



---

# Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen

Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, K. Blanken, N.W.M. Ogink

Rapport 1304



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen

Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, K. Blanken, N.W.M. Ogink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het beleidsondersteunend onderzoek, thema 'Mest en Milieu' (projectnummer BO-20-004-093-WLR-6), door ZuivelNL en door LTO Noord Fondsen.

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, September 2022

---

Openbaar

Rapport 1304

---

Dooren, H.J.C. van, K. Blanken, N.W.M. Ogink, 2022. *Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen; Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1304.

**Samenvatting:**

Door in een afdeling voor 16 melkkoeien, meerdere keren per dag ca. 10 liter water per m<sup>2</sup> loopoppervlak toe te dienen over een roostervloer, werd de ammoniakemissie met 37-40% verlaagd ten opzichte van een referentieafdeling waar geen water werd gebruikt. Frequent schuiven van de roostervloer droeg niet extra bij aan de emissiereductie. Als al het water in één keer in een vrijwel lege kelder wordt gebracht daalt de emissie echter nauwelijks (7%). De reductie door het frequent spoelen van de roosters wordt veroorzaakt door het lagere ammoniumgehalte op de vloer en in de toplaag van de mest in de kelder. Het water werd toegediend met een sproeisysteem dat onder het voerhek net boven de roostervloer was gemonteerd. Toevoeging van water kan ook bij uitrijden van de mest verdere emissiereductie geven maar vraagt wel om meer opslagcapaciteit van zowel regenwater als mest.

**Summary:**

Frequent application of around 10 liter water per m<sup>2</sup> concrete slatted floor per day resulted in reduced ammonia emission of 37-40% from a unit for 16 dairy cows compared to a reference situation without the use of water. Frequent scraping of the floor did not result in further emission reduction. When the total amount of water was applied to the slurry in the pits at once the emission was only reduced with 7%. The emission reduction was caused by a decrease of the ammonia concentration on the floor and in the top layer of the slurry in the pits. Water was frequently applied with a nozzle system mounted at one side of the walking alley just above the floor. When these amounts of water are applied extra slurry storage capacity is needed but additional emission reduction can be achieved during application of the diluted slurry onto the field.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/544640> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2022

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

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

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

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

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1304

---

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
	1.1 Aanleiding en belang voor de melkveehouderij	7
	1.2 Overzicht bestaande literatuur	8
	1.3 Doel	9
	1.4 Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>Opzet en uitvoering</b>	<b>10</b>
	2.1 Experimentele opzet	10
	2.2 Beschrijving meetlocatie Dairy Campus	11
	2.3 Beschrijving spoel- en schuifinstallatie	12
	2.4 Ammoniakemissie	13
	2.4.1 Ventilatie	13
	2.4.2 Ammoniakconcentratie	13
	2.4.3 Binnenklimaat	13
	2.5 Emissieberekening	13
	2.6 Diergegevens	14
	2.7 Overige waarnemingen	14
	2.8 Statistische analyse	15
<b>3</b>	<b>Resultaten en discussie</b>	<b>16</b>
	3.1 Spoelwatergebruik en mesthoogte	16
	3.2 Diergegevens	17
	3.3 Ammoniakemissie	17
	3.4 Mestsamenstelling	18
	3.5 Zuurgraad van vloer en mest in kelder	19
	3.6 Plasgrootte	19
	3.7 Discussie	20
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>22</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>23</b>

---

---

# Samenvatting

Ammoniakemissie veroorzaakt schade aan kwetsbare natuur en is in veel gevallen een belemmerende factor voor bedrijfsontwikkeling in de melkveehouderij.

De melkveehouderij is verantwoordelijk voor ongeveer de helft (46%) van de ammoniakemissie veroorzaakt door landbouwhuisdieren (veehouderij) en daarvan weer de helft (48%) is afkomstig uit mest in stallen. Hoewel de ammoniakemissie uit melkveestallen sinds 2017 weer gedaald is met 12% in 2021 is dit een stijging van 22% ten opzichte van 2010.

De melkveehouderij heeft daarom behoefte aan maatregelen om de ammoniakemissie verder te reduceren. Het meest effectief voor de hele sector zijn de maatregelen die eenvoudig toepasbaar zijn in zowel bestaande stallen met een gewone roostervloer als in bestaande stallen waar een emissie-arme vloer wordt toegepast. Door verschillende bronnen wordt verdunnen van urineplassen op de vloer en van drijfmest in de kelder beschreven als een maatregel waarmee de ammoniakemissie uit de stal verminderd kan worden. Het meest voor de hand liggend is daarbij water te gebruiken al is het niet de enige mogelijkheid. Het verdunnen van mest met water is dus geen nieuw idee of maatregel en ook in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) zijn systeembeschrijvingen (in verschillende varianten) opgenomen waarbij de vloer gespoeld wordt met water. Alleen systeem A1.2 met een emissiefactor van 10,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar is toepasbaar bij een roostervloer en kent een voorgeschreven minimaal watergebruik van 10 liter per m<sup>2</sup>.

In de jaren negentig van de vorige eeuw is al verschillende keren onderzoeken gedaan naar het effect van spoelen met water op de ammoniakemissie van een roostervloer voor melkvee en daarmee verdunnen van de mest in de kelder daaronder. De gebruikte meetmethoden en de behaalde resultaten verschillen echter aanzienlijk. De emissiefactor voor een spoelsysteem op de huidige bijlage 1 van de Rav die daarop gebaseerd is ligt hoger dan de maximale emissiewaarde die in het Besluit emissiearme huisvesting (Beh) wordt aangegeven. De maatregel wordt mede daardoor niet of nauwelijks meer toegepast. Een andere reden om deze maatregel niet toe te passen is de toename van het mestvolume door het gebruik van forse hoeveelheden water. Gecombineerd met een toegenomen verplichte opslagduur tot 7 maanden betekent dit voor veel melkveehouders een extra investering in opslagcapaciteit.

De hernieuwde belangstelling voor het effect van gebruik van water op de ammoniakemissie uit melkveestallen komt door de behoefte aan extra maatregelen met een breed perspectief voor de melkveehouderij die relatief eenvoudig zijn toe te passen. Daarnaast is gebleken dat bij het uitrijden van met water verdunde drijfmest ook emissiewinst te behalen valt (Huijsmans *et al.*, 2017).

Het doel van het onderzoek is het bepalen van het effect van gebruik van water en roosterschuif op de ammoniakemissie uit een melkveestal.

De uitvoering van het onderzoek heeft plaatsgevonden op Dairy Campus. Dairy Campus beschikt over faciliteiten voor het bepalen van de ammoniakemissie onder gecontroleerde omstandigheden. Deze faciliteiten bestaan uit vier afdelingen voor 16 dieren die mechanisch geventileerd worden. De in totaal 64 melkgevende dieren zijn zo over de afdelingen verdeeld dat er vergelijkbare groepen ontstonden wat betreft leeftijd, aantal lactaties, lactatiestadium, melkproductie en melkureumgetal.

Om het effect van het gebruik van water op de ammoniakemissie in een melkveestal te bepalen is een opzet gekozen waarbij drie behandelingen in twee ronden vergeleken zijn met een referentieafdeling zonder behandelingen. Deze behandelingen waren:

- Spoelen van de roostervloer (Spoelen)
- Spoelen van de roostervloer in combinatie met elk uur schuiven van de roostervloer (Spoelen en schuiven)
- Toediening van water in de geleegde kelder bij de start van een ronde in combinatie met elk uur schuiven van de roostervloer (Water in kelder)

---

Bij de behandeling 'Spoelen' werd dagelijks gemiddeld 68 liter water per dier met het spoelsysteem over de roostervloer gespreeid. Bij de behandeling 'Spoelen en schuiven' was dat 74 liter water per dier per dag en werd aanvullend de vloer ook frequent (1x per uur) geschoven. De behandeling 'Water in kelder' bestond er uit dat een hoeveelheid water (vergelijkbaar met 46 liter water per dier per dag) bij de start van de ronde in één keer in de kelder werd gepompt en dat de roostervloer frequent (1x per uur) geschoven werd. In de referentieafdeling werd de roostervloer niet geschoven en werd geen water toegepast.

De emissie per afdeling per dag werd berekend uit de gemiddelde emissie per uur. De emissie per uur is berekend als het verschil tussen de gemiddelde ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht en de gemiddelde ammoniakconcentratie van de ingaande lucht in mg per m<sup>3</sup> vermenigvuldigd met het gemiddeld ventilatiedebiet in m<sup>3</sup> per uur. De uren dat de dieren gemolken werden in een externe melkstal (2x2 uur) zijn niet meegenomen in de berekende dagelijkse emissie. Naast de ammoniakemissie is ook het waterverbruik, de mesthoogte, de samenstelling van de (toplaag van de) mest in de kelder en de zuurgraad van de vloer en de toplaag van de mest gemeten en is het oppervlak van gesimuleerde urineplassen bepaald.

Uit de metingen blijkt dat gebruik van water een significante vermindering van ammoniakemissie oplevert mits dit water regelmatig over de vloer gespreeid wordt. De behaalde emissiereductie was 37% voor 'Spoelen' en 40% voor 'Spoelen en schuiven'. Voor de behandeling 'Water in kelder' was de emissiereductie respectievelijk 7% en 13% maar was daarmee niet significant lager dan de referentie. Frequent schuiven van de roostervloer draagt niet significant bij aan de emissiereductie als de vloer ook regelmatig gespoeld wordt met water.

Ook de samenstelling van de mest in de kelder werd duidelijk beïnvloed door het gebruik van water. Het droge stofgehalte en het ammoniumgehalte van de mest in de afdelingen met de behandelingen met water was significant lager dan de mest in de referentieafdeling. Als alleen naar de toplaag van de mest gekeken werd gold dit niet voor de behandeling 'Water in kelder'. Daar waren de gehalten niet significant afwijkend van de referentie. Dit is waarschijnlijk de reden waarom de ammoniakemissie bij deze behandeling niet significant lager was.

Het gebruik van water had ook effect op de pH van de vloer en de toplaag van de mest in de kelder. De zuurgraad nam bij frequent gebruik van water iets af. De verschillen in de toplaag van de mest waren echter klein. Op de vloer was de pH bij de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' significant lager.

Het hier beschreven onderzoek en de daarin gebruikte methode lijkt het meest op onderzoek dat is uitgevoerd door Huis in 't Veld et al (1993). Het spoelwaterverbruik lag toen tussen de 50 en 110 liter per dier per dag en de gemeten emissiereductie bij verschillende de behandelingen varieerde tussen 21-73%. De variatie in watergebruik en de variatie in spoeltijd, spoeldruk en spoelinterval waarmee deze waterhoeveelheden toegediend werden, verklaren mogelijk de grotere spreiding in de resultaten.

Hoewel de resultaten van het in dit rapport beschreven onderzoek suggereren dat de emissiefactor van 10,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar (22% reductie) die in de Rav is opgenomen te hoog is, kunnen door onvoldoende spreiding van de metingen binnen een kalenderjaar, de resultaten van dit onderzoek niet direct vertaald worden naar een jaarrond emissiefactor. Hiervoor moet ook in andere seizoenen gemeten worden. Ook de relatie tussen waterverbruik en emissiereductie is nog niet onderzocht.

Aanbevolen wordt om een systeem voor het vastleggen van gebruikte waterhoeveelheden te ontwikkelen waardoor de maatregel ook vanuit perspectief van borging en handhaving acceptabel is. Verder zullen de kosten voor gebruik van water en opslag van het extra mestvolume uitgewerkt moeten worden voor praktijksituaties. Het gebruik van oppervlaktewater, spoelwater of regenwater kan daarvan een onderdeel zijn. Als een relatie tussen watergebruik en reductie van ammoniakemissie bekend is, kan het waterverbruik geminimaliseerd worden of afgestemd worden op de te behalen emissiedoelen.



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en belang voor de melkveehouderij

Ammoniakemissie veroorzaakt schade aan kwetsbare natuur en is in veel gevallen een belemmerende factor voor bedrijfsontwikkeling in de melkveehouderij. In 2021 bedroeg volgens het loket emissieregistratie van het RIVM ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)) de totale ammoniakemissie in Nederland 121,2 kton waarvan 105,2 kton (87%) afkomstig was uit de landbouw. De melkveehouderij is daarbinnen verantwoordelijk voor ongeveer 40,3 kton (38%). Binnen de melkveehouderij zijn de emissies uit stallen (54%) en emissies tijdens mestaanwending (43%) de belangrijkste bronnen. De emissies uit stallen zijn ten opzichte van 2015 met 12% gestegen. De melkveehouderij heeft daarom behoefte aan maatregelen om de ammoniakemissie verder te reduceren. Het meest effectief voor de hele sector zijn de maatregelen die eenvoudig toepasbaar zijn in zowel bestaande stallen met een gewone roostervloer als in bestaande stallen waar een emissiearme vloer wordt toegepast.

In 2019 werd 80% van de melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar gehouden in melkveestallen in de categorie A1.100 (Overige huisvestingsystemen zonder emissiereductie) (van Bruggen *et al.*, 2022). Omdat in datzelfde jaar 98% van de melkkoeien ouder dan 2 jaar gehouden werd in een stalsysteem met drijfmest (van Bruggen *et al.*, 2022) mag aangenomen worden dat dit voor het overgrote deel stallen zijn met een betonnen roostervloer met daaronder een drijfmestkelder. Een makkelijk toepasbare maatregel in stallen met een roostervloer en drijfmestopslag heeft dus potentieel het grootste effect op de ammoniakemissie uit melkveestallen.

De processen die leiden tot ammoniakemissie in melkveestallen en de daaruit af te leiden reductiemaatregelen zijn al eerder beschreven (Monteny en Erisman, 1998; van Dooren en Smits, 2007; Snoek *et al.*, 2014). De belangrijkste bron van ammoniakvorming is het ureum dat door de koeien in de urine wordt uitgescheiden. Snoek *et al.* (2014) lieten zien dat de het ureumgehalte van de urineplassen op een vloer een belangrijke factor is in het ammoniakemissiemodel (Monteny *et al.*, 1998). Het ureumgehalte in die urine(plassen) kan beïnvloedt worden door de voeding maar door Monteny en Erisman (1998) en Van Dooren en Smits (2007) wordt verdunnen van urineplassen op de vloer en van de drijfmest in de kelder ook beschreven als een maatregel waarmee de ammoniakemissie uit de stal verminderd kan worden. Het meest voor de hand liggend is daarbij water te gebruiken al is er in het verleden ook met (aangezuurde) mestvloeistof geëxperimenteerd. Zie voor een voorbeeld daarvan uit de varkenshouderij Groenestein en Reitsma (1995) of Huis in 't Veld en Groenestein (1995).

Het verdunnen van mest met water is dus geen nieuw idee of maatregel. Al in de eerste versie van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) van 1 mei 2002 zijn drie systeembeschrijvingen (soms in verschillende varianten) opgenomen waarbij de vloer gespoeld wordt met water. Die beschrijvingen zijn overgenomen uit het Convenant Groen Label dat vanaf 1993 geldig was. Alle drie de systemen (A1.2, A1.3 en A1.4) hadden een emissiefactor van 8,6 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar bij permanent opstallen toen de referentiewaarde 11 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar was. Sinds de referentiewaarde aangepast is naar 13 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar varieert de emissiefactor van 9,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar voor systeem A1.4 tot 10,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar voor A1.2 en A1.3. Dat is een reductie van respectievelijk 30 en 22%. Alleen systeem A1.2 is toepasbaar bij een roostervloer en kent een voorgeschreven minimaal dagelijks watergebruik van 10 liter per m<sup>2</sup>. De onderbouwing van deze emissiefactor is echter niet meer te achterhalen. In de systeembeschrijving (BWL 2001.28.V1) wordt verwezen naar het toenmalige Praktijkonderzoek Veehouderij in Lelystad zonder dat er een specifiek onderzoek wordt aangehaald. De bijbehorende emissiefactor in de huidige bijlage 1 van de Rav is daarmee dus hoger dan de maximale emissiewaarde die in het Besluit emissiearme huisvesting (Beh) wordt aangegeven. De maatregel wordt mede daardoor nauwelijks meer toegepast. Een andere reden voor de geringe toepassing is de toename van het mestvolume door het gebruik van forse hoeveelheden water. Gecombineerd met een toegenomen verplichte opslagduur tot minimaal 7 maanden betekent dit voor de melkveehouder meestal een extra investering in opslagcapaciteit.

---

## 1.2 Overzicht bestaande literatuur

Al in het begin van de jaren 90 van de 20<sup>e</sup> eeuw is onderzoek gedaan naar het effect van het gebruik van water in melkveestallen op de ammoniakemissie; met wisselend resultaat.

Kroodsma *et al.* (1993) beschrijven de resultaten van onderzoek dat uitgevoerd is in een mechanisch geventileerde afdeling voor melkkoeien op proefbedrijf 'De Vijf Roeden' in Duiven tussen januari en eind april 1989. Het effect van spoelen van een roostervloer met water op de ammoniakemissie werd vastgesteld door fluxkamermetingen (Lindvalldoos) op de roostervloer en onderliggende kelder en vergeleken met dezelfde soort metingen in een periode waarin niet gespoeld werd. De reductie van de ammoniakemissie varieerde van 25% bij een spoelduur van 6 seconden en een spoelinterval van 3,5 uur, resulterend in een watergebruik van 100 liter per dier per dag, tot 72% bij een spoelduur van 2 seconden en een spoelinterval van 2 uur, resulterend in een waterverbruik van 50 liter per dier per dag. Niet alleen het waterverbruik per dier per dag maar ook de frequentie waarmee dat toegediend werd bepaalde de reductie van de ammoniakemissie. Schuiven van de vloer (zonder gebruik van water) leverde geen vermindering van de ammoniakemissie op.

Huis in 't Veld *et al.* (1993) rapporteren ook over onderzoek op proefbedrijf 'De Vijf Roeden' in Duiven maar dan gedurende het stalseizoen van 1989/1990. In dezelfde mechanisch geventileerde 1+1 rijige ligboxenstal voor 40 melkkoeien werd gedurende een periode van in totaal 18 weken de ammoniakemissies tijdens verschillende spoelinstellingen (met dezelfde variatie in spoeldruk, -tijd en -interval als in Kroodsma *et al.* (1993)) vergeleken met referentieperioden in hetzelfde stalseizoen. De emissie tijdens deze metingen zijn uitgevoerd in de ventilatiekokers en gecombineerd met het gelijktijdig vastgelegde ventilatiedebiet en hebben dus betrekking op de hele afdeling. De spoelinstallatie bestond uit een spoelleiding aan beide zijden van de betonnen roostervloer waarmee van 50 tot 110 liter water per koe per dag over de vloer werd gespreid. Het ventilatieniveau nam tussen 8 en 18 °C toe van 173 tot 575 m<sup>3</sup> per dier per uur. De reductie van de ammoniakemissie varieerde hier van 21-73% ten opzichte van perioden waarin niet werd gespoeld. De hoogste reductie (73%) werd ook hier bereikt bij een spoelduur van 2 seconden, een spoelinterval van 2 uur en een waterverbruik van 50 liter per dier per dag. Frequenter spoelen (spoelinterval van 1 uur) had geen extra effect op de emissiereductie. Langer spoelen met een lagere frequentie (spoelduur 6 seconden en spoelinterval 3,5 uur) resulteerde net als bij Kroodsma *et al.* (1993) in de laagste reductie van de ammoniakemissie.

In tegenstelling tot Kroodsma *et al.* (1993) en Huis in 't Veld *et al.* (1993) vonden Kant en Jagtenberg (1995) slechts geringe emissiereductie van 7% door het spoelen van roostervloeren met water bij een verbruik van 25 liter per koe per dag. Bij gebruik van 12 liter per koe per dag werd zelfs een geringe stijging van 8% van de ammoniakemissie gevonden. De emissiereductie werd vastgesteld op ROC Aver Heino door fluxkamermetingen (Lindvalldoos) op een roostervloer die handmatig volgens een standaardprotocol was geschoven en daarna met 3 liter urine bevuild was voordat het werd gespoeld. De metingen werden uitgevoerd tussen 1 november 1992 en eind april 1993 afwisselend met 12 en 25 liter water per dier per dag. Bleijenberg *et al.* (1994a), tenslotte, vonden een emissiereductie van 17-28% bij een waterverbruik van 17-47 liter per koe per dag.

Het verdunnen van de mest in de kelder zonder de vloer te spoelen is een reductieoptie die door Van Dooren en Smits (2007) genoemd wordt en die ook in het project Proeftuin Nature 2000 Overijssel door veehouders is ingebracht. Voordeel van een dergelijke aanpak kan zijn dat er geen sproei- of spoelinstallatie met bijbehorende kosten en kans op storingen nodig is. Het water wordt dan niet frequent toegediend maar éénmalig bij de start van de opslagperiode. Nadeel is dat dan alleen de emissie uit de mestkelder en niet de vloeremissie wordt aangepakt. Het effect op de emissiereductie op stalniveau is daarmee naar verwachting lager. Door Huis in 't Veld en Groenestein (1995) is deze methode met positief resultaat (lagere emissie) bij vleesvarkens toegepast maar vergelijkbaar onderzoek bij melkvee is onbekend.

Naast het onderzoek naar het effect van spoelen van een roostervloer is ook onderzoek gedaan naar het spoelen van een (hellende) dichte vloer (eventueel voorzien van een coating) met water of van beide vloertypen met formaline (Bleijenberg *et al.*, 1994; Huis in 't Veld *et al.* 1994; Huis in 't Veld *et al.*, 1994b). Gecoate vloeren worden in de huidige melkveehouderij nauwelijks toegepast en gebruik

---

van formaline is verboden of tenminste sterk af te raden omdat het gebruik gezondheidsrisico's met zich meebrengt. De dichte vloeren die momenteel in de melkveehouderij worden toegepast wijken veelal af van de hellende dichte vloer die in het verleden onderzocht is. Toch zou het gebruik van water op de huidige dichte vloeren ook effectief kunnen zijn bij het verder reduceren van de ammoniakemissie. Maar vanwege de brede verspreiding van de betonnen roostervloer in de melkveehouderij zijn de metingen die beschreven worden in dit rapport alleen uitgevoerd op een roostervloer.

Gevonden Engelstalige literatuur is of gebaseerd op Nederlands onderzoek (Ogink en Kroodsmá, 1996) of verwijzen daar, wat betreft spoelen met water, naar (Sommer en Hutchings, 1995). Sommer en Hutchings (1995) meldden een reductie van de ammoniakemissie van 50% bij het spoelen van de vloer maar details over de uitvoering ontbreken.

Uit voorgaande wordt duidelijk dat er al verschillende keren onderzoek is gedaan naar het effect van spoelen (van een roostervloer) met water bij melkvee en daarmee verdunnen van de mest in de kelder daaronder. Het onderzoek is echter 25 tot 30 jaar geleden uitgevoerd en de gebruikte meetmethoden, de hoeveelheid water, de manier van toedienen, en de frequentie van toedienen verschilden aanzienlijk van elkaar. De behaalde resultaten laten (daardoor) een grote spreiding zien.

De hernieuwde belangstelling voor het effect van gebruik van water op de ammoniakemissie uit melkveestallen komt voort uit de behoefte aan extra maatregelen met een breed perspectief voor de melkveehouderij die relatief eenvoudig zijn toe te passen. Daarnaast is gebleken dat bij het uitrijden van met water verdunde drijfmest met een sleepvoetenmachine ook emissiewinst te behalen valt (Huijsmans *et al.*, 2017). Samen met verbeterde inzichten en meettechnieken was dit aanleiding nieuw onderzoek uit te voeren naar het effect van het gebruik van water op de ammoniakemissie.

## 1.3 Doel

Doel van het onderzoek is het bepalen van het effect van het gebruik van water en roosterschuij op de ammoniakemissie uit een melkveestal met roostervloer.

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden proefopzet, de meetlocatie en de gebruikte meetmethoden en -apparatuur beschreven. De resultaten en de discussie daarvan worden beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 volgen de conclusies en aanbevelingen.

## 2 Opzet en uitvoering

De uitvoering van het onderzoek heeft plaatsgevonden op Dairy Campus. Dairy Campus is een onderzoeks- en praktijkcentrum voor de melkveehouderij en is onderdeel van Wageningen Livestock Research. Het ligt in de Boksumerpolder in de buurt van Leeuwarden en heeft ca. 300 hectare land en ongeveer 500 melkkoeien ter beschikking voor onderzoek en onderwijs.

### 2.1 Experimentele opzet

Om het effect van gebruik van water op de ammoniakemissie in een melkveestal te bepalen is een opzet gekozen waarbij drie behandelingen in twee rondes over vier verschillende afdelingen verdeeld zijn. De vier afdelingen maken onderdeel uit van de faciliteiten voor het bepalen van ammoniakemissie die op Dairy Campus beschikbaar zijn (zie paragraaf 2.2). De drie behandelingen waren:

- Spoelen van de roostervloer (Spoelen)
- Spoelen in combinatie met het frequent schuiven van de roostervloer (Spoelen en schuiven)
- Toediening van water in de kelder bij de start van een ronde in combinatie met frequent schuiven van de roostervloer (Water in kelder)

De drie afdelingen met deze behandelingen zijn vergeleken met een referentieafdeling zonder behandeling (Referentie). Alle vier de beschikbare afdelingen waren verder voorzien van een schuif- en een spoelinstallatie (zie paragraaf 2.3) zodat alle behandelingen vrij toe te wijzen waren aan de afdelingen.

Bij de behandeling 'Spoelen en schuiven' is dagelijks een hoeveelheid water met het spoelsysteem over de roostervloer gespreid en werd de vloer daarnaast frequent (1x per uur) geschoven. De behandeling 'Spoelen' was gelijk aan de vorige behandeling wat betreft het spoelen maar zonder dat de vloer frequent geschoven werd.

Bij de behandeling 'Water in kelder' is een hoeveelheid water, vergelijkbaar met wat zou worden toegediend in de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven', bij de start van de ronde in één keer in de kelder gepompt en is de roostervloer frequent (1x per uur) geschoven.

De referentieafdeling werd niet geschoven en niet gespoeld. De verdeling van de behandelingen over de afdelingen per ronde is weergegeven in Tabel 1.

**Tabel 1** Verdeling van de behandelingen over de afdelingen per rond.

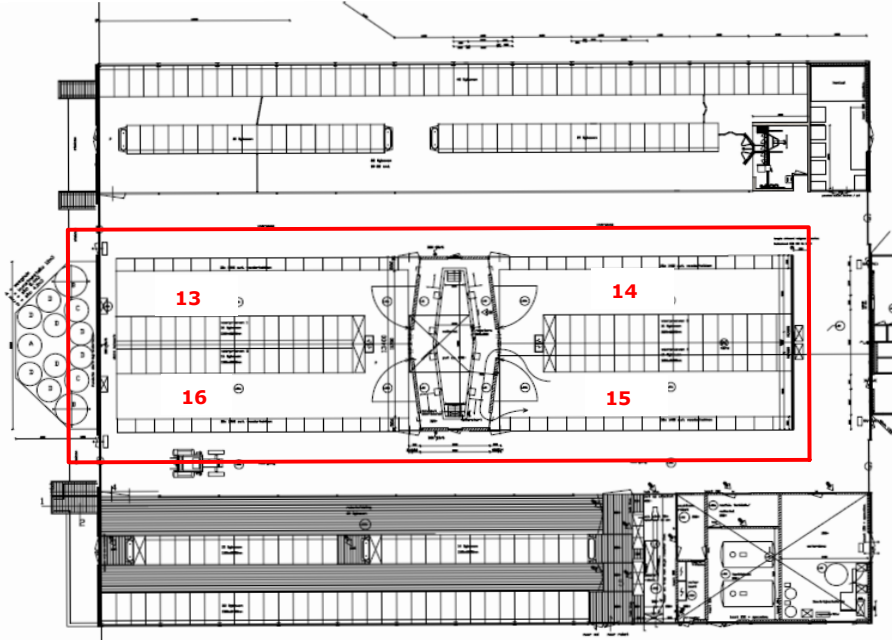
Afdeling	Ronde	
	1	2
13	Referentie	Water in kelder en schuiven
14	Spoelen en schuiven	Spoelen
15	Water in kelder en schuiven	Referentie
16	Spoelen	Spoelen en schuiven

Uitgangspunt voor de toegediende hoeveelheid water per dag was de beschrijving van BWL 2001.28 (A1.2) waarin voorgeschreven wordt dat per dag minimaal 10 liter water per m<sup>2</sup> vloeroppervlak egaal over de vloer gespreid moet worden. De afdelingen hebben een vloeroppervlak van ca. 86 m<sup>2</sup> zodat per dag 860 liter water gespreid moet worden. Op basis van de opgave van de leverancier (Van de Weerd, Oss) is daarvoor een spoelschema opgesteld (zie paragraaf 2.3).

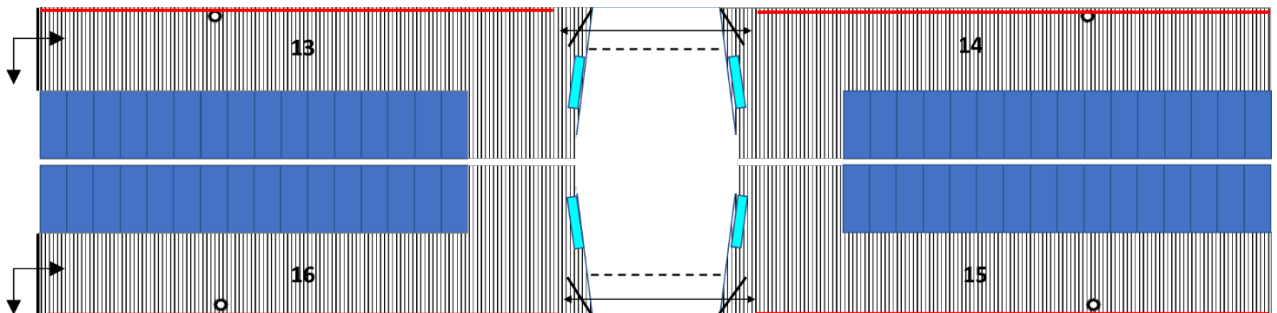
Elke ronde bestond uit een nulperiode van drie weken waarin geen enkele behandeling in de afdelingen werd toegepast en een behandelperiode waarin de behandelingen zoals in Tabel 1 beschreven zijn uitgevoerd. Het legen van de mestkelder en gedeeltelijk hervullen met water vond plaats bij de start van de behandelperiode.

## 2.2 Beschrijving meetlocatie Dairy Campus

De metingen zijn uitgevoerd in vier afdelingen die geschikt zijn voor het meten van ammoniakemissies. Deze afdelingen (13-16) maken onderdeel uit van een grotere stal voor in totaal ongeveer 180 melkkoeien (zie Figuur 1). Elk van de vier afdeling is uitgevoerd als een mechanisch geventileerde 1-rijige ligboxenstal met ruimte voor 16 dieren (zie Figuur 2).



**Figuur 1** Plattegrond van één van de ligboxenstallen van Dairy Campus met centraal daarin de vier genummerde afdelingen van de meetunit.



**Figuur 2** Schematische plattegrond van de afdelingen met in rood de spoelleidingen onder het voerhek, in donkerblauw de ligboxen en in lichtblauw de waterbak. Het rondje bij het voerhek geeft de plaats van de koeborstel aan.

Alle dieren worden tweemaal daags gemolken in een 40 stands draaimelkstal elders op het bedrijf. Daarvoor verlaten de dieren gedurende ongeveer anderhalf uur de afdelingen, soms door naastliggende afdelingen heen (zie de pijlen in Figuur 2). Elke afdeling is voorzien van 16 ligboxen met koematrassen, een koeborstel, verlichting en een open waterbak waaruit ongelimiteerd wateropname mogelijk is. Ruwvoer wordt éénmaal daags verstrekt in de vorm van een gemengd rantsoen van kuilgras, tarwemeel, sojaschroot en mineralen. Het aanschuiven van het ruwvoer gebeurt continue door een aanschuifrobot. Krachtvoer wordt in de melkstal naar individuele behoefte verstrekt. De afdelingen zijn geheel onderkelderd maar zonder verbinding tussen de afdelingen onderling of de rest van de stal. Het totale kelderoppervlak is ca. 125 m<sup>2</sup> waarvan 50 m<sup>2</sup> onder de ligboxen. Ook boven de roosters zijn de afdelingen van elkaar gescheiden door een tentconstructie van enigszins lichtdoorlatend folie (zie Figuur 3). Deze tent is aan de voorkant, bij het voerhek, voorzien van een gordijn dat opgetrokken kan worden. Hiermee wordt de luchtinlaat in de afdelingen geregeld. De onderkant van het gordijn hangt op een hoogte van ca. 50 cm. De ingaande lucht is afkomstig uit de rest van de stal.



**Figuur 3** *Zicht op afdeling 16. Het gordijn voor regeling van de luchtinlaat is omhoog. Aan de onderzijde van het gordijn zijn de meetpunten voor meting van de achtergrondconcentratie bevestigd (rode lijn). In de afdelingen zijn de twee ventilatoren voor de luchtafvoer te zien (gele pijlen) waarin zich ook de monsterpunten voor de meting van de ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht bevinden.*

In het dak van iedere afdeling bevinden zich twee axiaal ventilatoren gemonteerd in een koker met een diameter van 80 cm (Fanco type 1680) voor de afvoer van de lucht. Elke ventilator heeft volgens fabrieksopgave een maximale capaciteit van ca. 20.500 m<sup>3</sup> per uur bij 0 Pa tegendruk. Alle ventilatoren zijn voorzien van een meet- en smoorunit (Fanco ATM80) en worden per afdeling geregeld door klimaatcomputer (Fanco FC14) die beide ventilatoren simultaan aanstuurt op basis van het signaal van één van de meet- en smoorunit. Het ventilatieniveau in de afdelingen is tijdens alle metingen vast ingesteld op 40% van de maximale capaciteit (ca. 1.000 m<sup>3</sup>/uur per dier); een niveau dat representatief is voor natuurlijk geventileerde melkveestallen in Nederland.

## 2.3 Beschrijving spoel- en schuifinstallatie

De spoelinstallatie is ten behoeven van het onderzoek geleverd en geïnstalleerd door handelsonderneming Van de Weerdt uit Oss. De installatie bestaat uit een spoelleiding die over de hele lengte, onder het voerhek net boven de roostervloer is gemonteerd. In de leiding zijn zeven sproeiers aangebracht die door een overlappend sproeibeeld vrijwel de hele loopgang besproeien. Elke afdeling is voorzien van een watermeter waarop het waterverbruik is af te lezen. De spoelduur en het spoelinterval werd per afdeling ingesteld met een PLC-HMI<sup>1</sup> (Unitronics JZ20) die tevens de standen van de watermeter vastlegt. Op basis van de opgave van de leverancier wat betreft de capaciteit van de individuele sproeidoppen werd een spoelschema opgesteld waarmee in de afdelingen met de handelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' minimaal 10 liter water per m<sup>2</sup> vloeroppervlak per dag toegediend kon worden. Tussen 6:00 uur en 22:00 uur was de spoelduur 25 seconden en het spoelinterval 15 minuten. Tussen 22:00 uur en 6:00 uur was de spoelduur 20 seconden en het spoelinterval 1 uur. Daarmee was de spoelinstallatie in de behandelde afdelingen per etmaal 72 keer en in totaal 30 minuten per dag actief.

<sup>1</sup> PLC-HMI: "programable logic controller" met "human machine interface". Een microcomputer voor de aansturing van apparaten of machines

---

De schuifinstallatie was reeds bij de bouw van de stal geleverd door De Boer stalrichting. De installatie bestond uit een kabel aangedreven rondgaand systeem met een aandrijfstation voor de afdelingen 13 en 16 en een aandrijfstation voor de afdelingen 14 en 15 die los van elkaar functioneren en zijn in te stellen. Door een schuif los te koppelen van de kabel kan daarnaast elke afdeling zo nodig onafhankelijk van de andere afdeling geschoven worden. In de afdelingen met de behandelingen 'Spoelen en schuiven' en 'Water in kelder' is de schuiffrequentie op 1x per uur ingesteld.

## 2.4 Ammoniakemissie

### 2.4.1 Ventilatie

Van enkele meet- en smoorunits van het gebruikte type is in het verleden in een windtunnel de relatie tussen ventilatiedebiet en uitgangssignaal bepaald. Deze kalibratielijnen zijn gebruikt voor het berekenen van het ventilatiedebiet op basis van het afgegeven pulssignaal. Het pulssignaal van alle meet- en smoorunits is per minuut gemiddeld en opgeslagen door een datalogger (Campbell Scientific CR1000).

### 2.4.2 Ammoniakconcentratie

In elke ventilatiekamer is een monsterleiding (PE, 1/4" binnendiameter) aangebracht voor de bemonstering van de uitgaande lucht. Deze leidingen (acht stuks in totaal) werden verbonden met een 12-kanaals meetpuntomschakelaar (MPO). Voor de bemonstering van de ingaande lucht is aan de onderkant van elk gordijn een monsterleiding met 4 monsterpunten aangebracht. Deze vier monsterleidingen werden ook verbonden met de MPO. Een pomp zorgt voor een constante luchtstroom door alle 12 monsterleidingen. Om de 10 minuten schakelt de MPO naar een volgend kanaal en wordt de te bemonsteren lucht door een converter naar een NO<sub>x</sub>-analyzer (Teledyne T200) geleid die de concentratie NO<sub>x</sub> in de aangeboden luchtstroom meet. In de converter wordt onder hoge temperatuur (>750 °C) met roestvrij staal als katalysator de ammoniak (NH<sub>3</sub>) in de aangezogen lucht met een bekende efficiëntie omgezet in stikstofmonoxide (NO). De gebruikte NO<sub>x</sub>-monitor werkt volgens het chemoluminescentie principe. In deze monitor wordt de NO in de lucht met behulp van ozon (O<sub>3</sub>) omgezet in stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>). Bij deze reactie komt straling vrij die met een lichtgevoelige cel meetbaar is. Uit dit signaal en de efficiëntie van de converter kan de NH<sub>3</sub> concentratie berekend worden. Deze concentraties, uitgedrukt in parts per milion (ppm), worden voor elk kanaal van de MPO per minuut gemiddeld en opgeslagen door een datalogger (Campbell Scientific CR1000) die tevens de MPO aanstuurt. De NO<sub>x</sub> monitor wordt regelmatig gejusteerd met een bekende concentratie NO.

### 2.4.3 Binnenklimaat

In elke afdeling werd de temperatuur en luchtvochtigheid continue op twee plekken gemeten met een T-RV sensor (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS). De temperatuur en luchtvochtigheid werd per kwartier gemiddeld en opgeslagen door een datalogger (Campbell Scientific CR1000).

## 2.5 Emissieberekening

De ammoniakemissie per afdeling per dag (uitgedrukt in kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar), werd berekend door het gemiddelde te nemen van de ammoniakemissie per uur over de uren dat de afdeling gesloten was. Dit is het geval buiten de melktijden van twee keer twee uur per dag. De emissie in uur  $i$  (0,1,2,...,23) in afdeling  $j$  (13,14,15,16) wordt berekend door het verschil in gemiddelde concentratie van uitgaande en ingaande lucht (in mg per m<sup>3</sup>) te vermenigvuldigen met het ventilatiedebiet (in m<sup>3</sup> per uur) en vervolgens om te rekenen naar een emissie in kg per dierplaats per jaar.

---

In formule is dat:

$$E_{ij} = (C_{uit_{ij}} - C_{in_{ij}}) * V_{ij} * \left(\frac{24*365}{10^6*16}\right) \quad (1)$$

Met:

$E_{ij}$  : ammoniakemissie in uur  $i$  en afdeling  $j$  uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar.

$C_{uit_{ij}}$ : de gemiddelde ammoniakconcentratie in uur  $i$  en afdeling  $j$  van de uitgaande lucht in mg per m<sup>3</sup>

$C_{in_{ij}}$ : de gemiddelde ammoniakconcentratie in uur  $i$  en afdeling  $j$  van de ingaande lucht in mg per m<sup>3</sup>

$V$ : het gemiddelde ventilatiedebiet in uur  $i$  en afdeling  $j$  in m<sup>3</sup> per uur.

De behandelingsgemiddelden per ronde is uitgerekend door het middelen van emissies per dag gedurende de behandelingsperioden. De gemiddelde emissie tijdens de nulperioden is op dezelfde manier berekend.

## 2.6 Diergegevens

In elke afdeling zijn 16 melkgevende dieren gehuisvest. Bij start van elke werden dieren geselecteerd met vergelijkbare leeftijd, pariteit, melkproductie en melkureumgehalte die werden verloot over de vier afdelingen. In geval van ziekte of andere onvoorziene omstandigheden werden dieren uit de groep gehaald en vervangen door een vergelijkbaar dier. Dagelijks is per dier de melkgift per melkbeurt, het gewicht en de krachtvoeropname vastgelegd. In de eerste ronde is per vier weken een melkcontrole per dier uitgevoerd. In de tweede ronde is een wekelijkse melkcontrole uitgevoerd.

## 2.7 Overige waarnemingen

Ten behoeve van een goede interpretatie van de meetresultaten zijn ook de volgende waarnemingen uitgevoerd.

**Mesthoogte en waterstanden.** De mesthoogte in elke afdeling is wekelijks op 5 plekken per afdeling gemeten. Tegelijkertijd zijn de standen van de watermeters bij de drinkbakken en het spoelsysteem opgenomen.

**Mestsamenstelling.** Op vier momenten tijdens een ronde zijn mestmonsters genomen van de bovenste centimeters ('toplaag') van de mest en van de hele mestkolom in de kelder. Eénmaal gebeurde dat tijdens de nulperiode en driemaal tijdens de behandelperiode. Het monster van de hele mestkolom in de kelder is genomen met een buis voor het bemonsteren van vloeistoflagen (Eijkkamp, Giesbeek). Het monster van de bovenste centimeters is genomen met een open monsterbeker. De mestmonsters zijn door het milieulaboratorium van Wageningen Livestock Research geanalyseerd op het gehalte aan droge stof (DS), as, totaal stikstof (N-totaal), ammonium stikstof (N-ammonium), fosfor (P) en kali (K).

**Zuurgraad.** Op drie momenten tijdens de behandelperiode in elke ronde is de zuurgraad van de vloer en de toplaag van de mest in de kelder bepaald. Dat is gedaan door op drie plekken in elke afdeling in duplo met een filterpapiertje vloeistof van de vloer en de toplaag op te zuigen en daarin de pH te bepalen met een pH-meter (Horiba D-72) voorzien van een ISFET<sup>2</sup> platte sensor (Horiba 0040-10D).

**Plasoppervlak.** Snoek *et al.* (2014) geven een overzicht van de vijf belangrijkste invloedsfactoren op de ammoniakemissie zoals berekend in het ammoniak emissiemodel. Het oppervlak van de urineplassen is er daar één van. Snoek *et al.* (2017) maakten met een infraroodcamera die gemonteerd is op een verrijdbare opstelling, een warmtebeeld van een urineplas. Met beeldverwerking

---

<sup>2</sup> ISFET: ion-sensitive field-effect transistor



---

van het warmtebeeld op basis van het temperatuurverschil van de urineplas en de omgeving werd het oppervlak berekend. In onderhavig onderzoek is deze methode toegepast op gesimuleerde urineplassen. Daarbij is één liter warm water op een vaste hoogte van ongeveer 0,75 meter op de roostervloer gegoten. Binnen 30 seconden daarna is een warmtebeeld van het plasoppervlak en de omgeving genomen. In alle afdeling zijn in beide rondes op twee momenten tijdens de behandelingsperiode drie tot zes plasmelingen uitgevoerd.

## 2.8 Statistische analyse

Voor de analyse is gebruik gemaakt van de zogenaamde '*Generalized Linear Mixed Models*' aanpak waarmee de variatie in de waarnemingen op verschillende niveaus (behandeling, afdeling, ronde) geanalyseerd kan worden om een effect te bepalen. Het gebruikte model dat deze invloeden op de ammoniakemissie (of andere waarnemingen) berekend, kan beschreven worden volgens formule (2):

$$E_{kl} = \mu + b_x + a_k + r_l + a_k \cdot r_l + \varepsilon_{kl} \quad (2)$$

Met

$E_{kl}$ : Ammoniakemissie (of andere waarnemingen) in afdeling  $k$  en ronde  $l$

$\mu$ : overall gemiddelde emissie

$b_x$ : het effect van behandeling  $x$  toegewezen aan afdeling  $k$  en ronde  $l$ .

$a_k$ : het effect van afdeling  $k$

$r_l$ : het effect van ronde  $l$

$a_k \cdot r_l$ : het effect van de interactie tussen afdeling  $k$  en ronde  $l$ .

$\varepsilon_{kl}$ : residu of random fout van afdeling  $k$  en ronde  $l$ .

Voor deze analyses is gebruik gemaakt van de REML procedure in statistische programma Genstat 19th edition (VSN, 2018). De waarnemingen van de ammoniakemissie werden voorafgaand aan de analyse getransformeerd naar een logaritmische schaal.

### 3 Resultaten en discussie

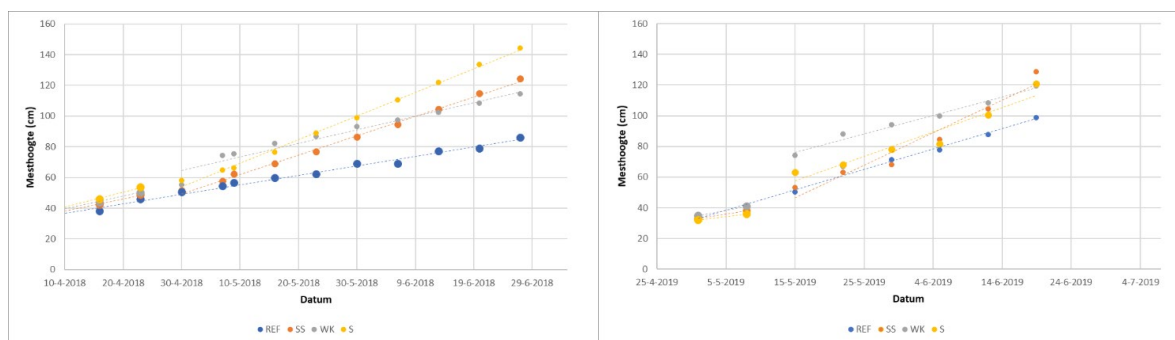
De eerste ronde is gestart op maandag 16 april 2018 (week 16) met een nulperiode waarin geen behandelingen zijn toegepast. Op maandag 7 mei 2018 (week 19) is de behandelperiode begonnen waarbij de kelder in afdeling 15 geleegd is en daarna voor ongeveer de helft gevuld met water en de spoelinstallatie in afdeling 14 en 16 en de schuifinstallatie in afdeling 14 en 15 is aangezet. Na zeven weken is op zondag 24 juni 2018 (week 26) deze ronde beëindigd.

De tweede ronde is gestart op maandag 29 april 2019 (week 18) met een nulperiode waarin geen behandelingen zijn toegepast. Op woensdag 15 mei 2019 (week 20) is de behandelperiode begonnen volgens hetzelfde regime als in ronde 1 maar in andere afdelingen (zie Tabel 1). Na ruim zeven weken is op zondag 7 juli 2019 (week 27) deze ronde beëindigd.

Tijdens de tweede ronde is op 8 juni 2019 een ventilator in afdeling 15 uitgevallen die op maandag 17 juni 2019 is vervangen. In die periode zijn voor deze afdeling geen betrouwbare emissiegegevens beschikbaar.

#### 3.1 Spoelwatergebruik en mesthoogte

In Figuur 4 is voor ronde 1 en ronde 2 het verloop van de mesthoogte in de afdelingen per behandeling weergegeven. Op basis daarvan is voor de behandeling WK in afdeling 15 (ronde 1) en afdeling 13 (ronde 2) de hoeveelheid toegevoegd water uit gerekend (zie Tabel 2). In Tabel 2 is verder het spoelwaterverbruik per behandeling weergegeven.



**Figuur 4** Verloop van mesthoogte (cm) per behandeling tijdens ronde 1 (links) en ronde 2 (rechts) met regressielijnen per periode (nul en behandeling) voor de behandelde afdelingen en een doorlopende regressielijn voor de referentieafdeling.

**Tabel 2** Waterverbruik (liter) per behandeling.

	REF	SS	WK	S
Watergebruik per afdeling per dag	0	1154	732	1084
Waterverbruik per dierplaats per dag	0	74	46	68
Waterverbruik per m <sup>2</sup> per dag	0	13	8	13

REF: Referentie; SS: Spoelen en schuiven; WK: Water in kelder; S: Spoelen.

Uit het verloop van de mesthoogte is duidelijk de start van de behandeling na de nulmeting te zien. In de afdelingen met behandeling 'Water in kelder' stijgt de mesthoogte na toediening van het water in de kelder met ongeveer dezelfde snelheid (1,0 cm per dag) als in referentieafdeling (0,9 cm per dag). In de afdelingen waarin water dagelijks gespoeld werd lag de stijging van de mesthoogte logischerwijs hoger (1,7 en 1,6 cm per dag voor respectievelijk 'Spoelen en schuiven' en 'Spoelen'). Behalve in de afdeling met behandeling 'Water in kelder' in de eerste ronde is in alle afdelingen minimaal de hoeveelheid water toegevoegd als vooraf was beoogd (10 liter per m<sup>2</sup> vloeroppervlak per

dag). Gemiddeld is in de afdelingen behandeling 'Water in kelder' ongeveer 35% minder water per ronde toegediend dan in de afdelingen waarin de spoelinstallatie is gebruik.

## 3.2 Diergegevens

In onderstaande tabel zijn de eigenschappen van de groepen dieren per behandeling opgenomen (Tabel 3). De verschillen diergegevens tussen de behandelingen waren geen van alle significant ( $p > 0,05$ ).

**Tabel 3** Samenvatting van diergegevens per behandeling.

	REF	SS	WK	S
Leeftijd (jaar)	4,6	4,8	4,6	4,5
Lactaties (aantal)	2,7	2,7	2,7	2,6
Lactatiestadium (dagen)	281	318	282	294
Melkproductie (kg/dag)	20,3	20,7	18,9	19,9
Vet (%)	4,8	5,0	5,0	4,9
Eiwit (%)	3,8	3,7	3,8	3,7
Melkureum (mg/100 ml)	27	26	27	28

REF: Referentie; SS: Spoelen en schuiven; WK: Water in kelder; S: Spoelen.

## 3.3 Ammoniakemissie

In Tabel 4 is de ammoniakemissie per behandeling weergegeven. Naast de gemiddelde emissie per gehele behandelperiode is ook de ammoniakemissie uitgerekend in de laatste drie weken van de behandelperiode. Het verloop van de emissie per behandeling gedurende de ronde geeft daar aanleiding toe (Figuur 5). Het effect van de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' lijkt daar toe te nemen terwijl het effect van de behandeling 'Water in kelder' in de loop van de ronde lijkt af te nemen ten opzichte van de referentie.

Uit al deze resultaten komt een duidelijk effect van gebruik van water tijdens de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' naar voren dat nog versterkt wordt als alleen naar de laatste drie weken van de behandelperiode gekeken wordt. Gemiddeld over de twee ronden zijn de verschillen in de ammoniakemissie tussen de referentieafdeling en de behandeling 'Water in kelder' aan de ene kant en de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' aan de andere kant significant ( $p < 0,05$ ). Het schuiven draagt niet wezenlijk meer bij aan de vermindering van de ammoniakemissie als er al regelmatig gespoeld wordt met water. Het verschil tussen 'Spoelen en schuiven' en 'Spoelen' is niet significant.

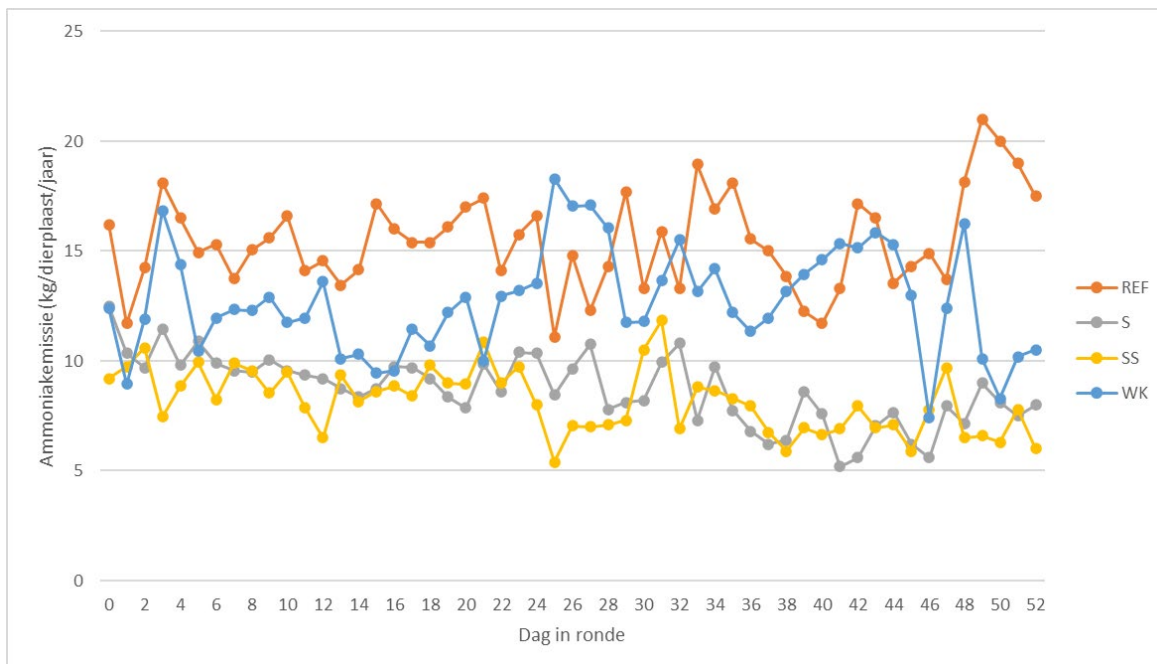
Het effect op de ammoniakemissie hangt dus niet alleen af van de hoeveelheid water die per ronde wordt toegepast. De manier van toediening van dat water doet er toe zoals blijkt uit de resultaten van de behandeling met 'Water in kelder'. Hoewel ook daar per ronde gemiddeld een ruime hoeveelheid water per dier per dag is gebruikt heeft dat geen significant effect op de ammoniakemissie. Wel is de totale hoeveelheid water minder dan in de andere twee behandelingen (zie paragraaf 3.1).

**Tabel 4** Samenvatting van ammoniakemissie per behandeling (kg/dierplaats/jaar of % ten opzichte van referentie).

	REF	SS	WK	S
<b>Absoluut</b>				
Totaal	13,8 <sup>a</sup>	8,2 <sup>b</sup>	12,8 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>
Laatste 3 weken	15,5 <sup>a</sup>	7,4 <sup>b</sup>	13,5 <sup>a</sup>	7,3 <sup>b</sup>
<b>Relatief</b>				
Totaal	100%	60%	93%	63%
Laatste 3 weken	100%	48%	87%	47%

REF: Referentie; SS: Spoelen en schuiven; WK: Water in kelder; S: Spoelen.

<sup>a,b</sup>: verschillende superscripts in een rij geven significante verschillen tussen behandelingen aan ( $p = 0,05$ )



**Figuur 5** Ammoniakemissie per behandeling in behandelperiode gemiddeld over twee ronden in kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar.

### 3.4 Mestsamenstelling

In Tabel 6 is de samenstelling van de hele mestkolom in de kelder als gemiddelde per behandeling weergegeven. Daaruit is in alle behandelingen met water duidelijk het verdunnende effect van water op zowel het droge stofgehalte als de gehalte aan N, P en K te zien in alle behandelingen. De gehalten van de behandeling 'Water in kelder' zijn het laagst maar verschillen minder van de andere behandelingen waarbij water wordt gebruikt dan van de referentie.

In Tabel 7 is de samenstelling van de toplaag van de mest in de kelder als gemiddelde per behandeling weergegeven. Ook daarin wordt vooral het verdunnende effect van de spoelinstallatie tijdens de behandeling 'Spoelen en schuiven' en 'Spoelen' duidelijk. Het N-ammoniumgehalte halveert ongeveer en in het droge stofgehalte is een daling van ongeveer 10% te zien. De N-, P- en K-samenstelling in de behandeling 'Water in kelder' verschilt echter nauwelijks van de samenstelling in de referentieafdeling. Het droge stofgehalte is zelfs iets hoger. Dit komt waarschijnlijk doordat de vaste delen in de mest boven op de waterige onderlaag gaan drijven. Dit fenomeen is ook te zien in drijfmest waar het droge stofgehalte in de toplaag hoger is dan het droge stofgehalte in de hele mestkolom.

**Tabel 5** Samenvatting van samenstelling van hele mestkolom (g/kg) per behandeling.

	REF	SS	WK	S
Droge stof	102,7 <sup>a</sup>	71,5 <sup>b</sup>	60,4 <sup>c</sup>	69,3 <sup>b,c</sup>
As	24,4 <sup>a</sup>	17,4 <sup>b</sup>	15,3 <sup>c</sup>	17,2 <sup>b</sup>
N-Totaal	4,6 <sup>a</sup>	3,3 <sup>b</sup>	2,9 <sup>c</sup>	3,3 <sup>b</sup>
N-Ammonium	2,1 <sup>a</sup>	1,7 <sup>b</sup>	1,5 <sup>c</sup>	1,7 <sup>b,c</sup>
P	0,8 <sup>a</sup>	0,5 <sup>b</sup>	0,4 <sup>b</sup>	0,5 <sup>b</sup>
K	4,4 <sup>a</sup>	3,3 <sup>b</sup>	3,1 <sup>b</sup>	3,4 <sup>b</sup>

REF: Referentie; SS: Spoelen en schuiven; WK: Water in kelder; S: Spoelen.

<sup>a</sup>: verschillende superscripts in een rij geven significante verschillen tussen behandelingen aan (p=0,05)

**Tabel 6** Samenvatting van mest samenstelling (g/kg) in de toplaag per behandeling.

	REF	SS	WK	S
Droge stof	117,3 <sup>a</sup>	100,3 <sup>b</sup>	123,5 <sup>c</sup>	100,6 <sup>b</sup>
As	26,2 <sup>a</sup>	19,3 <sup>b</sup>	27,4 <sup>a</sup>	19,5 <sup>b</sup>
N-Totaal	4,5 <sup>a</sup>	3,2 <sup>b</sup>	4,5 <sup>a</sup>	3,2 <sup>b</sup>
N-Ammonium	1,3 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	1,2 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>
P	0,9 <sup>a</sup>	0,7 <sup>b</sup>	1,0 <sup>c</sup>	0,8 <sup>b</sup>
K	3,9 <sup>a</sup>	1,5 <sup>b</sup>	3,6 <sup>a</sup>	1,5 <sup>b</sup>

REF: Referentie; SS: Spoelen en schuiven; WK: Water in kelder; S: Spoelen

<sup>a</sup>: verschillende superscripts in een rij geven significante verschillen tussen behandelingen aan ( $p=0,05$ )

### 3.5 Zuurgraad van vloer en mest in kelder

In Tabel 8 is een overzicht van de zuurgraad van de vloer en de toplaag van de mest in de kelder opgenomen. De verschillen in pH tussen de behandelingen zijn klein maar wel significant voor de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' ten opzichte van de ander twee behandelingen ('Referentie' en 'Water in kelder'). Het is aannemelijk dat de lagere pH op de vloer en de toplaag van de mest het gevolg is van het verdunningseffect met water. Een lagere pH draagt bij aan een reductie van de ammoniakemissie van dat oppervlak.

**Tabel 7** Samenvatting van zuurgraad (pH) in de toplaag van de mest en op de vloer per behandeling.

	REF	SS	WK	S
Toplaag mest	8,8 <sup>a</sup>	8,6 <sup>a,b</sup>	8,7 <sup>a</sup>	8,5 <sup>b</sup>
Vloer	8,9 <sup>a</sup>	8,5 <sup>b</sup>	8,9 <sup>a</sup>	8,4 <sup>b</sup>

REF: Referentie; SS: Spoelen en schuiven; WK: Water in kelder; S: Spoelen.

<sup>a</sup>: verschillende superscripts in een rij geven significante verschillen tussen behandelingen aan ( $p=0,05$ )

### 3.6 Plasgrootte

Het gemiddelde oppervlak van de gesimuleerde urineplassen is weergegeven in Tabel 9.

**Tabel 8** Samenvatting van plasgrootte (m<sup>2</sup>) per behandeling.

	REF	SS	WK	S
Plasgrootte (m <sup>2</sup> )	0,59 <sup>a,b</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,56 <sup>b</sup>	0,56 <sup>a,b</sup>

REF: Referentie; SS: Spoelen en schuiven; WK: Water in kelder; S: Spoelen.

<sup>a,b</sup>: verschillende superscripts in een rij geven significante verschillen tussen behandelingen aan ( $p=0,05$ )

Voor aanvang van dit onderzoek was de gedachte dat door het frequent reinigen van de vloer met een roosterschuijftijdens behandelingen 'Spoelen en schuiven' en 'Water in kelder' het plasoppervlak zou afnemen. Een kleiner plasoppervlak resulteert bij gelijke plasdikte in minder urine op de vloer en draagt daarmee bij aan een lagere ammoniakemissie van de vloer. De verwachting was dat vooral het schuiven in de behandelingen 'Spoelen en schuiven' en 'Water in kelder' van invloed zouden zijn. Dat blijkt niet uit de resultaten. De verschillen in plasoppervlak zijn klein en niet significant ( $p=0,005$ ) en lijken ook niet te wijzen op een effect van frequent schuiven.

## 3.7 Discussie

### **Ammoniakemissie**

Het doel van het onderzoek was te bepalen of het toevoegen van water in de stal effect heeft op de ammoniakemissie. Daarbij is ook gekeken naar de manier van water toevoegen en het effect van schuiven over de roosters. Uit de resultaten komt een duidelijke reductie van de ammoniakemissie bij gebruik van water naar voren van 7%, 37% en 40% voor respectievelijk de behandelingen 'Water in kelder', 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven'. Uit deze resultaten valt ook af te lijden dat het aanvullende effect van schuiven bij frequent gebruik van water minimaal is.

De duur van beide ronden was zeven weken. Om een eventueel 'opstarteffect' zichtbaar te maken is de emissiereductie ook uitgerekend over de laatste drie weken van het behandelperiode. De emissiereductie neemt dan bij alle behandelingen toe, tot 13%, 53% en 52% ten opzichte van de referentie voor respectievelijk WK, S en SS. Mogelijk wordt dit verklaart door een lagere temperatuur van de (toplaag van de) mest bij gebruik van water. Dit effect zou dan gedurende behandelperiode groter kunnen worden omdat beide ronden starten in april en tot begin van de zomer duurden. In die periode is het gebruikelijk dat de temperatuur oploopt. Als het inderdaad zo is dat deze laatste weken een stabiele situatie vertegenwoordigen is op langere termijn mogelijk ook deze hogere emissiereductie haalbaar. Op basis van huidig onderzoek is dat echter niet met zekerheid te zeggen.

### **Mestsamenstelling**

Ook de manier waarop water wordt toegediend is van belang. Een vergelijkbare hoeveelheid water in één keer bij een vrijwel lege kelder toedienen heeft nauwelijks effect. Wel moet opgemerkt worden dat de hoeveelheid water per dier per dag over de hele periode gemiddeld 35% lager was; 50% minder in de eerste ronde en 20% minder in de tweede ronde. Maar hoewel er in de tweede ronde in tegenstelling tot de eerste ronde wel een emissiereductie is waargenomen voor deze behandeling is het reductie-effect ook dan kleiner dan bij de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven'. Bij vleesvarkens is door Huis in 't Veld en Groenestein (1995) met dezelfde methode van watertoevoeging wel een reductie van de ammoniakemissie vastgesteld. De verklaring voor de lagere emissiereductie bij melkvee heeft mogelijk te maken met het ontstaan van een drijfslag. Dat is een proces waarbij onverteerde voerresten in de feces en ander organische materiaal dat in de mest terecht komt door een lager soortelijk gewicht op de mest gaan drijven. Dit proces gaat waarschijnlijk makkelijk bij de veel dunnere vloeistof in de afdeling met water in de kelder en treedt niet op bij varkensmest. Als er dan niet zeer regelmatig van bovenaf water wordt toegevoegd zoals in de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' heeft deze drijfslag in de afdeling met water in de kelder ongeveer dezelfde samenstelling als de toplaag in de referentieafdeling. Omdat ammoniakemissie in een mestkelder veroorzaakt en beïnvloed wordt door de samenstelling van het mestoppervlak is dit waarschijnlijk de reden dat er geen of weinig reducerend effect op de ammoniakemissie is gevonden van de hoeveelheid water in de kelder vergeleken met de referentieafdeling.

### **Effect waterhoeveelheid**

Het hier beschreven onderzoek en de daarin gebruikte behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven' lijkt het meest op onderzoek dat is uitgevoerd door Kroodsma *et al.* (1993) en Huis in 't Veld *et al.* (1993). Ook daarin staat het effect van water op de ammoniakemissie uit melkveestallen centraal en wordt gevarieerd in spoeldruk, -duur en -interval. De gebruikte hoeveelheid water (50-110 liter per koe per dag) komt ook overeen met hoeveelheden in huidig onderzoek (35-85 liter per koe per dag) en net als huidig onderzoek wordt het effect bepaald door middel van vergelijkend onderzoek in een relatief kleine mechanisch geventileerde onderzoeksafdeling voor het doen van emissiemetingen. Verschil met Huis in 't Veld *et al.* (1993) is dat in huidig onderzoek een gelijktijdige referentieafdeling is meegenomen terwijl emissieresultaten toen zijn vergeleken met een referentieperiode eerder in het stalseizoen. De gemeten emissiereductie in Huis in 't Veld *et al.* (1993) varieerde tussen 21-73%. In het huidige onderzoek was dat 37-53% voor de behandelingen waarin het water via de spoelinstallatie werd toegediend. In tegenstelling tot de opzet in Huis in 't Veld *et al.* (1993) is in het huidige onderzoek niet gevarieerd met de hoeveelheid water of de sproeiduur of -frequentie. Mogelijk is die variatie in Huis in 't Veld *et al.* (1993) de reden van de grotere spreiding in die resultaten. Doordat in het huidige onderzoek niet gevarieerd is in genoemde factoren is niet af te

leiden wat de relatie is tussen waterhoeveelheid en emissiereductie. Daarvoor zou aanvullend onderzoek gedaan moeten worden.

### **Relatie met emissiefactor Rav**

In bijlage 1 van de Rav staat onder nummer A1.2 het gebruik van water op een roostervloer beschreven. Het systeem heeft een emissiefactor van 10,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar. Dat is 22% lager dan de emissiefactor voor overige huisvestingsystemen waar ook de betonnen roostervloer met mestopslag in de kelder onder valt. In de systeembeschrijving wordt het werkingsprincipe toegelicht. Daarin wordt voor deze maatregel alleen gewezen op de verlaging van de ammoniakconcentratie van het mestvocht op de vloer waardoor de ammoniakemissie van de roosters vermindert. Uit de resultaten van de mestanalyses in dit onderzoek blijkt dat er ook een verdunningseffect in de kelder optreedt. Vooral in de monsters die genomen zijn in de toplaag van de mest is dat duidelijk te zien: de ammoniumconcentratie daalt met de helft. Het werkingsprincipe van deze maatregel bestaat dus kennelijk ook uit verlaging van de ammoniumconcentratie in de toplaag van de mest door verdunning met water. Daarmee wordt het ook aannemelijker dat de huidige emissiefactor van 10,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar voor een roostervloer een overschatting is van de ammoniakemissie na toediening van (meer dan) 10 liter water per m<sup>2</sup> loopoppervlak. Hoewel er in twee verschillende jaren metingen zijn uitgevoerd is er echter nog onvoldoende spreiding in metingen binnen een kalenderjaar om de resultaten van dit onderzoek te kunnen vertalen naar een jaarrond emissiefactor.

### **Praktische aspecten**

Het gebruik van water om de ammoniakemissie te verminderen is ook bekend bij de toediening van drijfmest met een sleepvoetenmachine (Huijsmans *et al.*, 2017). Door het water al in de stal toe te dienen is nu ook een emissiereductie in de stal haalbaar. Er hoeft dan geen of minder water bij het uitrijden te worden toegediend. Nadeel van het toedienen van water in de stal is dat het mestvolume fors toeneemt en dus ook de opslagcapaciteit moet worden vergroot om minimaal 6 maanden mestopslag op het bedrijf te kunnen garanderen. Bij de hoeveelheid water dat in dit onderzoek is gebruikt betekent dit ongeveer een verdubbeling van de opslagcapaciteit. Dit brengt extra kosten met zich mee die onvermijdelijk zijn en dus toegerekend moeten worden aan deze reductiemaatregel. Om deze kosten te beperken zou gekozen kunnen worden voor een kortere periode waarin water wordt toegediend. Als alleen in de periode dat mest uitgereden mag worden water wordt toegediend zal er niet of minder extra opslagcapaciteit nodig zijn. De vermindering van de ammoniakemissie per jaar zal dan echter ook kleiner zijn. Terugwinning en hergebruik van het water uit de mest is ook mogelijk maar vraagt een uitgebreide mestverwerkingsinstallatie. Regen- of spoelwater kan ook ingezet worden, mits schoon.

Wanneer het toedienen van water in de stal erkend wordt als een maatregel om de ammoniakemissie te verminderen moet geborgd kunnen worden dat minimaal de voorgeschreven hoeveelheden water worden toegediend. Technische oplossingen in de vorm van elektronische watermeters en een besturingscomputer die meterstanden vastlegt, lijken voor een spoelinstallatie mogelijk en zijn al beschikbaar. De optie waarbij water in de kelder wordt gepompt is lastiger te controleren. Elektronische meters die het droge stofgehalte of geleidbaarheid van de mest volgen, of het mestniveau in de kelder registreren bieden wellicht uitkomst maar toepassingen in de praktijk moeten nog ontwikkeld worden.

De investeringskosten van de gebruikte spoelinstallatie bedroegen bijna 132 euro per dierplaats (prijsniveau 2017). Wanneer 60 liter water per dier per dag wordt gebruikt (bijna 22 m<sup>3</sup> per jaar) bedragen de waterkosten circa 20 euro per dier per jaar wanneer leidingwater wordt gebruikt.

Toepassing van spoelwater of opgevangen regenwater is in principe mogelijk maar vraagt extra opslag van regen- en spoelwater. Bij een jaarlijkse neerslag van 850 mm is bij een watergebruik van 60 liter per dier per dag ongeveer 25 m<sup>2</sup> oppervlak per dier nodig waarvan het regenwater wordt opgevangen.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

In twee opeenvolgende jaren is op Dairy Campus (Leeuwarden) onderzoek gedaan naar het effect van gebruik van water in combinatie met het regelmatig schuiven van de vloer op de ammoniakemissie uit melkveestallen met een roostervloer. Water is toegediend op twee manieren: regelmatig met een spoelsysteem over de vloer of éénmalig door de hoeveelheid water in de kelder te pompen. Zo zijn drie behandelingen ontstaan: 'Spoelen' (S), 'Spoelen en schuiven' (SS) en 'Water in kelder' (WK), die zijn vergeleken met een referentieafdeling zonder behandelingen.

Het watergebruik in de genoemde behandelingen was uitgedrukt per dier respectievelijk 68, 74 en 46 liter per dier(plaats) per dag of uitgedrukt per eenheid loopoppervlak respectievelijk 13, 13 en 8 liter per m<sup>2</sup> per dag.

- Gebruik van water verlaagt de ammoniakemissie significant mits dit water regelmatig over de vloer verspreid wordt.
- De behaalde emissiereductie was 37% voor 'Spoelen' en 40% voor 'Spoelen en schuiven' tijdens de hele behandelperiode.
- Het effect neemt in de loop van de tijd toe tot respectievelijk 53% en 52% tijdens de laatste drie weken van de behandelperiode.
- Door het eenmalig toedienen van water in de kelder wordt de ammoniakemissie niet significant verlaagd.
- Frequent schuiven van de roostervloer draagt niet significant bij aan verdere emissiereductie als de vloer ook regelmatig gespoeld wordt met water.
- Als gevolg van het gebruik van water was het droge stofgehalte en het ammoniumgehalte in de behandelingen met water significant lager dan in de referentie.
- Door de vorming van een drijf laag verschilt de samenstelling van de toplaag in behandeling 'Water in kelder' niet van de referentie en wordt het effect van water bij eenmalige toediening in de kelder weer tenietgedaan.
- Door gebruik van water ligt de pH van de vloer significant lager bij de behandelingen 'Spoelen' en 'Spoelen en schuiven'. Dit heeft een reducerende effect op de ammoniakemissie.
- Het oppervlak van een gesimuleerde urineplas verandert niet door frequent gebruik van water of frequent schuiven.

Aanbevolen wordt om een systeem voor het vastleggen van gebruikte waterhoeveelheden te ontwikkelen waardoor de maatregel ook vanuit perspectief van borging en handhaving acceptabel is. Verder zullen de kosten voor gebruik van water en opslag van extra mestvolume uitgewerkt moeten worden voor praktijksituaties. Het gebruik van oppervlaktewater, spoelwater of regenwater kan daarvan een onderdeel zijn. Als een relatie tussen watergebruik en reductie van ammoniakemissie bekend is kan waterverbruik geminimaliseerd worden of afgestemd worden op de te behalen emissiedoelen.



# Literatuur

- Bleijenberg, R., W.J. de Boer, W. Kroodsmas (1994a) Beperking van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal door het spoelen van roosters, het aanzuren van mest en het schuiven van een schijnvloer. IMAG-DLO Rapport, IMAG-DLO, Wageningen.
- Bleijenberg, R., W.J. de Boer; W. Kroodsmas (1994b) Beperking van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal door het spoelen van betonvloeren met een formalineoplossing, IMAG-DLO Rapport 94-33, IMAG-DLO, Wageningen.
- Groenestein, C.M., B. Reitsma (1995) Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXI: Zeugenstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten, Rapport 95-1004, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen. 22 p.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol, H.A. van Schooten, B.R. Verwijs, (2017) Ammoniakemissie bij met water verdunde mest toegediend met een sleepvoetenmachine op grasland. Resultaten 2016-2017. Wageningen Research, Rapport WPR-754. 35 p.
- Huis in 't Veld, J.W.H., W. Kroodsmas, S. van Westereenen (1993) Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van de roosters, Rapport 93-1, IMAG-DLO, Wageningen, 23 p.
- Huis in 't Veld, J.W.H., W. Kroodsmas, W.J. de Boer (1994a) Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van een hellende betonvloer, IMAG-DLO rapport 94-4, IMAG-DLO, Wageningen, 24 p.
- Huis in 't Veld, J.W.H., W.J. de Boer, W. Kroodsmas (1994b) Ammoniakemissiereductie door spoelen van een hellende, gecoate betonvloer in een rundveestal. IMAG-DLO rapport 94-7, IMAG-DLO, Wageningen, 25 p.
- Huis in 't Veld, J.W.H., Groenestein, C.M. (1995) Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXIV: Vleesvarkensstal met verdunning van mest door opvang in ammoniakvrije vloeistof, Rapport 95-1007, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen. 24 p.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol, H.A. van Schooten & B.R. Verwijs, 2017. Ammoniakemissie bij met water verdunde mest toegediend met een sleepvoetenmachine op grasland. Resultaten 2016-2017. Wageningen Research, Rapport WPR-754. 35 blz.; 5 fig.; 8 tab.; 8 ref.
- Kant, P.P.H. en C.J. Jagtenberg (1995) Ammoniakemissie bij melkvee na spoelen roosters, Rapport 98, Proefstation voor de Rundvee-, Schapen- en Paardenhouderij (PR), Lelystad, 27 p.
- Kroodsmas, W., J.W.H. Huis in 't Veld, R. Scholtens (1993) Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing, *Livestock Production Science*, 35 (1993), pp.: 293-302
- Monteny, G.J. en J.W. Erisman (1998) Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction, *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46 (1998) pp.: 225-247
- Monteny, G.J., D.D. Schult, A. Elzing, E.J.J. Lamaker (1998) A conceptual mechanistic model for the ammonia emissions from free stall cubicle dairy cow houses, *Transactions American Society of Agricultural Engineers* 41 (1), pp.: 193-201
- Ogink, N.W.M., W. Kroodsmas (1996) Reduction of ammonia emission from a cow cubicle house by flushing with water or a formalin solution, *Journal of Agricultural Engineering Research* (1996) 63 pp: 197-204
- Snoek, D.J.W., J.D. Stigter, N.W.M. Ogink, P.W.G. Groot Koerkamp (2014) Sensitivity analysis of mechanistic models for estimating ammonia emission from dairy cow urine puddles, *Biosystems Engineering* 121 (2014) pp:12-24.
- Snoek, D.J.W., J.D. Stigter, S.K. Blaauw, P.W.G. Groot Koerkamp, N.W.M. Ogink (2017), Assessing fresh urine puddle physics in commercial dairy cow houses, *Biosystems Engineering* 159 (2017), pp.:133-142
- Sommer, S.G., N. Hutchings (1995) Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture, *Water, Air, and Soil Pollution* 85 (1) pp.:237-248
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof & J. Vonk (2019). Emissies naar lucht uit de landbouw in 2017. Berekeningen met het model NEMA. WOT-technical report 147. WOT Natuur & Milieu, Wageningen UR, Wageningen.

berekend met NEMA voor 1990-2019. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 203. 238 p.; 26 tab.; 8 figs.; 72 ref.; 32 bijl.

Van Dooren, H.J.C. en M.C.J. Smits (2007) Reductieopties voor ammoniak- en methaanemissie uit huisvesting voor melkvee. Rapport 80, Animal Sciences Group, Wageningen UR, Lelystad, 70 p.

VSN International (2018). Genstat for Windows 19th Edition. VSN International, Hemel Hempstead, UK. Web page: [Genstat.co.uk](http://Genstat.co.uk)



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



---

Wageningen Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

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

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

