) worden voor strooiselstallen voor melkvee de volgende karakteristieken gegeven.

	Potstal	Hellingstal
Vreetruimte (m ² per koe)	2-3	1-2
Vreetbreedte (m)	0,65	0,65
Breedte loop-eetruimte (m)	Minimaal 3	Minimaal 2 (bij mestgang achter voerhek)
Trap (m)		n.v.t.
Aantrede	0,4 – 0,5	
Optrede	0,3	
breedte	2-3	
Aantal trappen	Minimaal 2	n.v.t.
Ligruimte per koe (m ²)	6	6
Helling (%)	n.v.t.	Gemiddeld 6 (4-8)
Stroverbruik (kg per dag per dier)	Gemiddeld 8 (6-12)	Gemiddeld 3 (2,5 – 4)
Wachtruimte voor de melkstal (m ² per koe)	1,25	1,25

Het stroverbruik in een strooiselstal ligt op gemiddeld 3-8 kg per dier per dag. De hiermee samenhangende kosten (deze zijn voor een hellingstal lager dan voor een potstal) maken dit stalsysteem minder aantrekkelijk. Daarbij komt dat het inbrengen van het stro een aanzienlijke arbeidsbehoefte vraagt. Daar staat tegenover dat de klauwgezondheid van koeien in een potstal over het verbeterd (Somers et al., 2005).

Bijlage 3. Emissies strooiselstallen t.o.v. referentie melkvee

Referentie	Diercategorie/ omschrijving	NH ₃ (kg/dp/j)	Fijnstof PM10 (g/dp/jaar)	Geur (OU _E /s/dp)	CH ₄ (kg/dp/j)	N ₂ O (g/dp/j)
Mosquera et al. 2011	Melkvee in ligboxenstal, met weidegang	12,8	118	165,5	126,9	225,1
Mosquera et al. 2011	Melkvee in ligboxenstal, permanent opstallen	14,4	148	165,5	141,7	225,1
Rav categorie A1.100: overige huisvestingsystemen (toegepast voor rooster- en strooiselstallen)	melk- en kalkoeien ouder dan 2 jaar	13,0	118 (bij beweiden) en 148 (bij opstallen)			
Mosquera et al. 2005	Melkvee in natuurlijk geventileerde potstal	13,9		73	475 (1,3 kg/ koe/ dag)	913 (2,5 g/ koe/ dag)

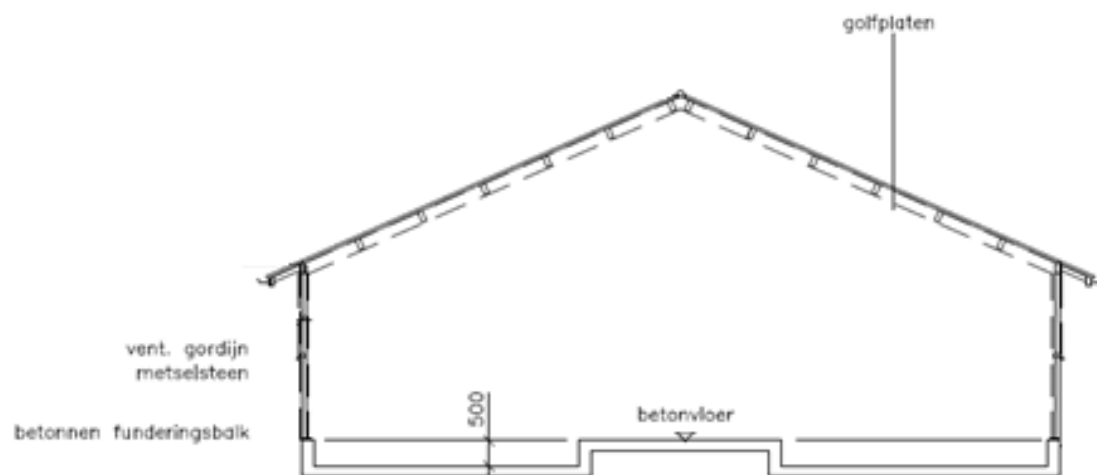
Bijlage 4. Emissies strooiselstallen voor melkgeiten

Referentie	Diercategorie/ omschrijving	NH ₃ (kg/dp/j)	Fijnstof PM10 (g/dp/jaar)	Geur (OU _E /s/dp)
Rav categorie C1 (overige huisvesting)	Geiten > 1 jaar	1,9	19	18,8
Rav categorie C2 (overige huisvesting)	Opfokgeiten 61 dagen – 1 jaar	0,8	10	11,3
Rav categorie C3 (overige huisvesting)	Opfokgeiten en afmestlammeren tot en met 60 dagen	0,2	10	5,7
Huis in 't Veld et al., 2002	Melkgeiten, zomermeting	4,4		14,9
Huis in 't Veld et al., 2002	Melkgeiten, wintermeting	2,8		23,8
Beurskens et al., 2004	590 melkgeiten, 190 lammeren, 15 bokken	2,9		19,5
Aarnink et al., 2012	stal 1: 480 dierplaatsen (80% bezetting, melkgeiten), 3 bokken	1,9		8,0
Aarnink et al., 2012	stal 2: 750 dierplaatsen, melkgeiten en opfok (75% bezetting), 3 bokken	2,6		2,9

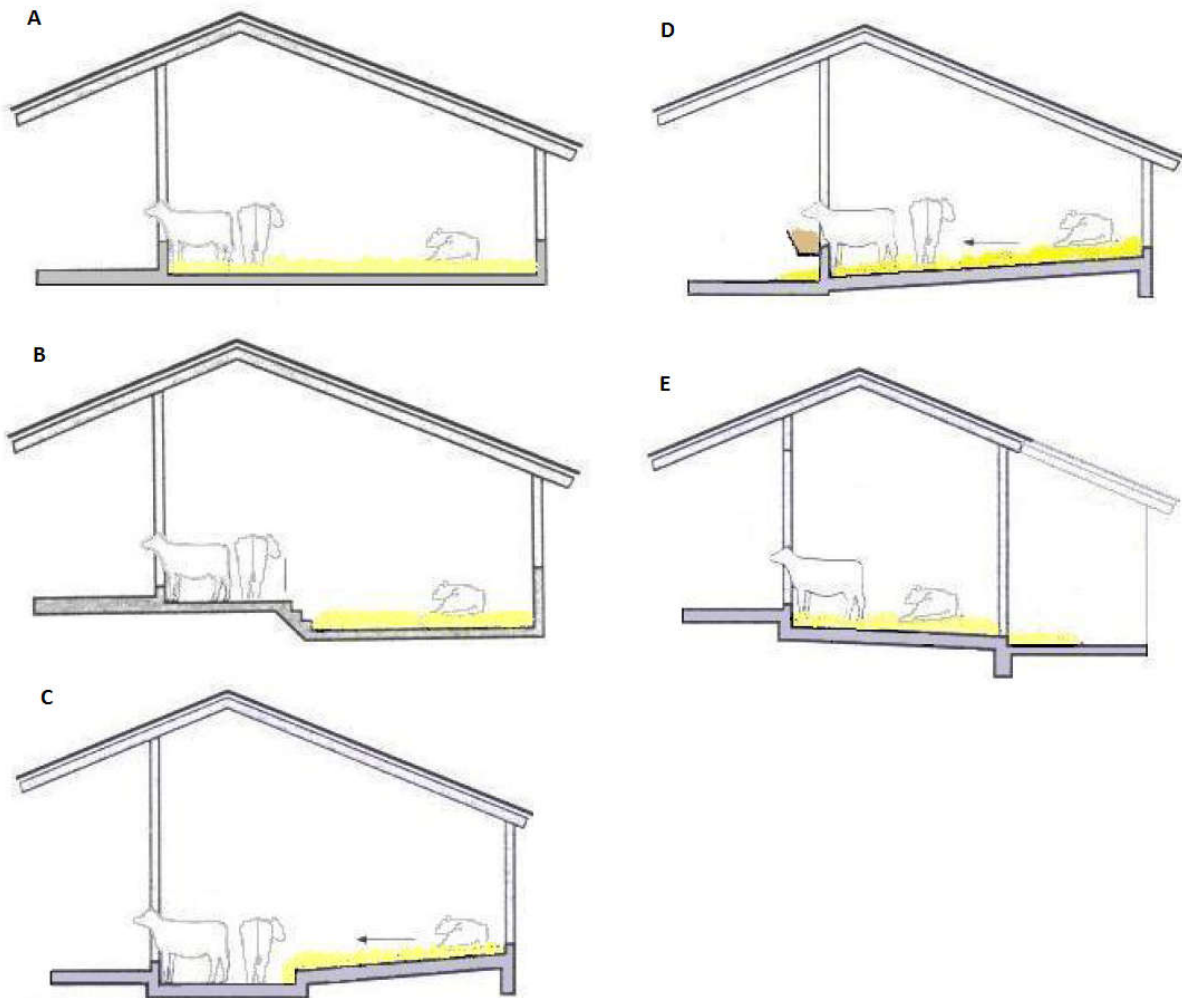
Opmerkingen:

- Er zijn geen cijfers van methaan- en lachgasemissies bekend.
- De onderzoeken van Huis in 't Veld et al. (2002) en Beurskens et al. (2004) hadden betrekking op strooiselstallen voor melkgeiten waarbij de stromest lang (minimaal 5 maanden) tot zeer lang (tot ca. 12 maanden bij een potdiepte van 70 cm) in de stal verbleef. Op de 2 bedrijven uit het onderzoek van Aarnink et al. (2012) werd de stromest frequenter verwijderd uit de pot, namelijk maximaal elke 3 maanden.

Bijlage 5. Schematische dwarsdoorsnede strooiselstal voor melkgeiten



Bijlage 6. Verschillende typen strooiselstallen voor rundvee



Toelichting: A=volledige strooiselstal, B=gedeeltelijk strooiselstal, C=gedeeltelijk hellingstal, D=volledige hellingstal en E=omgekeerde hellingstal (uit: Van Gansbeke et al., 2006).

Bijlage 7. Emissies strooiselstallen voor zoogkoeien

Referentie	Diercategorie/ omschrijving	NH ₃ (kg/dp/j)	Fijnstof PM10 (g/dp/jaar)	CH ₄ (kg/dp/j)
Rav categorie A2.100	Zoogkoeien ouder dan 2 jaar	4,1	86	
Groenestein en Huis in 't Veld (1994)	Zoogkoeien	5.2		291 ⁽²⁾ (797 g/dier/d)

¹ Rav emissies voor overige stalsystemen

² Doorgaans staan zoogkoeien niet het gehele jaar op stal. Dit getal is daarom een theoretische jaarsom.

Opmerking: er zijn geen cijfers van geur- en lachgasemissies bekend

Bijlage 8. Emissies strooiselstallen t.o.v. referentie vleesstieren

Referentie	Diercategorie/ omschrijving	NH ₃ (kg/dp/j)	Fijnstof PM10 (g/dp/jaar)	Geur (OU _E /s/dp)	CH ₄ (kg/dp/j)
Rav categorie A6 (overige huisvestingssystemen)	Vleesstieren en overig vleesvee van circa 8 tot 24 maanden (roodvlees-productie)	5.3	170	35.6	
Ruis-Heutinck et al. (1999)	Potstal voor vleesstieren	+20% t.o.v. roostervloer			+80% t.o.v. roostervloer
Aarnink et al. 2017	Vleesstieren (8 - 24 maanden) hellingstal op 4 verschillende bedrijven	21.4 (12.7-29.6)			111 (71.3 - 207.3)
Monteny, persoonlijke mededeling	Vleesstieren (650 kg), hellingstal	5.1			

Opmerking: er zijn geen cijfers van lachgasemissies bekend.

Bijlage 9. Groepshuisvesting zeugen gedeeltelijke strooiselstal



bron: www.beemsterlandsvarken.nl

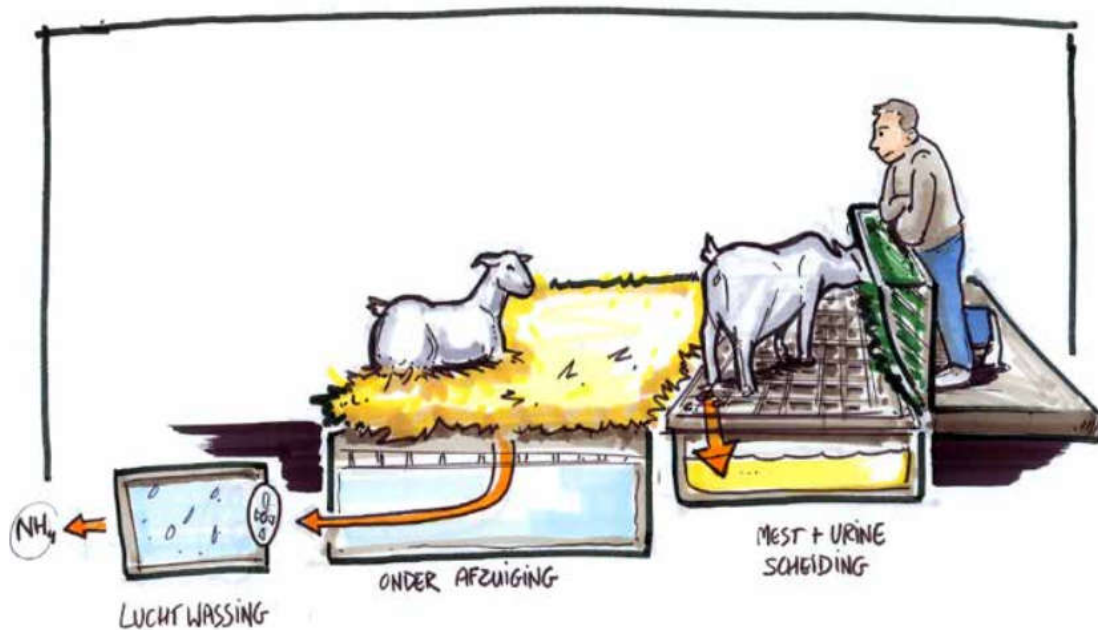
Bijlage 10. Emissies strooiselstallen t.o.v. referentie zeugen

Referentie categorie	Diercategorie/ omschrijving	NH ₃ (kg/dp/j)	Fijnstof PM10 (g/dp/j)	Geur (OU _E /s/dp)	CH ₄ (kg/dp/j)	N ₂ O (g/dp/j)
Rav categorie D1.3.100 (overige huisvestingssystemen, groepshuisvesting)	Guste en dragende zeugen	4.2	175	18.7		
Groenestein (2006)	Zeugenstal, gemeten	2.9 (8.7g/dag met leegstands- factor van 0.9)			0.9-4.9 Hoger dan vlees-varkens op roosters	Binnen ranges vlees- varkens op roosters

Bijlage 11. Beschrijving combideck systeem bij pluimvee

Het principe van dit systeem is gebaseerd op het verwarmen en koelen van de strooisellaag. Hiervoor wordt de warmte van de mest en de kippen zelf gebruikt. In het begin van de ronde is er enerzijds weinig mestproductie en anderzijds een grote warmtebehoefte, op het einde van de ronde is er veel mestproductie en een overschot aan warmteproductie. Onder de betonnen vloer zijn elementen/holle strips (warmtewisselaars) geplaatst waar water door stroomt. Afhankelijk van de warmteproductie wordt hiermee de strooisellaag opgewarmd of afgekoeld. Gedurende een ronde is er eerst mestdroging, daarna stabilisatie van de temperatuur van de strooisellaag, en daarna koeling. In het begin is er dus koud water beschikbaar, dat tijdelijk onder de grond wordt opgeslagen voor gebruik op het einde. In een latere fase komt er warm water vrij dat ook wordt opgeslagen en gebruikt in het begin van de volgende ronde. Er zijn dus twee gesloten waterkringlopen (warmtewisselaars) die verbonden zijn via een warmtepomp: één die naar de stal gaat en één die dienstdoet als opslag. Dit alles wordt automatisch geregeld. De NH_3 -reductie wordt bekomen door de mest onder de temperatuur te houden waarbij de mest gaat broeien. Eén van de belangrijke geclaimde voordelen van dit systeem is de mogelijkheid tot energiebesparing. Een alternatieve vorm maakt gewoon gebruik van vloerverwarming via centrale verwarmingssystemen. De ammoniakemissie bedraagt 0,038 kg NH_3 per dierplaats per jaar voor vleeskuikens t.o.v. 0,068 g per dier per jaar voor traditioneel (Rav cijfers).

Bijlage 12. Vloer per functie en High welfare floor



A 'Vloer per functie' uit Vooruit met de Geit (Juni, 2013)



B. De high welfare floor zou geschikt zijn voor o.a. runderen en geiten (bron: <http://www.highwelfarefloor.com>)

Bijlage 13. Modelberekeningen ammoniakemissie niet-strooisel gedeelte in een gemengde stal

Om een inschatting te maken van het effect van diverse maatregelen voor het niet-stro-
gedeelte van strossallen, zijn met het rekenmodel voor de NH_3 -emissie uit melkveestallen
(Monteny, 2000) berekeningen gemaakt. Daarbij zijn de basis-invoervariabelen gebruikt voor:
aantal dieren (100 stuks), aantal urinelozingen (10 per dier per dag), ureumgehalte van de
urine (5 g N/liter), ammoniumgehalte van de mengmest (3,5 g N/kg), geen beweiding,
gemiddelde staltemperatuur (10 °C), gemiddelde luchtsnelheid over de stalvloer (0,15 m/s),
gemiddelde luchtsnelheid in de mestkelder (0,05 m/s), pH van de urine op de vloer (9,4),
maximale urease-activiteit (100% ten opzichte van betonnen vloeren) en pH van de toplaag
van de mengmest (8,5).

Onderstaand zijn de variabele invoerparameters weergegeven en hun waarden behorende bij
de verschillende doorgerkende situaties. Daarbij zijn de urinelozingen gelijk verdeeld over het
strogedeelte van de stal (liggedeelte) en de loopvloer aan het voerhek (loop-/vreetgedeelte).
Dit loop-/vreetgedeelte heeft een (arbitrair gekozen) 'met mest besmeurd oppervlak' van 3 m²
per dierplaats. Dit oppervlak wordt ook gebruikt bij de berekening van de kelderemissie.

Bij een dagelijkse urineproductie van 30 liter per dierplaats wordt 15 liter hiervan gedeponneerd
op de vloer in het loop-/vreetgedeelte. Dat levert bij 3 m³ per dierplaats een maximale
plasdikte op van $15/3 = 5$ mm (gemiddeld ligt op elke m² vloer dan 5 liter urine). De frequentie
van mestverwijdering (en dus urineverwijdering) heeft direct invloed op deze plasdikte; de
gemiddelde plasdikte neemt lineair af met toenemende verwijderingsfrequentie.
Het doorgerkende stalsysteem heeft verder de volgende kenmerken (RAV = waarde in
overeenstemming met Regeling Ammoniak en Veehouderij):

- Veestal met een liggedeelte (pot met stro) en een loop-/vreetgedeelte
- Het loop-/vreetgedeelte is in beginsel uitgevoerd als vlakke betonvloer (zonder
mestkelder), met niet-frequente mestverwijdering (bijv. eenmaal per week)
- 50% van de mest en de urine wordt in de pot gedeponneerd en 50% aan het voerhek
- Urineerfrequentie op het loop-/vreetgedeelte derhalve 5 keer per dier per dag
- Plasoppervlak dichte, vlakke vloer: 1,2 m² en roostervloer 0,8 m² (RAV)
- Kelderbijdrage (in % ten opzichte van traditionele betonnen roosters = 100%) vlakke,
dichte vloer 0% en emissie-arme roostervloer 20% (RAV)
- Scenario-nummer en bijbehorende plasdiktes (mm):

1. Dichte, vlakke vloer met niet-frequente mestverwijdering (bijv. schuif)	5,0
2. Dichte, vlakke vloer met tweemaal dagelijkse mestverwijdering	2,5
3. Dichte, vlakke vloer met viermaal dagelijks verwijdering:	1,2
4. Dichte, vlakke vloer met frequente mestverwijdering (elke 2 uur; RAV)	0,58
5. Traditionele betonnen roostervloer met frequente mestverwijdering (RAV)	0,48
6. Emissiearme dichte vloer met frequente mestverwijdering	0,27
7. Emissiearme roostervloer met frequente mestverwijdering	0,27

Emissiefactor (kg NH₃ per dierplaats per jaar) = modelberekening (g/uur) * 24 * 365/ 100.000.

De resultaten staan in de onderstaande tabel.

Scenario	1	2	3	4	5	6	7
Simulatie run/plasoppervlak; plasdikte	1,2; 5,0	1,2 2,5	1,2; 1,2	1,2; 0,58	0,8; 0,48	1,2; 0,27	0,8; 0,27
1	474,8	307,6	181,0	116,9	81,5	72,4	60,4
2	460,8	306,4	184,0	110,7	81,7	72,2	60,9
3 (g/uur hele stal)	450,1	301,2	180,5	111,6	81,7	71,4	60,7
4	466,7	299,1	187,0	112,0	83,3	71,0	60,6
5	464,2	307,8	186,7	115,7	81,1	71,2	60,9
GEMIDDELDE van 5 runs (g/uur hele stal)	463,3	304,4	183,8	113,4	81,9	71,6	60,7
Maximale bijdrage kelder (g/uur hele stal)	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0
Bijdrage vloer netto (g/uur hele stal) = gemiddelde minus bijdrage kelder	430,3	271,4	150,8	80,4	48,9	38,6	27,7
Werkelijke bijdrage kelder (g/uur hele stal)	0	0	0	0	33,0 (100%)	0	6,6 (20%)
vloer netto + werkelijke bijdrage kelder (g/uur hele stal)	430,3	271,4	150,8	80,4	81,9	38,6	34,3
EMISSIONSFACITOR (kg NH ₃ per dierplaats per jaar)	37,7	23,8	13,2	7,0	7,2	3,4	3,0
Relatief t.o.v. dagelijkse mestverwijdering (scenario 2)	158%	100%	55%	29%	30%	14%	13%

Deze berekeningen laten zien dat de bijdrage van het loop-/vreetgedeelte van de stal (3 m² per dierplaats aan 'met mest besmeurd oppervlak' bij niet-frequente mestverwijdering zeer aanzienlijk zal zijn, aangezien de bron van de NH₃-emissie (ureum-stikstof in de urine) langdurig in de stal aanwezig is en wordt blootgesteld aan een vrij verdampend (emitterend) oppervlak.

Uit de eerste 3 scenario's volgt dat de relatie tussen de mestverwijderingsfrequentie en de NH₃-emissie van dat stalgedeelte nagenoeg lineair is. Ten opzichte van eenmaal daags mest verwijderen (met een schuif) wordt door elke 2 uur mest verwijderen een reductie gerealiseerd van de emissie van dat stalgedeelte van ruim 70%. Dit effect is nagenoeg gelijk aan het effect van vervanging van de dichte vlakke vloer door een traditionele betonnen roostervloer met mestkelder.

Wanneer een emissiearme dichte vloer of een emissiearme roostervloer wordt toegepast, kan de emissiereductie van het loop-/vreetgedeelte ten opzichte van het eenmaal daags mest verwijderen van een vlakke dichte vloer iets meer dan 85% bedragen.

Bijlage 14. Aanwezig bij bespreking concept-resultaten

Locatie: ZLTO, 's Hertogenbosch, dd. 8-10-2018.

- Ad Bink (geitenhouder)
- Fonny van de Heijning (adviseur)
- Johan Masseurs (vleesveehouder)
- Co Brooijmans (idem)
- Herman van Kessel (adviseur)
- Pipie Smits van Oyen (biologische sector; zoogkoeien)
- Marjon Krol (LIB)
- Herman Litjens (ZLTO)
- Theo van de Ven (provincie NB)
- Gert-Jan Monteny
- Jeroen Pijlman
- Jan de Wit