

Bijdrage CLM

De ambtelijke studiegroep 'Normeren en Beprijzen van Stikstof' heeft CLM Onderzoek & Advies gevraagd in de periode januari tot maart 2021 op afroep expertise in te brengen bij de studiegroep. Het onderzoekswerk werd grotendeels gedaan door de ambtelijke studiegroep en ondergetekenden hebben gereageerd op kennisvragen die tussentijds werden gesteld door de studiegroep. Dit waren kennisvragen met betrekking tot ammoniakmeetsystemen, de huidige wetgeving en diverse maatregelen om de ammoniakemissie te reduceren.

De bijdragen van CLM waren als volgt:

- In eerste instantie een kritische reflectie op en aanvullende informatie voor fiches met daarin een omschrijving van mogelijke maatregelen om te komen tot een landelijke reductie van de ammoniakemissie.
- Daarna zijn kansen en belemmeringen van een meetsysteem voor ammoniakemissie in kaart gebracht. Dat resultaat is weergegeven in bijlage 1A.
- Het instrument 'emissieheffing aan de marge' is nader geconcretiseerd door het handelingsperspectief op verschillende type bedrijven in beeld te brengen. De rapportage hiervan is weergegeven in bijlage 1B.
- Als laatste is een conceptversie van het landbouwdeel binnen het rapport gereviewd en van advies voorzien. De studiegroep 'Normeren en Beprijzen van Stikstof' is zelf eindverantwoordelijk voor de teksten en de daarin gemaakte keuzes.

We hebben waardering voor het vele werk in een zeer complex dossier dat door medewerkers van drie ministeries in relatief korte tijd is verzet. Gelijktijdig zijn we ons ervan bewust dat enkele maatregelen, voor een eventuele implementatie, nog een nadere uitwerking behoeven.

Carin Rougoor, Erik van Well en Frits van der Schans
CLM Onderzoek & Advies

Bijlage 1A: Meetsysteem ammoniakemissie

Inhoud:

1. Achtergrond

2. Algemene inleiding

3. Ammoniakemissies berekenen

- 3.1. Rekenen op nationaal niveau
- 3.2. Rekenen op bedrijfsniveau

4. Ammoniakemissie meten

- 4.1. Meten op nationaal niveau
 - 4.1.1. Satellietmetingen
 - 4.1.2. Veldmetingen
- 4.2. Meten op bedrijfsniveau
 - 4.2.1. Stal en mestopslag
 - 4.2.2. Bemesting en beweiding

5. Conclusies: hoe emissies per bedrijf schatten?

1. Achtergrond

In het projectplan zijn de vragen voor onderdeel A als volgt geformuleerd:

1. Op welke manier kunnen ammoniakemissies betrouwbaar op bedrijfsniveau gemeten of berekend worden? Kan er gewerkt worden met een forfaitaire berekening en hoe betrouwbaar zijn deze berekeningen? Kan hiervoor NEMA (of een andere rekentool) gebruikt worden?
2. Welke mogelijkheden zijn er om ammoniakemissies daadwerkelijk te meten op bedrijfsniveau (eventueel in combinatie met satellietbeelden)? Is wellicht een combinatie van slimme data-analyse en een meetsysteem mogelijk? Op welke termijn is een dergelijk systeem beschikbaar?

Omdat de inhoud van beide vragen deels door elkaar loopt, kiezen we er omwille van een heldere structuur voor om de vragen als volgt uit te werken:

1. Is een (forfaitaire) berekening mogelijk?
 - a. Op nationaal niveau
 - b. Op bedrijfsniveau
2. Zijn metingen mogelijk eventueel in combinatie met berekeningen?
 - a. Metingen op nationaal niveau
 - b. Metingen op bedrijfsniveau

Bij de uitwerking komen de verschillende onderdelen uit de oorspronkelijke vragen terug.

2. Algemene inleiding

Om antwoord te kunnen geven op de gestelde vragen is het van belang dat we eerst toelichten hoe de ammoniakemissie vanuit de landbouw er uit ziet. Ammoniakemissie vanuit de landbouw kent verschillende bronnen. In 2018 bedroeg de totale emissie vanuit de landbouw 111 kton en was die als volgt verdeeld over verschillende bronnen¹:

- 51,9 kton stal
- 40,4 kton mestaanwending
- 9,0 kton kunstmestgebruik
- 4,1 kton processen in bodem en gewassen
- 3,0 kton mestopslag
- 1,4 kton weidemest
- 0,7 kton mestbe-/verwerking
- 0,5 kton productgebruik

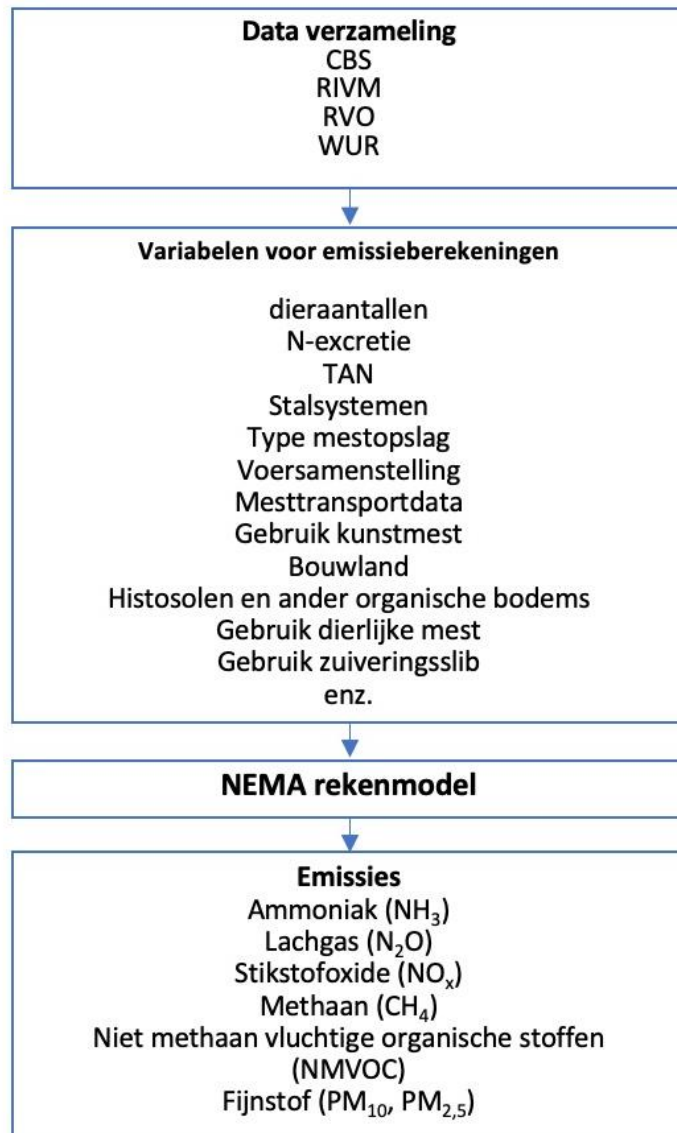
De ammoniakemissie op een bedrijf is gedefinieerd als de hoeveelheid ammoniak (NH₃) die, per tijdseenheid, vanuit stallen (met de ventilatielucht) uittreedt, of vanuit mestopslagen buiten de stal, vanaf bemeste percelen, emissies bij weidegang en eventuele andere processen. In alle gevallen is die emissie een verdampingsproces, dat wordt beïnvloed door factoren zoals temperatuur, luchtsnelheid, oppervlakte, ammoniakconcentratie en luchtvochtigheid.

¹ Emissieregistratie.nl

3. Ammoniakemissies berekenen

3.1 Rekenen op nationaal niveau

De emissies van o.a. ammoniak worden jaarlijks berekend met het National Emission Model for Agriculture (NEMA zie o.a. Van Bruggen et al., 2020² en Lagerwerf et al., 2019³) en gerapporteerd aan de Europese Commissie en Verenigde Naties. Deze emissies worden uitsluitend berekend door internationaal erkende rekenregels te vullen met variabelen zoals dieraantallen, stalsystemen e.d. De variabelen worden verzameld door het CBS, het RIVM, RVO en WUR. In figuur 1 geven we een overzicht hiervan weer.



² Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof & J. Vonk (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen

³ Lagerwerf, L.A., A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2019). Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – update 2019. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment. WOt-technical report 148. 215 p.; 6 Figs; 45 Tabs; 108 Refs; 12 Annexes.

De emissie van ammoniak wordt berekend door het optellen van de verschillende bronnen, te weten:

- Dierlijke mest (A)
 - Stal en mestopslag buiten de stal (A1)
 - Beweiding (A2)
 - Mesttoediening (A3)
 - Mestbewerking (A4)
- Kunstmest (incl. spuiwater luchtwassers) (B)
- Zuiveringslib en compost
- Afrijping gewassen en gewasresten

Hieronder werken we elk van de afzonderlijke bronnen nader uit.

A. Dierlijke mest

De emissie van NH₃ uit dierlijke mest wordt in het rekenmodel NEMA als volgt berekend:

Stikstofexcretie (N-excretie) per dier (berekend door Werkgroep Uniformering Mest- en mineralencijfers, basis zijn gegevens over voer, productie, stal, weide)

x

% ammoniakaal stikstof (TAN excretie) (gebaseerd op rantsoen)

=

totale hoeveelheid uitgescheiden TAN

x

emissiefactoren (vastgesteld in NEMA, op basis van RAV emissiefactoren en aantallen uit de jaarlijkse landbouwtelling)

= **emissie NH₃**

De NH₃-emissies uit dierlijke mest worden berekend per diercategorie en gesplitst naar bron: stal, mestopslag buiten de stal, mestbe- en verwerking, beweiding en mesttoediening.

De Werkgroep Uniformering berekening Mest- en mineralencijfers (WUM) berekent jaarlijks de N- en P-excretie per dier op basis van gegevens over voerverbruik en dierlijke productie, inclusief de verdeling van de mest over stal- en weideperiode (CBS, 2019).

Behalve de N-excretie moet ook het aandeel TAN in de excretie worden vastgesteld. De berekening van de TAN-excretie is gebaseerd op de verteerbaarheid van ruw eiwit van het rantsoen in actuele rantsoensamenstellingen. Uitgegaan wordt van de berekende gemiddelde TAN-excretie in Nederland voor het jaar waarin de ammoniakmetingen zijn uitgevoerd: het zogenaamde referentiejaar.

A.1. Stal en mestopslag buiten de stal

De emissiefactoren van de verschillende staltypen worden berekend op basis van de onderliggende RAV-emissiefactoren en de aantallen uit de Gecombineerde Opgave (Gemeenschappelijke Data Inwinning van RVO). Zo is in de melkveehouderij de huidige emissiefactor 13,0 kg NH₃ per dierplaats per jaar voor melkkoeien die permanent opgesteld

staan op een traditionele roostervloer. Elk type emissiearme stal kent een eigen emissiefactor. Op basis van deze gegevens en het aantal dierplaatsen per stalsysteem wordt in NEMA een gemiddelde emissiefactor berekend voor stallen.

Een deel van de in de stal geproduceerde mest wordt buiten de stal opgeslagen. De hoeveelheid buitend de stal opgeslagen mest wordt berekend op basis van gegevens uit de landbouwtelling in combinatie met gegevens van geregistreerde mesttransporten. De emissie van dit deel van de mestopslag is afhankelijk van hoeveelheid mestproductie, mesttype, staltype en de aanwezige opslagcapaciteit. Om de hoeveelheid N en TAN te kunnen berekenen die aan de bodem wordt toegediend moet de emissie uit mestopslagen buiten de stal worden vastgesteld. Ammoniak die reeds uit de mestopslag is vervluchtigd kan niet meer vrijkomen bij mestaanwending.

De berekening van de NH₃-emissies uit mestopslag buiten de stal en bij mesttoediening zijn gebaseerd op de hoeveelheid TAN in de mest die overblijft na aftrek van de emissies die in een eerdere fase zijn opgetreden, minus de export en verwerking van mest.

A.2. Beweiding

De emissiefactor tijdens beweiding wordt toegepast op de TAN-excretie tijdens beweiding van alle verschillende categorieën graasdieren. Afname in emissies door weidegang van melkkoeien bedraagt 2,61% per uur weidegang. Op jaarbasis komt de procentuele emissiereductie dan uit op:

$$2,61\% \times (\# \text{ uren weidegang/dag}) \times (\# \text{ dagen weidegang per jaar}) / 365$$

Daarbij zijn de uren weidegang in 2016 vastgesteld op 7 uur per dag voor beperkt weidegang en 19 uur per dag voor onbeperkt weidegang en het aantal dagen weidegang op 169. Deze cijfers zijn gebaseerd op CBS-gegevens (Lagerwerf et al, 2019).

A.3. Mesttoediening

Uit de berekening van de mestproductie, de gasvormige verliezen in de stal en bij opslag buiten de stal, bij mestbewerking en -verwerkingsprocessen, de excretie tijdens beweiding en de afzet buiten de Nederlandse landbouw, worden de hoeveelheden (ammoniakale) N (en fosfaat) berekend die aan de bodem worden toegediend:

N-bodem = mestproductie – gasvormige verliezen in stal – gasvormige verliezen bij opslag buiten de stal – verliezen bij mestbewerking/verwerking – excretie bij beweiding – afzet buiten Nederland. Daarbij wordt data gebruikt van het Bedrijven informatienetwerk van Wageningen Economic Research (BIN)) en mesttransportdata van RVO. Voor de aanwendingstechnieken worden cijfers gebruikt van de CBS Landbouwtelling. Daarbij heeft elke aanwendingstechniek een eigen emissiefactor.

B. Kunstmest

Naast deze berekeningen voor de emissie vanuit dierlijke mest wordt de emissie vanuit kunstmest berekend door de hoeveelheid kunstmest per toegediend type kunstmest (sinds 2016 gebaseerd op cijfers van het BIN) te vermenigvuldigen met de emissiefactor per kunstmestsoort en gewastype. Het gewastype wordt gebaseerd op grondgebruikskaarten, waarbij onderscheid wordt gemaakt in grasland en bouwland.

Betrouwbaarheid/nauwkeurigheid

De bovengenoemde rapportage over NEMA geeft de hierna genoemde informatie over onzekerheden van berekeningen op nationale schaal (Van Bruggen et al., 2020⁴).

Tabel 10.1 Onzekerheidsschatting van NH₃-emissies berekend met NEMA (%) / Uncertainty estimates of NH₃ emissions calculated with NEMA (%).

Emissiebron / Emission source	Geschatte onzekerheid NH ₃ -emissie / Uncertainty estimates NH ₃ emission
Stallen en mestopslagen / Housing and manure storages	20
Landbouwbodems (totaal) / Agricultural soils (total)	29
waarvan / of which:	
toediening van dierlijke mest / application of livestock manure	38
gebruik van kunstmest / fertilizer use	37
beweiding / grazing	56
Totale onzekerheid landbouw / Total uncertainty agriculture	25
Afzet buiten de landbouw en hobbydieren / Marketing outside agriculture and hobby animals	61

Bron / Source: Lagerwerf et al. (2019).

De tabel laat zien dat alle onderdelen binnen de NEMA-berekeningen een vrij grote onzekerheid kennen, waardoor een onzekerheid van de totale ammoniakemissieberekening van de Nederlandse landbouw van 25% ontstaat.

3.2 Rekenen op bedrijfsniveau

In de melkveehouderij wordt op bedrijfsniveau momenteel jaarlijks de ammoniakemissie berekend als onderdeel van de Kringloopwijzer (Van Dijk et al., 2019⁵). In de Kringloopwijzer is hiervoor de Bedrijfsspecifieke Emissie Ammoniak (BEA) opgenomen; een rekenmodel gebaseerd op de NEMA-rekenregels.

De ammoniakemissies van stalsystemen zijn beschikbaar binnen de Regeling Ammoniak en Veehouderij (RAV). Ze worden uitgedrukt in kg NH₃ per dierplaats per jaar, zijn in het algemeen bepaald op basis van metingen aan praktijkstallen en zijn forfaitair.

Voor een minder statische berekening van **stalemissies** zijn rekenmodellen beschikbaar voor melkvee (Monteny, 2000⁶; Snoek, 2016⁷) en varkens (Aarnink en Elzing, 1998⁸). Dit zijn (semi-)stationaire procesmodellen, die de omzetting (van ureum naar ammoniak), evenwichten en verdamping van ammoniak vanaf de stalvloer en de mestkelder voorspellen en daarmee dus de stalemissie. De uitkomst van deze modellen is de ammoniakemissie in kg per dier(-plaats) per jaar onder gemiddelde jaaromstandigheden en is vooral bruikbaar voor verkenningen. Wanneer bedrijfs-/stalspecifieke gegevens over bijvoorbeeld klimaat, urinesamenstelling, mestsamenstelling, stalvloertype en vloeroppervlak bekend zijn, is een berekening op stalniveau mogelijk. Echter, zonder validatie op basis van bijv. periodieke emissiemetingen kan de betrouwbaarheid niet worden gegarandeerd.

⁴ Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof & J. Vonk (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen

⁵ Van Dijk, W. van, J.J., L.B. Šebek, J. Oenema, J.G. Conijn, Th. Vellinga & J. de Boer, 2019. Rekenregels van de KringloopWijzer 2018; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2018-versie. Wageningen Research, Rapport WPR-xxx. xxx blz.; x fig.; x tab.; x ref.

⁶ Monteny, 2000;

⁷ Snoek, 2016

⁸ Aarnink, A.J.A., Elzing, A. 1998. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. Livest. Prod. Sci. 53: 153-169

De massabalansmethode voor stikstof, op basis van mestmonsters en -analyses is een combinatie van meten en berekenen, waarbij ammoniak een van de verliesposten van de balans is. Deze methode is wel praktisch uitvoerbaar op stalniveau (en ook voor mestopslagen), maar zal vanwege de onnauwkeurigheden bij en kosten van bemonstering en analyse eveneens op bezwaren stuiten.

Voor de ammoniakemissie bij **mesttoediening** is semi-empirisch rekenmodel 'Alfam' (<https://projects.au.dk/alfam/>) beschikbaar, dat tot stand is gekomen door data van diverse internationale onderzoekinstellingen. Alfam voorspelt de ammoniakemissie na mesttoediening als functie van mestsamenstelling, management, toedieningstechniek en weer.

Ook BEA is statisch. In BEA wordt aangesloten bij het Nationaal Emissie Model voor Ammoniak (NEMA, zie hiervoor). Deze methodiek inventariseert de weg die de N in mest aflegt, te weten achtereenvolgens: uitscheiding door de veestapel, huisvesting (stalvloer en mestopslag onder de stal), opslag buiten de stal en mestaanwending. Hierbij speelt het aandeel ammoniakale stikstof in de totale hoeveelheid stikstof (% TAN) een belangrijke rol. Bij iedere stap wordt via emissiefactoren (EF) berekend hoeveel TAN als ammoniak (NH₃-N) en overige gasvormige N-verbindingen vervluchtigt. De EF's zijn gebaseerd op de resultaten van wetenschappelijk onderzoek en sluiten waar mogelijk aan bij bestaande Nederlandse wet- en regelgeving.

Toepasbaarheid en nauwkeurigheid

De stalemissie van NH₃ wordt gevormd door de TAN-excretie vermenigvuldigd met een emissiefactor (EF). Deze EF is afkomstig van metingen van de NH₃-emissie aan (proef)-stallen, omgerekend naar standaard-omstandigheden (m²/koe, temperatuur, melkureum), teneinde deze EF forfaitair (opname in de Regeling Ammoniak en Veehouderij) te maken. Voor een nauwkeuriger EF zal er op stalniveau moeten worden gemeten.

De TAN-excretie minus de stalemissie plus de mineralisatie is de hoeveelheid TAN die naar de opslag gaat. Daar gaat weer een EF voor opslag overheen.

Om dit nauwkeuriger in beeld te brengen is een N- of TAN-massabalans op te stellen.

De 'nauwkeurigheid' van NEMA op landelijk niveau is beschreven in §1.1. De nauwkeurigheid van toepassing van NEMA op bedrijfsniveau is afgeleid van de mate waarin de rekenregels de 'werkelijkheid' beschrijven/vertegenwoordigen.

De toepasbaarheid van de rekenregels voor bronnen op het melkveebedrijf is groot. De rekenregels en emissiefactoren zijn afkomstig van landbouwkundig onderzoek, literatuur, metingen en dergelijke. Ze geven dus de meest recente kennis weer. De rekenregels worden bij nieuwe inzichten steeds verder verbeterd en verfijnd. Voor NEMA en BEA geldt dat de rekenregels helder zijn. Uitgangspunt is de N-excretie of beter de TAN-excretie. Deze is forfaitair; wanneer deze nauwkeurige bekend dient te zijn (bijv. bedrijfsspecifiek), kan een veevoedingsmodel worden gebruikt (zoals deze bijv. in BEA zit).

De toepasbaarheid is dus groot, maar de nauwkeurigheid van de uitkomsten is niet goed weer te geven. Die is sterk afhankelijk van de precisie waarmee de gegevens worden ingevoerd. En daar zit tevens het zwakste punt van de Kringloopwijzer en BEA als instrument. Ze zijn niet ontworpen om te worden ingezet als beleidsinstrument. Bij gebruik als beleidsinstrument, met grote gevolgen voor de bedrijfsvoering, ontstaat daar bovenop

het risico op fraude. De controleerbaarheid van de inputgegevens is hiervoor nu nog onvoldoende.

Een eenvoudiger systeem waarbij de emissie wordt berekend op bedrijfsniveau aan de hand van duidelijk controleerbare variabelen (zoals dieraantallen, stalsysteem e.d.) aangevuld met een systeem van forfaitaire afslagen verlaagt weliswaar de nauwkeurigheid, maar is als beleidsinstrument waarschijnlijk betrouwbaarder en beter te handhaven. Een dergelijk systeem zou in de toekomst eventueel kunnen worden uitgebreid met metingen mits die voldoende betrouwbaar en controleerbaar zijn.

Concluderend kunnen we als antwoord op vraag 1: 'Is een (forfaitaire) berekening mogelijk op nationaal niveau en op bedrijfsniveau?' de volgende antwoorden formuleren:

- De forfaitaire berekening lijken vooral geschikt voor verkenningen op nationaal niveau. In verschillende berekeningen en projecten is inmiddels in beeld gebracht dat management een belangrijke rol speelt in de emissies vanuit de stal. Daarmee zullen de daadwerkelijke emissies vanuit individuele bedrijven soms sterk afwijken van de forfaitaire waarde.
- Met behulp van Kringloopwijzer – BEA kan een deel van de variatie tussen bedrijven in beeld worden gebracht. De berekening op sectorniveau wordt daarmee nauwkeuriger. Op bedrijfsniveau blijft deze benadering redelijk onbetrouwbaar. Daarnaast is deze benadering op bedrijfsniveau ook behoorlijk fraudegevoelig. Deze instrumenten zijn (nog) niet geschikt als beleidsinstrument.

4. Ammoniakemissies meten

De meest nauwkeurige en betrouwbare manier om de NH₃-emissies op bedrijfsniveau te bepalen zou zijn door het continu met hoogwaardige apparatuur (sensoren, monitoren) registreren van de emissie van elk van de bronnen op het landbouwbedrijf: stal(len), mestopslag op het erf, mestbewerkingen, mesttoediening en bij melkveebedrijven eveneens van beweiding. Alleen voor stallen en/of mestopslag geldt dat de emissie reeds 'onder het dak' heeft plaatsgevonden. Dat maakt het bemeten ervan eenvoudiger dan van de overige bronnen in de open lucht.

In de beschrijving van de mogelijkheden om ammoniakemissie op bedrijfsniveau te kunnen meten is het daarom belangrijk dat we onderscheid maken in verschillende bedrijfsonderdelen:

- Stal en mestopslag
- Bemesting en beweiding

4.1 Meten op nationaal niveau

Op nationaal niveau wordt ammoniak momenteel niet gemeten. Zoals beschreven in §1.1 worden voor de berekeningen op nationaal niveau echter wel steeds de laatst beschikbare gegevens, waarden en modellen gebruikt. Gegevens en waarden worden regelmatig bijgesteld op basis van nieuwe inzichten, metingen en berekeningen uit recent onderzoek.

4.1.1 Satellietmetingen

Het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof schreef in haar rapportage 'Meer meten robuuster rekenen'⁹ over de mogelijkheden van metingen. **Satellietmetingen** kunnen bijdragen aan het evalueren en valideren van modellen. Verder kunnen zij ruimtelijke patronen in de concentratie van stikstofdioxide en ammoniak in kaart brengen en is het mogelijk om ze te gebruiken voor emissieschattingen. De satellietmetingen zijn aanvullend op **grondmetingen**. Wat die grondmetingen betreft, het landelijk meetnet is ruimtelijk al goed gerepresenteerd in het MAN (Meetnet Ammoniak Natuurgebieden). Voor het terugdringen van modelonzekerheid door uitbreiding van het meetnet doet het adviescollege verschillende concrete suggesties.

Satellietmetingen zijn dus geschikt voor landelijke en regionale inzet, emissieschattingen ter ondersteuning van modellen, maar niet voor individuele bedrijfsemisies. Dit komt doordat het meet-grid niet nauwkeurig genoeg is om concentraties toe te wijzen aan een specifieke bron op bedrijfs- of perceelsniveau. Juist veldemissies zijn met satellietmetingen moeilijk in kaart te brengen. Die emissies (kunnen) aanzienlijk fluctueren van dag tot dag en tussen naast elkaar gelegen percelen van verschillende gebruikers.

4.1.2 Veldmetingen

In internationaal verband is onderzoek gedaan naar veldmetingen naar ammoniakemissie. In de periode 2014-2017 werd in het project MetNH₃ een groot aantal meetmethoden en apparatuur met elkaar vergeleken. Deze methoden en apparatuur zijn echter gericht op nationale monitoringsprogramma's en niet op individuele bedrijfsmonitoring. Ze zijn niet toepasbaar voor praktijksituaties, met name vanwege de hoge kosten. Het betreft hier zeer geavanceerde en kostbare apparatuur, waardoor de kosten van metingen (extreem) hoog zijn. Daarnaast is ook de toerekening van de gemeten ammoniakemissie aan specifieke bronnen een probleem.

4.2 Meten op bedrijfsniveau

4.2.1 Stal en mestopslag

Voor **stallen** is een continue registratie (monitoring) volgens de Taskforce Toekomstbestendige stallen binnen een periode van 2-3 jaar technisch haalbaar (Taskforce Toekomstbestendige stallen; rapportage in voorbereiding). Daarbij lijkt het overigens niet haalbaar om in korte tijd een groot deel van alle bedrijven van meetapparatuur te voorzien, vanwege een beperkt aanbod door beperkte productie, leverings- en installatiemogelijkheden. Voor natuurlijk geventileerde stallen, vooral toegepast in de melkveehouderij, is het daartoe noodzakelijk dat het ventilatiedebiet wordt berekend op basis van continue metingen van de CO₂ concentraties in stallucht en buitenlucht. Met het gemeten verschil in CO₂-concentratie tussen stallucht en buitenlucht in combinatie met rekenregels voor de CO₂-productie van de dieren in de stal, kan het ventilatiedebiet worden berekend. Door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met het eveneens continue gemeten verschil in NH₃-concentratie tussen stallucht en buitenlucht, kan de ammoniakemissie worden vastgesteld. Deze methode staat bekend als de CO₂-massabalansmethode. Voor mechanische geventileerde stallen, vooral toegepast bij hokdieren (met name varkens, pluimvee en vleeskalveren), wordt de CO₂-

⁹ Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof Samenstelling De heer prof. dr. L. Hordijk, voorzitter De heer prof. dr. ing. J.W. Erisman De heer dr. H. Eskes De heer dr. J.C. Hanekamp De heer prof. dr. M.C. Krol Mevrouw prof. dr. P.F. Levelt De heer prof. dr. M. Schaap De heer prof. dr. ir. W. de Vries, 49 pp.

massabalansmethode vervangen door een continue meting van het ventilatiedebiet van elke ventilator met een zgn. meetwaaier en een pulsenteller.

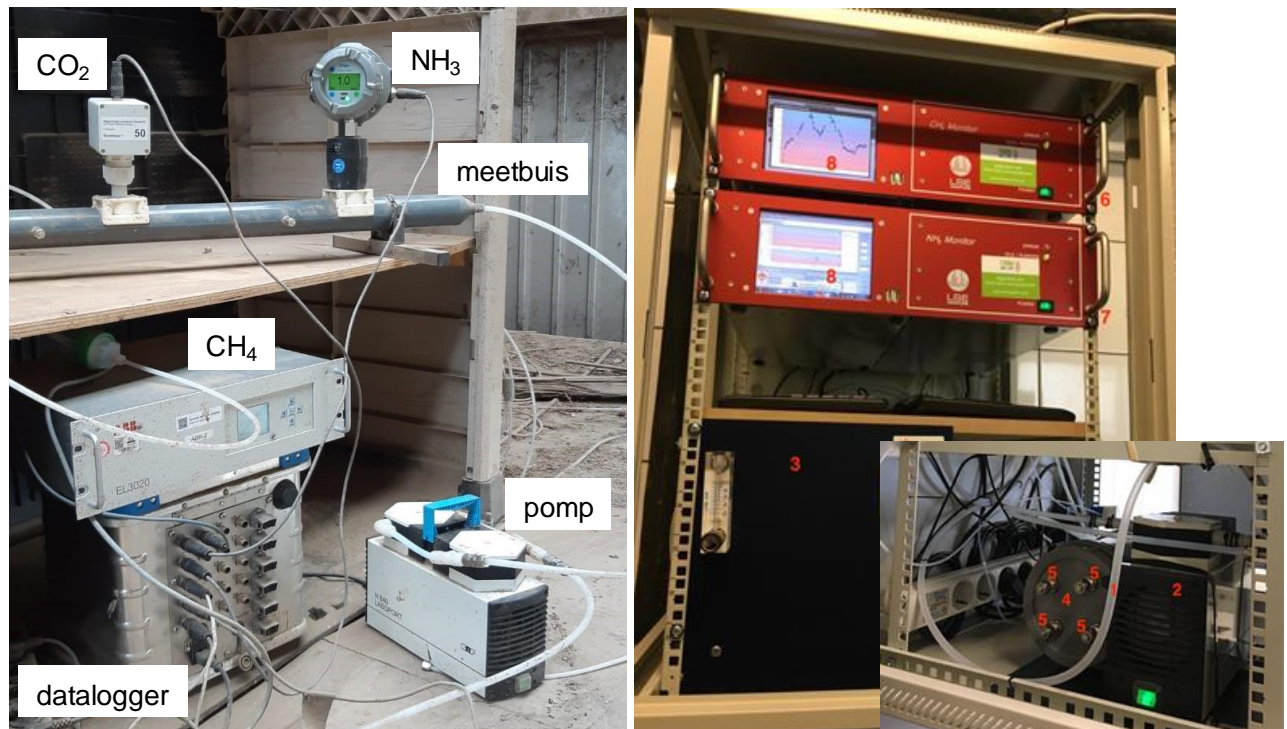
In 2018 beschreven Ellen et al.¹⁰ de mogelijkheden voor directe continue bedrijfsmonitoring van emissies, waarbij de veehouder zelf stuurt op het voldoen aan een vastgestelde emissie-eis. Het rapport geeft een overzicht van de eisen waaraan een meetsysteem voor het vastleggen van de emissies zou moeten voldoen. Ook gaf het rapport een inventarisatie van NH₃- en CO₂-sensoren die beschikbaar waren voor toepassing in de stal en die perspectiefvol leken voor inzet in een bedrijfsmonitoringsysteem. Tenslotte beschrijft het rapport welke meetsensoren (met hun kenmerken zoals meetprincipe, meetbereik en gevoeligheid) en randapparatuur op korte of middellange termijn beschikbaar komen. Daarbij werden periodes van 1 tot 2 jaar respectievelijk 2 tot 3 jaar gehanteerd. Deze periodes zijn sinds het verschijnen van dit rapport inmiddels verstreken en ontwikkelingen hebben niet stilgestaan. De afgelopen jaren is veel ervaring opgedaan met metingen in stallen. Met de toename van mogelijkheden van dit soort metingen, is ook de vraag naar afrekening van daadwerkelijk gemeten emissies op bedrijfsniveau toegenomen. Dat heeft geleid tot het opstellen van een 'ontwikkel- en validatieprotocol'¹¹ door de Taskforce Toekomstbestendige stallen. Dit protocol moet metingen reguleren en moet leiden tot betrouwbare meetdata die kunnen worden gebruikt voor toekomstige doelvoorschriften op gebied van ammoniak en methaan. Dit protocol geeft een handreiking voor het vaststellen van de belangrijkste prestatiekenmerken, te weten responstijd, kalibratie, (instrument-) herhaalbaarheid en detectielimiet. Daarnaast worden mogelijke interferenties door omgevingsomstandigheden zoals luchtdruk, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid en stoorcomponenten beschreven.

In het kader van onderzoek rond de klimaatvelop zijn vanaf 2018 methaan- en ammoniakmetingen uitgevoerd op 18 melkveebedrijven en op twee varkensbedrijven, twee geitenbedrijven en twee kalverbedrijven. Deze metingen zijn uitgevoerd door een consortium van Wageningen Livestock Research (WLR), CLM Onderzoek en Advies (CLM) en Monteny Milieu Advies (MMA).

Voor het continumeten van ammoniak zijn twee verschillende meetsystemen gebruikt. De stallucht werd door een externe pomp aangezogen vanuit een monsternamelleiding in de lengte van de stal ongeveer in het midden van het gebouw (zowel qua hoogte als stalbreedte), met daarin een aantal bemonsteringspunten, voorzien van kritische openingen voorzien van een stoffilter en vervolgens door de meetapparatuur geleid.

¹⁰ Ellen, H., D. van Dinther, R. Melse, J. Mosquera, N. Ogink, J.P.M. Ploegaert & J. Vonk (2018). StalSens-Oren: meetsystemen voor bedrijfsmonitoring van emissies in de veehouderij. Deskstudie naar de mogelijkheden voor directe emissieregistratie. Rapport 1099. Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research, Wageningen.

¹¹ Vonk, J., D. van Dinther, J. Mosquera & N.W.M. Ogink (2021). Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH₃ en CH₄ uit veehouderijen. Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies. Rapport 1285. Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research, Wageningen.



- 1 aanzuigleiding stallucht
2. pomp aanzuiging stallucht
3. meetbuis/buffervat stallucht
4. achteraanzicht buffervat
5. aftappunten voor referentiemetingen
6. CH₄-analyser
7. NH₃-analyser
8. Scherm met live meetwaarden

De resultaten van de continuummetingen zijn gevalideerd met behulp van natchemische NH₃-metingen. Deze methode wordt uitgebreid in Mosquera e.a. (2019)¹² beschreven. Vonk et al. (2021) beschrijven een 'ontwikkel- en validatieprotocol' en concluderen dat *'Om de sensor(-systemen) die als bedrijfsmonitor ingezet zullen worden, maar ook het protocol verder te ontwikkelen zijn meer pilots nodig. Binnen deze trajecten kunnen vragen als optimale werkwijze voor opleveringsmetingen, veldkalibratie-procedures en benodigde controles in de tijd en bedrijfs- vs. instrumentinteracties beantwoord gaan worden. Hieruit kan eveneens geleerd worden hoe verschillende typen sensoren zich gedurende hun levensduur gedragen onder stalcondities, welke wezenlijk anders zijn dan buitenlucht qua concentraties maar ook aanwezige interferenties.'*

De beschreven apparatuur is al beschikbaar, maar wordt momenteel vooral ingezet in onderzoeken en pilots. In verband met grote hoeveelheden stof is meten in pluimveestallen moeilijker te realiseren, evenals metingen in samengestelde melkveestallen, of stallen met veel openingen zoals serrestallen en stallen waarin de mest gecomposteerd wordt. In deze

¹² Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, en G.C.C. Kupers. 2019. Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems. Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research Rapport 1187.

laatste typen stallen is het ventilatiedebiet niet of nauwelijks te bepalen en daarmee de stalemissie moeilijk in beeld te brengen. Om tot een brede markttoepassing te komen zijn nog enkele stappen nodig. In de komende jaren zal naar verwachting zeker een betrouwbaar en breed toepasbaar systeem op de markt komen dat voldoet aan de eisen van het ontwikkel- en validatieprotocol. Ook zullen bij grotere oplagen van te leveren apparatuur de prijzen naar verwachting dalen. Verlaging van de kosten is noodzakelijk. Die kosten bedragen indicatief, voor een (teflon) monsternameleiding met kritische inlaatopeningen, de aanleg en apparatuur voor continuumeting, op dit moment zo'n 15.000-25.000 euro per stal.

Ook uit **mestopslagen** komt NH₃ vrij, doordat ze niet luchtdicht kunnen worden afgesloten. Voor mestopslagen buiten de stal zijn metingen zoals die in de stal plaatsvinden om meerdere redenen (zoals een onbekend ventilatiedebiet) praktisch niet haalbaar. In het verleden zijn wel enkele andere methoden ontwikkeld en getest, o.a.:

- Lindvalldoos-metingen, bestaande uit een drijvende, geventileerde box waarmee een deel van het mestoppervlak kan worden bemonsterd en bemeten
- Zgn. horizontale fluxraam-metingen ('micro-meteorologische massabalansmethode'), waarbij de bronsterkte werd berekend op basis van een profiel van de windsnelheid en de ammoniakconcentratie in het verticale profiel boven een mestsilo
- Massabalans-berekeningen voor stikstof (zie eerder in § 1.2).

Alleen de eerste twee genoemde methoden zijn meetmethoden. Die zijn echter voor mestopslagen niet praktisch toepasbaar; zelfs voor toepassing binnen het onderzoek zijn de nodige kanttekeningen te plaatsen¹³. Daarmee blijft dus alleen de massabalans-berekening over om emissies in beeld te brengen.

4.2.2 Bemesting en beweiding

Voor **mesttoediening en weidend vee** zijn structurele metingen praktisch niet uitvoerbaar. De lage ammoniakconcentraties in de buitenlucht, gecombineerd met veel percelen en verschillende manieren van gebruik en bemesting, maken dat meten en toedelen van concentraties en emissies naar specifieke percelen of bedrijven onhaalbaar is.

In het verleden is de micro-meteorologische massabalansmethode zoals ook genoemd bij mestopslagen (zie o.a. Reyden and McNeill, 1984¹⁴) gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek; dit betrof dan zgn. 'kleine plots' (cirkelvormig). Voor volvelds-toepassingen is in de jaren '90 een experiment gedaan (Van Jaarsveld et al., 2000¹⁵) met een groot fluxraam. Boven- en benedenwinds van een perceel mat het fluxraam de windsnelheden en ammoniakconcentratie. Op basis van die metingen werd de emissie van het perceel berekend.

5. Conclusies: hoe emissies per bedrijf schatten?

¹³ Reflections of experts from Germany, Denmark, Ireland, Switzerland and the Netherlands on the paper "Estimating ammonia emission after field application of manure by the integrated horizontal flux method: a comparison of concentration and wind speed profiles" by Paul W. Goedhart, Julio Mosquera and Jan F. M. Huijsmans, which was published in Soil Use and Management in 2020 (DOI: 10.1111/sum.12564) in Oenema et al., 2020 naar aanleiding van Kamervragen over CBS-studie naar stikstofverliezen

¹⁴ Reyden JC, McNeill JE (1984) Application of the micrometeorological mass balance method for the determination of ammonia loss from a grazed sward. J Sci Food Agric 35:1297–1310.

¹⁵ JA van Jaarsveld, A Bleeker, JW Erisman, GJ Monteny, J Duyzer en D Oudendag, 2000. Ammoniak emissie-concentratie-depositie relaties op lokale schaal. Rapportnummer725601001, 55 pp.

Concluderend kunnen we op vraag 2: 'Zijn metingen op bedrijfsniveau mogelijk eventueel in combinatie met data/berekening?' de volgende antwoorden formuleren:

- In theorie zijn veel metingen mogelijk, maar praktisch gezien zijn eigenlijk alleen stalmetingen goed uit te voeren. De borging van betrouwbaarheid van deze metingen wordt momenteel via protocollen geregeld.
- De metingen zijn in een periode van 2 tot 3 jaar op beperkte schaal voldoende praktijkrijp en beschikbaar. Op grotere schaal moet daarvoor enkele jaren extra worden uitgetrokken. De kosten van zo'n meetsysteem bedragen op dit moment eenmalig 15 tot 25.000 euro per bedrijf, jaarlijks zo'n 2000 euro per bedrijf en zullen naar verwachting enigszins dalen bij hogere oplagen van de apparatuur en installaties. Toch zullen kosten door hoge eisen in de protocollen relatief hoog blijven, i.v.m. onder andere dure meetleidingen. Opgemerkt moet worden dat voor de pluimveehouderij en de meer open of gecombineerde melkveestallen de meetmogelijkheden beperkter zijn in verband met veel stofvorming in de pluimveehouderij en problemen met meten van ventilatiedebiet bij bepaalde type melkveestallen.
- Concentratie metingen met satellieten voldoen op dit moment uitsluitend voor ondersteuning van rekenmodellen op nationaal en regionaal niveau. Het is (hoogst) onwaarschijnlijk of deze metingen in de toekomst wel mogelijkheden bieden voor vertaling naar bedrijfsniveau.

De emissies per bedrijf bestaan uit emissies vanuit de stal, de mestopslag, bij beweiding en bij mestaanwending. De bepaling van de emissies vanuit de mestopslag en bij mestaanwending zijn onafhankelijk van de sector die het betreft. Hieronder geven we weer hoe deze emissies kunnen worden bepaald en wat toekomstige mogelijkheden zijn. Vervolgens gaan we specifiek in op de stalemissies per veehouderijsector en emissie bij beweiding.

In de overzichten maken we onderscheid in forfaitair, bedrijfsspecifieke berekeningen en metingen. In praktijk zien we ook combinaties van bijvoorbeeld modelberekeningen en metingen. En het toepassen van 'afslagen' binnen een forfaitaire benadering kan leiden tot een bedrijfsspecifieke berekening. Toch denken we dat deze indeling op hoofdlijnen een beeld schetst van verschillende (on)mogelijkheden om op bedrijfsniveau inzicht te krijgen in ammoniakemissies.

Mestopslag en aanwending:

	Forfaitair		Bedrijfsspec. berekeningen	Metingen
	Huidig	Toekomst afslagen		
Mestopslag (3,0 kton)	Berekening	Afvangen lucht uit opslag		Moeilijk realiseerbaar
Mestaanwending (40,4 kton)	Berekening	Extra emissiearme aanwendings-technieken		Niet realiseerbaar

Rundveehouderij

	Forfaitair		Bedrijfsspec. berekeningen	metingen
	Huidige RAV	Toekomst afslagen*		

Stalemissie (31,8 kton)	Stalsysteem, dieraantallen, strooisel*, al dan niet beweiding	Verdunnen van mest Kelderluchtbehandeling Voermanagement (melkureum)	Model KLW- BEA (nog onvoldoende specifiek voor alle bedrijven en daarnaast fraudegevoelig)	Stalsensoren in ontwikkeling. In toekomst breder toepasbaar
Beweiding (1,4 kton)	Al dan niet beweiding	Weidegang (niveau)	uren weidegang (weidepoortjes)	Niet realiseerbaar

* Zie hiervoor notitie met overzicht van maatregelen

Varkens en pluimveehouderij

	Forfaitair		Bedrijfsspec. berekningen	metingen
	Huidige RAV	Toekomst afslagen*		
Stalemissie (19,0 kton)	Stalsysteem (per diercategorie), dieraantallen	Verdunnen van mest Drijvende ballen in de mestput Koeling mestput Voermanagement Strooisel Conditionering inkomende lucht		Stalsensoren in ontwikkeling. In toekomst breder toepasbaar

* Zie hiervoor notitie met overzicht van maatregelen

Samengevat kunnen we stellen dat op dit moment stalemissies forfaitair kunnen worden bepaald, rekening houdend met verschillen in stalsysteem, dieraantallen en enkele aspecten die ook in de RAV zijn opgenomen. Dit kan in de toekomst verder worden verfijnd, waarbij de verwachting is dat binnen enkele jaren bedrijfsspecifieke metingen met sensoren mogelijk zijn. Voor mestopslag worden de emissies momenteel forfaitair bepaald, evenals voor mestaanwending. Gezien kosten en beperkingen in mogelijkheden om te meten in deze situaties, lijkt het niet realistisch dat emissies vanuit de mestopslag en bij mestaanwending binnen enkele jaren via metingen met sensoren bedrijfsspecifiek kan worden bepaald.

Bijlage 1B: Emissieheffing aan de marge

Inleiding

Om de effectiviteit van een emissieheffing in beeld te brengen is het relevant om het handelingsperspectief op verschillende type bedrijven in beeld te brengen. Het gaat daarbij om concrete maatregelen, de bijbehorende potentiële emissiereductie en een indicatie van de kostprijs. Met dit overzicht kunnen de kosten van het reduceren van emissies per kg NH₃ worden berekend. Daarmee kan vervolgens worden bepaald bij welk heffingstarief het nemen van maatregelen aantrekkelijk wordt.

Systeem en afbakening

Voor het opleggen van een heffing op emissies boven een bepaalde basis, krijgt elk bedrijf een heffingsvrijstelling. Die vrijstelling is gebaseerd op het aantal dieren per diersoort, vermenigvuldigd met de landelijk gemiddelde emissie van de betreffende diersoort in het basisjaar. Bij gebruik van de gemiddelde emissie van elke diersoort in het basisjaar worden voorlopers niet gestraft, maar achterblijvers wel. Naar gelang het ambitieniveau wordt de norm per diersoort jaarlijks met een percentage verminderd. De hoogte van de heffing wordt bepaald op basis van een gemiddelde prijs van het nemen van maatregelen om de emissie te verlagen. De heffing zou daarmee zo hoog moeten zijn dat het aantrekkelijker is om maatregelen te nemen dan om de heffing te betalen. Als na verloop van tijd de kosten van maatregelen stijgen omdat het 'laaghangend fruit' al is geplukt, dan zouden de heffingen eventueel ook naar boven kunnen worden bijgesteld.

Om de heffing te kunnen opleggen zouden bedrijven jaarlijks een emissie-aangifte moeten doen, waarin het aantal dieren per categorie per bedrijf is opgenomen en de maatregelen die voor elk van die diercategorieën zijn genomen. Voor die maatregelen zou dan een forfaitaire afslag moeten worden bepaald. De hoogte daarvan kan worden gebaseerd op de emissiereductie die verderop in deze notitie wordt beschreven.

Voor de emissie van ammoniak geldt dat ongeveer de helft van de emissies uit de stalemissies bestaat (51,9 kton op een totaal van 111 kton). De overige emissies komen vrij bij mestaanwending (40,4 kton) en kunstmestgebruik (9,0 kton) en overig (9,7 kton). In het systeem van een emissieheffing is het meenemen van emissies bij aanwending van dierlijke mest en kunstmest erg ingewikkeld. Mest wordt verhandeld en komt daarmee op verschillende plaatsen terecht. De vraag ontstaat daarbij aan wie de emissie zou moeten worden toegerekend. Bovendien zou een heffing op het gebruik van dierlijke mest een verschuiving naar het gebruik van kunstmest in de hand kunnen werken. Tenslotte lijkt er maar beperkt emissiereductie mogelijk op aanwending van dierlijke mest. Om bovengenoemde reden lijkt het niet wenselijk om de emissieheffing ook in te voeren op het aanwenden van meststoffen.

Ook emissies vanuit externe opslag sluiten we daarmee uit van deze heffing. Ook hier geldt dat het risico op afwenteling (verplaatsing van opslag) groot is en de emissiereductie beter kan worden bereikt door het aanscherpen van regels voor zover mogelijk.

Om bovengenoemde redenen kiezen we ervoor om in deze notitie te focussen op emissies vanuit de stal. Dat sluit ook aan bij de optie om in de toekomst de emissies te bepalen door bedrijfsspecifieke metingen, die uitsluitend op stalniveau beschikbaar zijn.

Maatregelen

In het WUR-rapport WUR-rapport 'Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken¹⁶' wordt een (vrijwel) volledige lijst met maatregelen uitgewerkt en uitgebreid beschreven.

¹⁶ Mosquera, J., A.J.A. Aarnink, H. Ellen, H.J.C. van Dooren, R.A. van Emous, J. van Harn en N.W.M. Ogink, 2017. Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken. Geactualiseerde versie 2017. Wageningen, Wageningen Livestock Research, rapportnr. 645.

In deze notitie geven we uitsluitend de meest kansrijke maatregelen weer die een substantiële bijdrage kunnen leveren aan de emissiereductie. Daarbij kiezen we tevens voor maatregelen die controleerbaar (en handhaafbaar) zijn. Een overzicht van deze maatregelen, de (deel)sector waarvoor ze geschikt zijn, de potentiële emissiereductie op stalniveau, de hardheid van (of ervaring met) dit reductiepercentage, de controleerbaarheid en manier van controleren en eventuele bijeffecten, zijn opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1: Maatregelen en reductiepotentieel

Maatregel	Effect (WUR) reductie stalem.	Ervaring	Controleerb	Controle	Prijsindicatie per kg NH3
Melkveehouderij					
1 Emissiearme huisvesting (RAV)					5-7 euro
a Categorie A (frequent afvoeren naar de kelder en reductie luchtuitwisseling)	6-54% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
b Categorie B (cat. A aangevuld met verlagen ammoniumconcentratie urine en mest)	21-22% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
c Categorie C (cat. A aangevuld met verschuiven evenwicht ammoniak en ammonium)	15-54% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
d Categorie D (frequent afvoeren naar de kelder en verschuiven evenwicht ammoniak en ammonium)	46% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
e Categorie E (frequent afvoeren naar de kelder en verlagen ammoniumconcentratie en reductie besmeur)	22-29% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
f Categorie F (verlagen ammoniumconcentratie urine en mest)	22% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
g Categorie G (reductie besmeurd oppervlak)	56% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
h Categorie H (nageschakelde technieken)	61% RAV		+	aanwezigheidscontrole icm logger	
2 Verdunnen van mest met water	15-25%			+ mestmonsters	9 euro
3 Weidegang	5-20%	veel	+/-	weidepoortjes, registratie	geen kosten
4 Kelderluchtbehandeling	15-45%	weinig	+/-	afvoer luchtwaswater	5 euro
5 Voermanagement	10-20%	veel		+ ureumgetal melk	geen kosten
Varkenshouderij					
6 Emissiearme huisvesting (RAV)					tot 4 euro
a Categorie A (mest en urine scheiden of frequent verwijderen van de mest)	52-71% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
b Categorie B (verlagen temperatuur van de mest)	20-75% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
c Categorie C (verlagen pH van de mest)	47-74% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
d Categorie D (verlagen ammoniumconcentratie mest)	57-78% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
e Categorie E (reductie besmeurd oppervlak)	33-75% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
f Categorie F (nageschakelde technieken)	70-95% RAV		+	aanwezigheidscontrole icm logger	
7 Verdunnen van mest met water	45%			+ mestmonsters	1 euro
8 Drijvende ballen in de mestkelder	29%		++	aanwezigheidscontrole	1 euro
9 Koeling van de mestkelder	44-75%		+/-	loggen mesttemperatuur	9 euro
10 Voermanagement					
a verlagen eiwitgehalte in het voer	10-30% RAV B2				1-2 euro
b voeradditieven	16-40% RAV B2				20-27 euro
Pluimveehouderij					
11 Emissiearme huisvesting (RAV)					tot 10 euro
a Categorie A (mestdrogen)	12-94% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
b Categorie B (frequent verwijderen van mest)	56-76% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
c Categorie C (mestdrogen en frequent verwijderen)	64-94% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
d Categorie D (mestkoelen)	44% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
e Categorie E (reductie besmeurd oppervlak)	13-25% RAV		++	aanwezigheidscontrole	
f Categorie F (nageschakelde technieken)	70-90% RAV		+	aanwezigheidscontrole icm logger	
12 Conditionering inkomende lucht via warmtewisselaar en warmtepomp	30-65%				50 euro
13 Voermanagement					
a verlagen aminozuren en ruw eiwitgehalte	10-20%	stopperslijst			
b verlagen eiwit en aanvulling vrije aminozuren	25%	stopperslijst			
c verfijning fase voeding	20-22%	stopperslijst			
14 snijmaaisilage als strooisel	43% RAV B2				1 euro

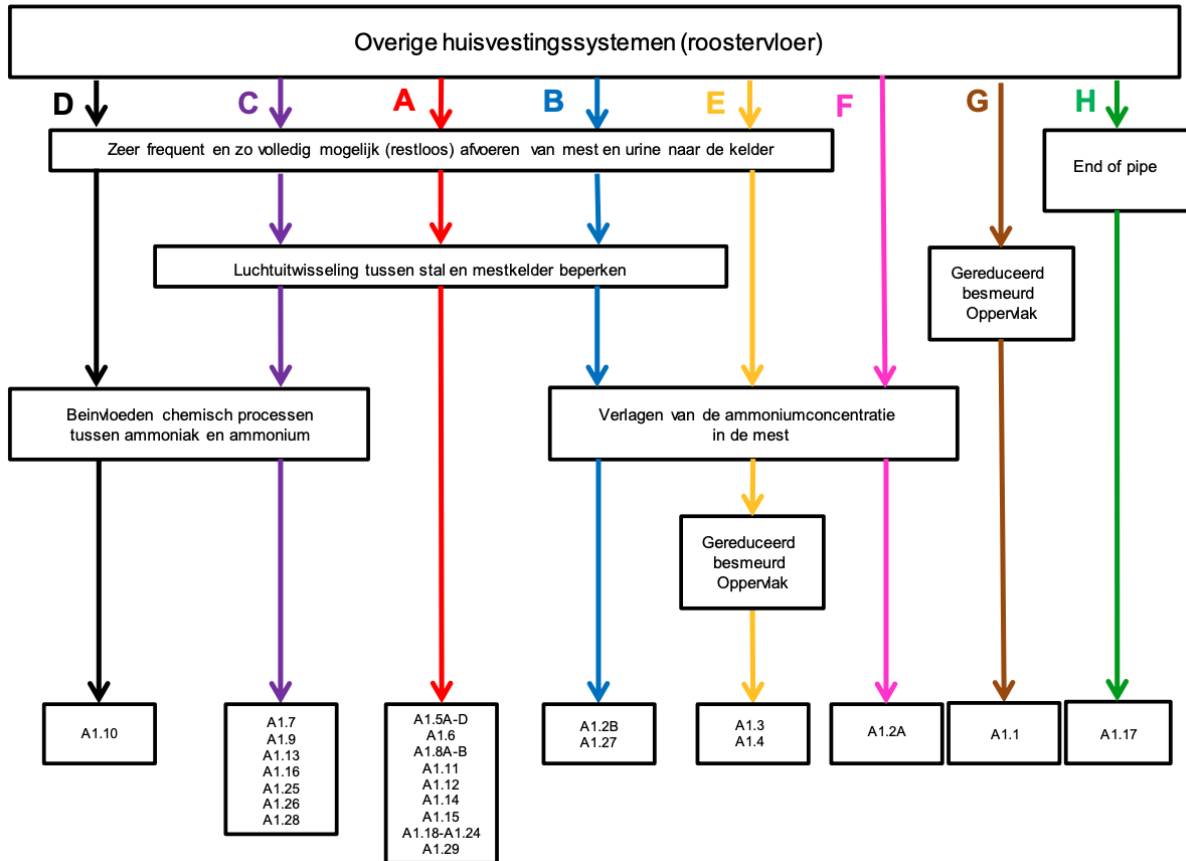
Onderstaand werken we de maatregelen verder uit. We doen dat op hoofdlijnen; voor details verwijzen we naar het bovengenoemde WUR-rapport. Het is goed om vooraf op te merken dat maatregelen doorgaans niet bij elkaar kunnen worden opgeteld. Is bijvoorbeeld eenmaal een emissiearme stal in gebruik genomen, met een emissiereductie van 50%, dan zullen alle extra emissiereducties in die stal nog slechts de helft van het effect hebben van de reductie in een traditionele stal. Bij het plaatsen van een luchtwasser met 95% emissiereductie hebben alle andere maatregelen feitelijk nauwelijks meer aanvullend effect op de NH3-emissie.

Melkvee

- **Huisvesting**

In de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) zijn diverse huisvestingsmaatregelen opgenomen met verschillende emissiereductieprincipes. In onderstaande figuur worden de verschillende typen huisvestingssystemen weergegeven. Onder de figuur geven we per type een korte beschrijving. Doordat al deze huisvestingstypen al in de Rav zijn

vastgelegd, zijn ook de emissiereductiepotentiëlen duidelijk en vastgelegd. Hierbij kan voor het bepalen van de hoogte van de afslag bij een emissieheffing worden aangesloten. We werken in deze notitie niet alle subtypen uit; deze staan beschreven in het voornoemde rapport. Het bestaan van veel subtypen huisvestingssystemen verklaart de soms brede range van emissiereductie die is weergegeven in Tabel 1.



- o Voor emissiearme huisvesting ligt de focus bij veel stalsystemen op maatregelen van categorie A uit de RAV-bijlage. Deze maatregelen betreffen zeer frequent en zo volledig mogelijk (restloos) afvoeren van mest en urine naar de kelder in combinatie met een beperking van de luchtuitwisseling tussen stal en mestkelder. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 6-54% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen. Alle maatregelen schrijven een mestschuif voor die meestal minimaal 1 keer per uur of 1 keer per 2 uur de vloer moet schoonschuiven. Ook een mestrobot is in veel gevallen toegestaan. Aan de uitvoering of effectiviteit van de mestschuif worden echter geen eisen gesteld.
- o Maatregelen van categorie B uit de RAV-bijlage hebben aanvullend op categorie A nog het verlagen van de ammoniumconcentratie van de mest/urinemengsel. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 21-22% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- o Maatregelen van categorie C uit de RAV-bijlage hebben aanvullend op categorie A nog het verschuiven van het chemisch evenwicht tussen ammoniak en ammonium. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen

geven een emissiereductie van 15-54% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen.

- Maatregelen van categorie D uit de RAV-bijlage betreffen zeer frequent en zo volledig mogelijk (restloos) afvoeren van mest en urine naar de kelder in combinatie met het verschuiven van het chemisch evenwicht tussen ammoniak en ammonium. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 46% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- Maatregelen van categorie E uit de RAV-bijlage betreffen zeer frequent en zo volledig mogelijk (restloos) afvoeren van mest en urine naar de kelder in combinatie met het verlagen van de ammoniumconcentratie van de mest/urinmengsel en reductie van het met mest/urine besmeurde oppervlak. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 22-29% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- Maatregelen van categorie F uit de RAV-bijlage betreft het verlagen van de ammoniumconcentratie van de mest/urinmengsel. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 22% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- Maatregelen van categorie G uit de RAV-bijlage betreft reductie van het met mest/urine besmeurde oppervlak. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 56% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- Maatregelen van categorie H uit de RAV-bijlage zijn in 2018 geschrapt van de RAV-lijst voor nieuwe stallen. Het betreft reductie door reiniging van de stallucht door middel van een chemische wasser in combinatie met mechanische ventilatie. De emissiefactoren van deze huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 61% bij permanent opstallen ten opzichte van overige huisvestingssystemen.

De kosten van emissiereductie via huisvestingssystemen zijn hoog vanwege eenmalige investeringskosten. Daar staat tegenover dat daarmee een hoge langjarige emissiereductie kan worden bereikt. Een gemiddelde stal heeft per koe een emitterend oppervlak van 5,5m²

Een gemiddelde stal heeft per koe een emitterend oppervlak van 5,5 m². Een gemiddelde emissiearme vloer reduceert 5-7 kg NH₃ en kost 65-175 euro/m². Een mestschuif kost ongeveer € 420 per plaats (€ 25.000 per 60 melkkoeien). Totale kosten bedragen dan:
5,5 m² x € 65 = € 355 + schuif € 420 = € 775 voor 5 kg reductie
5,5 m² x € 175 = € 960 + schuif € 420 = € 1.380 voor 7 kg reductie

Totaal tussen ongeveer € 150-200 kg NH₃ emissiereductie. Het betreft daarbij een blijvende besparing per jaar. Bij een afschrijving in 30 jaar zouden de kosten per jaar op ongeveer 5-7 euro per kg NH₃ emissiereductie uitkomen.

- **Verdunnen van mest met water**

Verdunnen van mest met water zorgt voor het verlagen van de ammoniumconcentratie, waardoor de emissie gereduceerd wordt. Verdunnen kan door een laagwater in de mestkelder toe te voegen en/of door de roosters met water te spoelen. De mate van

verdunding bepaalt het effect van de maatregel. Een halvering van de ammoniumconcentratie betekent 1 op 1 aanlengen van de mest met water. Hierdoor daalt de emissie uit de kelder met 50%. Gezien het feit dat 30-50% van de stalemissie uit de kelder komt en 50-70% vanaf de roosters, kan het gelijktijdig spoelen van de roosters de emissiereductie vergroten. Het PBL¹⁷ beschrijft dat de kosten van deze maatregel vooral voor rekening van bedrijven komen die geen toegang hebben tot oppervlaktewater. Deze bedrijven (\pm 8000) zouden een waterbassin moeten aanleggen. De kosten daarvan bedragen € 30.000 per bedrijf. De overige kosten, zoals extra aanwendingskosten door toegenomen volume vallen weg tegen de meeropbrengsten van het gras.

De kosten van mest verdunnen met water bedragen tot € 30.000 per bedrijf. Bij een emissiereductie van gemiddeld 25% op stalniveau, wordt in een stal met 100 melkkoeien zo'n $0,25 \cdot 100 \cdot 13$ kg NH₃-emissie gereduceerd, ofwel 325 kg reductie. Bij een prijs van € 30.000 komen de kosten op € 92 per kg NH₃. Het betreft daarbij een blijvende besparing per jaar. Bij een afschrijving in 10 jaar zouden de kosten per jaar op ongeveer € 9 per kg NH₃ emissiereductie uitkomen. Overigens wordt er daarbij vanuit gegaan dat er voldoende opslagcapaciteit in de kelder is. Met name in de zomerperiode (waarin door de hoge temperaturen de ammoniakemissie relatief hoog is) zal dat het geval zijn. In de winterperiode zal de opslagcapaciteit hier een beperking vormen.

- **Weidegang**

Bij weidegang neemt de ammoniakemissie uit de stal af doordat geen verse urine in de stal wordt toegevoegd en de bestaande bronnen uitgeput raken. De snelheid waarmee dat gebeurt hangt af van de bijdrage van vloer en kelder aan de ammoniakemissie. Op basis van analyse van de relatie tussen melkureum en ammoniakemissie in praktijkdata door Ogink et al. (2014) is een PAS-maatregel geformuleerd waarbij veehouders 5% reductie van de ammoniakemissie mogen inrekenen als er minstens 720 uur weidegang per kalenderjaar wordt toegepast. In Vlaanderen is een soortgelijke regeling van kracht, waarbij in vier trappen van weidegang de emissiereductie oploopt. Bij 700 uur 5%, bij 1400 uur 10%, bij 2100 uur 15% en bij 2800 uur 20%.

De kosten van weidegang zijn sterk afhankelijk van de mogelijkheden van een bedrijf. Veel studies¹⁸ geven aan dat weidegang een hoger netto bedrijfsresultaat oplevert. Weliswaar zullen de melkproductie per dier en de grasopbrengsten afnemen, maar daar staan minder kosten voor loonwerk en minder krachtvoeraankoop tegenover. Een en ander weegt in de praktijk veelal tegen elkaar op. Voor veel bedrijven kunnen we er dus vanuit gaan dat meer weidegang geen kosten met zich mee brengt. Daar staat tegenover dat er ook bedrijven zijn waar de situatie anders ligt. Bij onvoldoende huiskavel, robotmelken of andere specifieke omstandigheden is een hoog aantal uren weidegang praktisch niet haalbaar.

- **Kelderluchtbehandeling**

¹⁷ Born, G.J. van den, Lars Couvreur, Jan van Dam, Gerben Geilenkirchen, Maarten 't Hoen, Robert Koelemeijer, Marian van Schijndel, Martijn Vink en Emma van der Zanden, 2020. Analyse Stikstof-bronmaatregelen. Den Haag, PBL, Rapportnummer 4073.

¹⁸ Hoving, I.E., G.J. Holshof, A.G. Evers en M.H.A. de Haan, 2015. Ammoniakemissie en weidegang melkvee; verkenning weidegang als ammoniak reducerende maatregel. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research, Rapportnummer 856.

Bij kelderluchtbehandeling wordt de ammoniakemissie uit (natuurlijk geventileerde) stallen beperkt door een hoeveelheid lucht onder de roosters uit de mestkelder af te zuigen en met behulp van een chemisch luchtwassysteem van ammoniak te zuiveren. Voor het afvangen van de ammoniak wordt een chemisch luchtwassysteem met een verwijderingsrendement van ten minste 90% ingezet. Bijkomend voordeel van het systeem is dat de luchtkwaliteit in de stal verbeterd wordt doordat de dieren minder blootgesteld worden aan gassen uit de mestkelder. Doordat 50% van de emissie afkomstig is van de vloer zal de emissie naar verwachting beperkt afnemen. Wordt bij vleeskalveren 30-45% gerapporteerd, voor melkvee is een reductie van 15-45% te verwachten.

Onlangs bracht Lely een systeem op de markt dat mestscheiding, watersproeien en kelderluchtbehandeling combineert. Dat zou een emissiereductie van 70% van de stalemissie moeten opleveren.

De kosten van emissiereductie via dit systeem zijn hoog vanwege eenmalige investeringskosten. Daar staat tegenover dat daarmee een hoge emissiereductie kan worden bereikt. Een gemiddelde stal heeft per koe een emitterend oppervlak van 5,5m². Dit systeem reduceert 9 kg NH₃ en kost € 225-260 /m². Totale kosten bedragen dan: 5,5 m² x ± € 250 = € 1.375 voor 9 kg reductie

Totaal ongeveer € 150 kg NH₃ emissiereductie. Het betreft daarbij een blijvende besparing per jaar. Bij een afschrijving in 30 jaar zouden de kosten per jaar op ongeveer € 5 per kg NH₃ emissiereductie uitkomen. Over alleen kelderluchtbehandeling zijn (nog) geen kosten terug te vinden.

- **Voermanagement**

Voor de melkveehouderij lijkt op dit moment vooral het verlagen van het eiwitgehalte van het voer perspectief te bieden voor een verlaging van de ammoniakemissie. Daarbij geldt wel de randvoorwaarde dat de voorziening van energie en darm verteerbaar eiwit voldoende moet zijn, zodat de melk(eiwit)productie op peil blijft. Mogelijke maatregelen daarvoor zijn:

*Rantsoenmaatregelen ter beperking N uitscheiding met urine (U) of feces (F)
(naar Tamminga e.a., 2009)*

Maatregel

U: verlagen RE gehalte rantsoen

U: verhogen van benutting van verteerde ruw eiwit (eiwitvastlegging in melk en/of vlees)

U: verhogen microbiële eiwitproductie in pens

U: verminderen onnodige N verliezen in pens (minder N uitscheiding in urine)

U: vastleggen verteerd voereiwit in dikke darm

F: Optimaliseren van de pensfermentatie;

F: Verbeteren van de verteerbaarheid van het rantsoen zodat minder voer (minder eiwit) nodig is voor productie

F: Optimaliseren van het rantsoen voor maximale melkproductie;

F: Energieaanbod aan de koe verhogen door afstemmen koolhydraat- en eiwit aanbod waardoor op hetzelfde rantsoen meer melkeiwit wordt geproduceerd.

Op basis van analyse van de relatie tussen melkureum en ammoniakemissie in praktijkdata door Ogink et al. (2014) is een PAS-maatregel geformuleerd waarbij veehouders 10% reductie van de ammoniakemissie mogen inrekenen als het gemiddelde ureumgehalte van de melk in de afgelopen drie kalenderjaren gemiddeld 19 mg per 100

ml tankmelk of lager is geweest. De reductie zou mogelijk verder omlaag kunnen bij een verdere verlaging van het ureumgetal. Bij een ureumgetal van 15 mg per 100 ml tankmelk zou de emissiereductie 20% bedragen.

De kosten van het verlagen van het eiwitgehalte in het rantsoen variëren per bedrijf, evenals de effectiviteit. Proeftuin Natura2000¹⁹ meldt een reductie van 15% ammoniakemissie bij een ruw eiwitverlaging tot 15%. Daarbij was de uitgangssituatie een ruw eiwitgehalte van 16,5%. Er wordt gemeld dat er niet snel negatieve effecten te verwachten zijn voor de productie, mits de voervertering van de koe op peil blijft. De kosten zijn afhankelijk van de sturing: aanpassing in krachtvoer levert een kostenbesparing op, aanpassing in het ruwvoer brengt kosten met zich mee. Per saldo geldt ook hier dat deze maatregel voor een groot deel van de bedrijven geen kosten met zich mee hoeft te brengen.

Varkens

• Huisvesting

- Ook voor varkens ligt voor emissiearme huisvesting de focus bij veel stalsystemen op maatregelen van categorie A uit de RAV-bijlage. Bij zogenaamde A1 maatregelen betreffen de maatregelen het scheiden van mest en urine in de stal. Dat levert voor biggen een emissiereductie van 67% op, voor kraamzeugen 63% en voor vleesvarkens 63% ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- Bij A2 maatregelen wordt de mest frequent verwijderd uit de stal. Dat levert voor biggen een emissiereductie van 71%, voor zeugen 52-55% ten opzichte van overige huisvestingssystemen. Voor vleesvarkens zijn geen huisvestingssystemen op basis van deze maatregelen op de markt.
- Maatregeltype B gaat over het verlagen van de temperatuur van de mest. Dat levert voor biggen een emissiereductie van 75% op, voor kraamzeugen 71% en voor vleesvarkens 20-60% ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- In maatregeltype C wordt de pH van de mest verlaagd. Dat levert achtereenvolgens een emissiereductie op van 64-74% voor biggen, 63% voor kraamzeugen en 47-67% voor vleesvarkens.
- Maatregeltype D gaat over het verlagen van de ammoniumconcentratie van de mest. Hiermee is een reductie van 78% van de emissies te halen voor biggen, en 57% voor vleesvarkens. Er zijn geen stalsystemen met dit principe voor kraamzeugen.
- Maatregeltype E reduceert het met mest besmeurd oppervlak en levert een reductie op van 43-75% van de emissies voor biggen, 40-70% voor kraamzeugen en 33-67% voor vleesvarkens.
- Tenslotte is er maatregeltype F, die gaat over nageschakelde technieken, ofwel luchtwassers. Hiermee zijn hoge reductiepercentages te halen. Nadeel is een hoog energiegebruik. Voor chemische luchtwassers ligt de potentiële emissiereductie op 70-95%, voor biologische luchtwassers ligt dat percentage op 70-85% en bij een combinatie van beide ligt dit op 70-90% reductie.

¹⁹ <http://www.proeftuinnatura2000.nl/digitale-gereedschapskist/maatregelen-melkvee/voermagement-melkvee/verlagen-ruw-eiwit-in-rantsoen>

De kosten van de grootste emissiereductie via huisvestingssystemen zijn de kosten van een luchtwasser. De KWIN-Veehouderij²⁰ beschrijft de jaarkosten tussen € 7,- en € 12,- per dierplaats. Bij een emissiereductie van 70-95% leveren die investeringen tot $0,95 \times 3,0 = 2,85$ kg NH₃ emissiereductie op. De kosten bedragen daarmee € 12,-/2,85 = ± € 4,21 per kg NH₃ reductie.

- **Verdunnen van mest met water**

Het verdunnen van de mest met water zorgt evenals bij melkvee voor het verlagen van de ammoniumconcentratie, waardoor de emissie gereduceerd wordt. Verdunnen kan door telkens na het afdalen van de mest, de kelder voor de helft te vullen met water. De verwachting is dat dit systeem de ammoniakemissie uit de kelder met ongeveer 65% zal verminderen. Op stalniveau is dit ongeveer 45% emissiereductie.

De kosten van mest verdunnen met water is niet specifiek beschreven voor varkensbedrijven. Maar nemen we dezelfde kosten als uitgangspunt als voor melkveebedrijven dan bedragen die tot € 30.000 per bedrijf. Bij een emissiereductie van gemiddeld 45% op stalniveau, wordt in een stal met 2000 vleesvarkens zo'n $0,45 \times 2000 \times 3,0$ kg NH₃-emissie gereduceerd, ofwel 2700 kg reductie. Bij een prijs van € 30.000 komen de kosten op € 11,- per kg NH₃. Het betreft daarbij een blijvende besparing per jaar. Bij een afschrijving in 10 jaar zouden de kosten per jaar op ongeveer € 1,10 per kg NH₃ emissiereductie uitkomen. Overigens wordt er daarbij vanuit gegaan dat er voldoende opslagcapaciteit in de kelder is. Met name in de zomerperiode (waarin door de hoge temperaturen de ammoniakemissie relatief hoog is) zal dat het geval zijn. In de winterperiode zal de opslagcapaciteit hier een beperking vormen.

- **Drijvende ballen in de mestkelder**

Het gebruik van (balans)ballen van gladde kunststof in de kelder, waaraan zo min mogelijk mest hecht, zorgt voor een kleiner emitterend mestoppervlak. Daardoor wordt de emissie van ammoniak uit de kelder gereduceerd. Deze maatregel is opgenomen in de RAV en levert een emissiereductie van 29%.

De meerprijs van balansballen is volgens de KWIN-veehouderij ± € 1,- per vleesvarkensplaats per jaar. De emissiereductie bedraagt $29\% \times 3,0$ kg/dierplaats = 0,87 kg NH₃. Totale kosten per kg NH₃ zijn daarmee € 1/0,87 = € 1,15.

- **Koeling van de mestkelder** zorgt ervoor dat de processen van ammoniakvorming en -emissie uit de mest worden geremd. Het koelen van de mest kan op verschillende manieren worden uitgevoerd door warmte uit de mest te onttrekken.

- Door inzet van grondwater. De warmte zou daarna gebruikt kunnen worden om andere delen van de stal/boerderij te verwarmen.
- Door gebruik van een warmtewisselaar in de keldervloer.
- Door koelelementen in de ventilatieopeningen om binnenkomende lucht te koelen en de staltemperatuur te verlagen.

Koeling zoals in het eerste punt genoemd is op verschillende manieren in de RAV opgenomen. Hierin wordt een emissiereductie van 44-54% genoemd voor vleesvarkens, 48% voor drachtige zeugen en 75% voor biggen.

²⁰ KWIN-Veehouderij, editie 2020-2021.

Kosten van een mestkoelsysteem zonder warmtepomp vraagt een investering van ongeveer € 49,- per vleesvarkensplaats en jaarkosten (incl. energie, het energiegebruik van het koelsysteem bedraagt 15-30 kWh per vleesvarkensplaats per jaar) van € 8,- per vleesvarkensplaats. Het koelstelsel is 25-50% duurder. Rekenen we met een emissiereductie van 50%, dan bedragen de kosten bij een afschrijving van het systeem in 10 jaar ongeveer € 5,- investering en € 8,- onderhoud per jaar. Totaal ongeveer € 13,- voor een reductie van 50% x 3,0 kg/dierplaats = 1,5 kg NH₃. Per kg NH₃ bedragen de kosten dan ongeveer € 8,70.

- **Voermanagement**

Sturen op eiwit

Ook in de varkenshouderij kan met behulp van voermanagement worden gestuurd. Bij het verlagen van het eiwitgehalte in het voer worden emissiereducties gevonden van 10-12,5% bij elke 10 g/kg verlaging van het eiwitgehalte in het voer. Bij biggen en zeugen is het effect vergelijkbaar. Mits in de behoefte van essentiële aminozuren wordt voorzien levert deze verlaging van de eiwitgift geen negatieve effecten voor productie of groei op.

De kosten van deze maatregel staan beschreven in een factsheet van het project Proeftuin Natura2000 Overijssel²¹ en verschillen tussen biggen, zeugen en vleesvarkens.

Voor biggen gelden de volgende kosten:

10% reductie (-10 g eiwit tov ref. 180 g/kg eiwit) kosten -€ 0,17 voor 0,10 x 0,69 kg NH₃ = -€ 2,46/kg NH₃

20% reductie (-20g eiwit tov ref. 180 g/kg eiwit) kosten +€ 0,01 voor 0,20 x 0,69 kg NH₃ = € 0,07/kg NH₃

30% reductie (-30g eiwit tov ref. 180 g/kg eiwit) kosten +€ 0,12 voor 0,30 x 0,69 kg NH₃ = € 0,58/kg NH₃

Voor vleesvarkens gelden de volgende kosten:

15% reductie (-15g eiwit tov ref. 165 g/kg eiwit) kosten -€ 1,38 voor 0,15 x 3,0 kg NH₃ = -€ 3,06/kg NH₃

30% reductie (-30g eiwit tov ref. 165 g/kg eiwit) kosten +€ 1,97 voor 0,30 x 3,0 kg NH₃ = € 2,18/kg NH₃

Voor guste en dragende zeugen gelden de volgende kosten:

10% reductie (-10g eiwit tov ref. 135 g/kg eiwit) kosten +€ 0,47 voor 0,10 x 4,2 kg NH₃ = € 1,12/kg NH₃

20% reductie (-20g eiwit tov ref. 135 g/kg eiwit) kosten +€ 1,46 voor 0,20 x 4,2 kg NH₃ = € 1,74/kg NH₃

Voor lacterende zeugen gelden de volgende kosten:

8% reductie (-8g eiwit tov ref. 158 g/kg eiwit) kosten +€ 4,35 voor 0,08 x 8,3 kg NH₃ = € 6,55/kg NH₃

12% reductie (-12g eiwit tov ref. 158 g/kg eiwit) kosten +€ 21,56 voor 0,12 x 8,3 kg NH₃ = € 21,65/kg NH₃

De kosten van het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het voer in de bovengenoemde hoeveelheden heeft geen negatieve effecten op de productie of groei, mits in de behoefte van essentiële aminozuren wordt voorzien. Bij een reductie van 10-15% eiwit treedt bij biggen en vleesvarkens een kostenbesparing op. Bij hogere reductie zijn de kosten bij biggen, vleesvarkens en guste en dragende zeugen nog steeds aanzienlijk lager dan veel investeringen. Echter, het betreft hier managementmaatregelen in een traditionele stal. Als er al een emissiereducerende stal is gerealiseerd worden de reducties als gevolg van voermaatregelen ook minder. Is bijvoorbeeld sprake van een stal met een emissiereductie van 50%, dan wordt voor de genoemde bedragen ook maar de helft van de reductie gehaald uit voermaatregelen.

²¹ https://agriconnect.nl/system/files/documenten/boek/wetenschappelijke_factsheet_verlagen_eiwitgehalte_2.pdf

Voeradditieven

Het toevoegen van benzoëzuur is als voermaatregel opgenomen in de stoppersregeling voor zowel biggen (5 g/kg) als vleesvarkens (10 g/kg). Benzoëzuur geeft verzuring van de urine en daarmee van de mengmest, waardoor ammoniak minder snel vervluchtigt. Met deze maatregel wordt zowel de emissie vanaf de roostervloer als vanuit de mestkelder worden gereduceerd. Het effect van het gebruik bij vleesvarkens is 15%, bij biggen is de verwachting dat het effect vergelijkbaar is. De maatregel is relatief duur, maar levert naast emissiereductie ook een verbetering van de groei en voerconversie. De kosten van additieven zijn door Proeftuin Natura2000 Overijssel²² beschreven. € 1,84 per 10% emissiereductie voor biggen en € 6,21 per 10% reductie voor vleesvarkens. Dat komt overeen met $€ 1,84 / (0,1 * 0,69) = € 27,-$ per kg NH₃ voor biggen en $€ 6,21 / (0,1 * 3,0) = € 20,70$ per kg NH₃ voor vleesvarkens.

Kippen

- **Huisvesting**

Ook in de pluimveehouderij ligt de focus op emissiearme huisvestingssystemen. Daarbij zijn de maatregelen opgedeeld in 6 groepen.

- Maatregelen van categorie A uit de RAV-bijlage sturen op snelle droging van de mest, waardoor de afbraaksnelheid van urinezuur en organisch gebonden stikstof worden beperkt. Dat verlaagt de ammoniakemissie uit de stal aanmerkelijk met 12-82% ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- Maatregeltype B gaat over het frequent verwijderen van de mest. Dat levert een emissiereductie van 56-76% ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- In maatregeltype C worden de maatregelen van type A en type B gecombineerd. Dat levert 64-94% emissiereductie op.
- Maatregeltype D gaat over het koelen van de mest. Hiermee is een reductie van 44% van de emissies worden gehaald.
- Maatregeltype E reduceert het met mest besmeurd oppervlak en levert een reductie op van 13-35% van de emissies ten opzichte van overige huisvestingssystemen.
- Tenslotte is er maatregeltype F, die gaat over nageschakelde technieken, ofwel luchtwassers of biofilters. Hiermee zijn hoge reductiepercentages te halen van 70-90%. Nadeel van luchtwassers is het hoge energiegebruik.

De basis jaarkosten per dierplaats per jaar staan voor de verschillende pluimveesoorten beschreven in de KWIN-Veehouderij. Daarbij staan voor de verschillende emissiereducerende systemen de meerprijzen genoemd. Daarbij geldt voor een luchtwasser met een reducerende werking van 90% een meerprijs van € 1,21 per dierplaats per jaar voor leghennen. Voor bestaande stallen gelden normen tot 0,125 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Bij een investering van € 1,21 per dierplaats wordt $0,9 \times 0,125 = 0,1125$ kg NH₃ gereduceerd. Dat komt overeen ruim € 10,- per kg NH₃. Er zijn ook goedkopere systemen, met een lagere emissiereductie.

²² https://agriconnect.nl/system/files/documenten/boek/wetenschappelijke_factsheet_toevoegen_benzoeezuur.pdf

- **Conditionering inkomende lucht**

Door de inkomende buitenlucht door middel van een warmtewisselaar te koelen of verwarmen naar de optimale staltemperatuur, is er minder ventilatiedoorstroom nodig in de zomer. Die verlaagde luchtdoorstroom resulteert in een vermindering van de ammoniakemissie. Naast een verbetering van groei en voerconversie laten onderzoeken een reductie in ammoniakemissie zien van 30-65%. Ook neemt de emissie van fijnstof af. Deze maatregel zal daarom niet uitsluitend genomen worden om de ammoniakemissie te reduceren.

De investeringskosten van het systeem (een combinatie van een warmtewisselaar en een warmtepomp) zijn hoog, maar door warmteopslag in de grond is wel te besparen op energiekosten en is de investering terug te verdienen. De kosten per jaar bedragen volgens de KWIN-Veehouderij voor een vleeskuikenbedrijf € 0,47 per vleeskuikenplaats. Uitgaande van 0,045 kg NH₃ per dierplaats is een emissiereductie van gemiddeld 45% dan ± 0,02025 kg NH₃ per dierplaats. De kosten zijn dan ± € 50,- per kg NH₃.

- **Voermanagement**

Sturen op eiwit

Ook in de pluimveehouderij is te sturen op het reduceren van (ruw)eiwit en/of aminozuurgehalten in het rantsoen. Met name in de vleeskuikenhouderij is hier winst te behalen. Proeftuin Natura2000 Overijssel schrijft dat het verlagen van het ruweiwitgehalte in het voer met 20g/kg een emissiereductie van 25% ammoniak kan opleveren.

Kosten: niet in literatuur beschreven.

Additieven

Het toevoegen van additieven aan het voer kan bijdragen aan verminderen van de ammoniakemissie. Bekend is één onderzoek waarbij gistcultuur is toegevoegd. Dit leidde tot een emissiereductie van 44%.

Kosten: niet in literatuur beschreven.

Verfijning fasevoeding

Door de behoefte en aanbod van eiwit en aminozuren beter af te stemmen op de groeicurve van vleeskuikens is de uitscheiding van urinezuur te verminderen. Dit vermindert de kans op vorming van ammoniak. Met zes in plaats van vier voerfasen kan een emissiereductie van 20% ammoniak worden bereikt. Positief bijeffect is een betere diergezondheid.

Volgens Proeftuin Natura2000 Overijssel zijn de kosten van deze maatregel beperkt; de afzetkosten van mest vallen lager uit.

- **Overig management**

In de RAV worden naast huisvestingssystemen ook managementmaatregelen genoemd om de emissie van NH₃ te reduceren. Door het gebruik van snijmaïssilage als strooisel in de stal in plaats van houtkrullen, wordt een lagere pH gerealiseerd, waardoor de vorming van ammoniak uit ureum en urease uit de mest in het strooisel wordt tegengegaan. Deze maatregel resulteert in een emissiereductie van 43%.

De kosten voor deze maatregelen hangen samen met de kosten van snijmais. Bij een prijs van € 0,34 per kg bedragen de kosten bij 900 gram/m² dus € 0,306/m². Uitgaande van 14 vleeskuikens per m² bedraagt de emissie per m² $14 \times 0,045 = 0,63$ kg NH₃. Een emissiereductie van 43% is dan ± 0,27 kg NH₃. De kosten zijn dan € 1,13 per kg NH₃.

Overige maatregelen

In bovenstaande tekst staan 'harde' maatregelen uitgewerkt, maatregelen die controleerbaar zijn doordat er zichtbare investeringen zijn gedaan, danwel dat er registraties zijn van rantsoenen en dergelijke. Naast deze 'harde' maatregelen zijn er ook nog 'zachtere' maatregelen mogelijk. Het gaat dan bijvoorbeeld om het beter schoonhouden van de stalvloer door de mestrobot vaker te laten rijden of de vloer vaker te schuiven. Dit soort maatregelen zijn als forfaitaire maatregel minder makkelijk te controleren. In combinatie met stalmetingen vormen deze maatregelen een aanvullende mogelijkheid om de emissies op bedrijven controleerbaar te reduceren.

Analyse

Bij een groot deel van de maatregelen liggen de kosten rond de € 5,- of lager. Maatregelen die duurder zijn hebben doorgaans meer positieve bijeffecten, of zorgen voor een maximale ammoniakemissiereductie. Daarbij zijn er ook duidelijk verschillen tussen sectoren. Een emissiereductie van 95% met een luchtwasser kost in de varkenshouderij ongeveer € 4,- per kg NH₃, in de pluimveehouderij is dat ongeveer € 10,- per kg NH₃.

Belangrijk is om bij de emissiereductie te kijken naar de huidige gemiddelde emissie. De berekende emissiereductie is namelijk gebaseerd op traditionele stallen. Er is echter in de afgelopen jaren al fors geïnvesteerd in emissiearme stallen en andere maatregelen, dus een deel van de genoemde emissiereductieopties zal al verzilverd zijn. Zo is de ammoniakemissie vanuit stallen en mestopslag in de varkenshouderij sinds 1990 gedaald van 49,2 kton/jaar naar 12,0 kton/jaar in 2018. In de melkveehouderij was deze daling aanzienlijk minder: van 33,4 naar 32,3 kton/jaar. De laatste daling van emissies uit stallen en mestopslag in de veehouderij van 57,1 kton in 2017 naar 54,9 kton in 2018 wordt door Van Bruggen et al (2020)²³ ook deels toegeschreven aan de toename in het aantal emissiearme stallen. In deze rapportage worden de implementatiegraden van de verschillende huisvestingssystemen per sector beschreven.

Om de vrijstelling per bedrijf goed te kunnen vastleggen, is een onderverdeling in diercategorieën nodig. Als voorbeeld is dit in onderstaand overzicht uitgewerkt voor de rundveehouderij en enkele andere grote sectoren. Per diercategorie wordt een gemiddelde emissie bepaald. Aan de hand van bovenstaand maatregelenoverzicht is in tabel 'reductie%' een indicatie gegeven van een realistisch reductiepercentage op basis van maatregelen die kunnen worden genomen.

²³ Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof en J. Vonk, 2020. Emissies naar de lucht uit de landbouw 1990-2018. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu (WOT), rapport nr. 178.

Subsector	NH3-uitstoot in kton stal in 2018	Dieren in dec 2018 (CBS)	Uitstoot gemiddeld per dierplaats (kg) (=vrijstelling)	Norm per dierplaats (kg)	Reductie%	Uitstoot sector na reductie in kton
Rundveehouderij						
<i>Melkkoeien</i>	21,1	1.621.910	13,0	13,0		
<i>jongvee</i>	5,0	1.032.060	4,9	4,4		
<i>vleeskalveren</i>	4,3	1.017.060	4,2	3,5		
<i>Jongvee voor vlees</i>	0,7	170.290	4,3	3,5		
Varkens						
<i>Vleesvarkens</i>	8,6	5.630.910	1,5	3,0		
<i>Fokvarkens</i>	3,1	1.146.240	2,7	8,3		
Pluimvee						
<i>Leghennen</i>	5,9	47.302.100	0,13	0,17		
<i>Vleeskuikens</i>	0,8	48.971.100	0,016	0,068		
<i>Kalkoenen</i>	0,5	556.400	1,0	0,68		
Overig	3,4					
Totaal	55					

Als we de berekende gemiddelde uitstoot per dierplaats (berekend uit de totale emissie uit de stal van die diercategorie gedeeld door het aantal dieren) vergelijken met de norm per dierplaats (uit de RAV), zien we verschillen die we niet volledig kunnen verklaren. Zo is de norm voor melkvee 13,0 kg per dierplaats. Dit veronderstelt een traditionele stal, zonder weidegang. In praktijk heeft een deel van de bedrijven emissiearme huisvesting, en wordt een groot deel van de koeien geweid. Hierdoor nemen de emissies per dierplaats af. De uitstoot gemiddeld per dierplaats zou dus lager moeten zijn dan 13 kg. Dit zien we echter niet terug in de tabel. Mogelijk is dit verschil terug te leiden tot het verschil in dierplaatsen, zoals dat door NEMA wordt gebruikt en werkelijke dieraantallen op bedrijven, die in de praktijk vaak wat lager liggen.

Uit het overzicht hoe de landelijke ammoniakemissie en de emissie per bedrijf kan worden bepaald, blijkt dat de onzekerheden in de berekende waarden van stal en mestopslagen (NEMA) 20% bedraagt. Ook dit kan een oorzaak zijn van de discrepanties die we waarnemen tussen de norm en de berekende uitstoot per dierplaats. Om daadwerkelijk een ammoniakemissieheffing aan de marge te gaan invoeren, is het belangrijk meer duidelijkheid te hebben hoe de landelijke berekeningen zich verhouden tot de individuele stalemissies. Zo'n heffing veronderstelt namelijk dat nauwkeurig kan worden vastgesteld wat de emissie van het bedrijf is, als grens waarboven een heffing wordt doorgevoerd.