



Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20)

Ontwerpen voor huisvestingssystemen van melkvee met lage ammoniakemissie

Daniel Puente-Rodríguez & A.P. (Bram) Bos (editors)

REPORT 1162



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20)

Ontwerpen voor huisvestingssystemen van melkvee met lage ammoniakemissie

Daniel Puente-Rodríguez & A.P. (Bram) Bos (editors).

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en medegefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het TKI- Agrofood programma 'TKI-AF-14244' (PPS-nummer BO-22.04-012)

Wageningen Livestock Research
Wageningen, mei 2019

Deelnemende bedrijven: Agrifirm Exlan b.v., Anders Beton, GEA Farm Technology en VetVice.

Rapport 1162

Puente-Rodríguez, D. & Bos, A.P., 2019. *Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20): Ontwerpen voor huisvestingssystemen van melkvee met lage ammoniakemissie*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1162.

Samenvatting NL: De ambitie van het (publiek-privaat partnerschap) *Environmental Dairy Design for 2020* project was om de ammoniakemissie in melkveehouderijsystemen te reduceren tot minder dan 3 kilogram per dierplaats per jaar. Dit onderzoek laat zien dat het theoretisch mogelijk is om deze ambitie te bereiken door een combinatie van innovatieve oplossingen toe te passen. Bestaande systemen/praktijken, hoge investeringen en dynamiek en krachten in de markt vormen echter een serieuze belemmering voor deze innovaties. Hoewel in het uitgevoerde eindexperiment een ammoniakreductie van circa 50% ten opzichte van een standard Nederlands stalsysteem werd bereikt, werd de hoge doelstelling van het project niet bereikt. Het project heeft verder waardevolle kennis ontwikkeld en (waar mogelijk) tot *proofs of principle* gebracht voor de reductie van de emissie van ammoniak uit melkveehouderijsystemen en tegelijk gezorgd voor andere duurzaamheidseisen die gelden in 2020.

Summary UK: The objective of the (public-private partnership) *Environmental Dairy Design for 2020* project was to reduce ammonia emissions in dairy farming systems under 3 kilograms per animal place per year. This research shows that, in theory, it is possible to achieve this ambition through a combination of innovative solutions. However, current systems/practices, high required investments and market dynamics and forces form a serious obstacle for these innovations. Although an ammonia reduction of approximately 50% (compared to a standard Dutch livestock housing system) was achieved in the final experiment that was conducted, the ambitious objective of this project was not achieved. The research project has developed valuable knowledge and, where possible, brought it to proofs of principle for the reduction of ammonia emissions from dairy farming systems while at the same time ensuring other sustainability requirements that apply in 2020.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/474654> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2019 Wageningen Livestock Research
Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl,
www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

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.

Tekening cover: Agrifirm Exlan b.v.

Wageningen Livestock Research Rapport 1162

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Doelstelling	8
1.2	Reflexieve interactieve ontwerp-aanpak	8
2	Grip op de vliegende geest: ontstaansprocessen ammoniak	10
2.1	Vooraf	10
2.2	Leeswijzer	10
2.3	Samenvatting: waar praten we over?	10
2.3.1	Karakterisering melkveehouderijsysteem in NW Europa	10
2.3.2	De stikstofuitscheiding van een koe	11
2.3.3	Plaats en tijd	11
2.3.4	Probleemaanpak	12
2.4	Voer - Het voortraject	12
2.5	Bron - Theorie	13
2.6	Overdracht	16
2.7	Bron – Praktijk	17
2.8	Analyse huidige systemen	21
2.9	Ontwerprichtingen	23
2.9.1	Introductie	23
2.9.2	Tegenstellingen in het huidige systeem	24
2.9.3	Vanzelfsprekendheden en vooronderstellingen	24
2.9.4	Alternatieve benaderingen	25
2.9.5	Wat leren we van succesvolle bestaande alternatieven?	25
2.9.6	Nieuwe denkrichtingen	26
2.9.7	Mogelijke ontwerprichtingen	27
2.9.8	Conclusies	29
2.10	Literatuur	30
3	EDD20 – verkennende onderzoeksrichtingen	33
4	'Out of the ligbox denken': Eerste ontwerpronden	34
4.1	Aanpak tijdens de ontwerpateliers	35
4.2	Ontwerpatelier: Snel en volledig afvoeren van urine van een voor de koe goede vloer	35
4.2.1	Inzichten Ontwerpatelier	36
4.2.2	Ontwerpconcept 'zuivere vloer'	37
4.2.3	Ontwerpconcept 'sponsvloer'	38
4.2.4	Ontwerpconcept 'ballenbak'	39
4.2.5	Overige interessante oplossingen/suggesties	40
4.3	Ontwerpatelier: Luchtbehandeling & sturen met ventilatie	41
4.3.1	Inzichten ontwerpatelier	42
4.3.2	Ontwerpconcept 'micro- en macroklimaat scheiden: Airco-W®'	43
4.3.3	Ontwerpconcept '3B-vloer'	45
4.3.4	Overige interessante oplossingen/suggesties	45
4.4	Verschillende oppervlakken voor verschillende functies	46
4.4.1	Specialization of the overall Housing System based on Dairy Cattle Needs to Reduce Ammonia Emission using Structured Design – Engels	
	samenvatting	47
4.5	Evaluatie van ontwerpen en oplossingen	48
4.5.1	Tussentijdse evaluatie	48

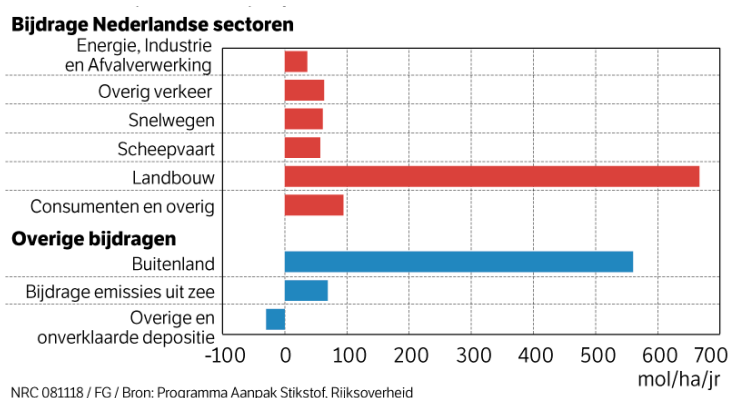
	4.5.2 Bespreking van een aantal principes en ontwerpconcepten	49
5	(Eerste ronde van) Verdiepende studies	53
5.1	Aard en potentie van urease-remmers & urease-opbouw remmen	53
5.2	Ontwerp alternatieve luchtwasser voor melkveestal.	60
5.3	Optimaal stalklimaat voor lage ammoniakemissies in melkveestallen.	67
6	Burgers en dichte stallen: Een verkenning naar het maatschappelijk belang van openheid van melkveestallen	69
7	Ontwerp alternatieve lagedruk luchtwasser	77
7.1	Beoordeling van de haalbaarheid van watergordijnen in natuurlijk geventileerde melkveestallen voor de reductie van ammoniak emissie	77
7.2	Modelling the reduction of ammonia emission from a naturally ventilated cow house through usage of an acidified water curtain	79
8	Hoe rekening houden met rundermest in het design? De waarde van mest.	81
8.1	Inleiding	81
8.2	Feiten en cijfers melkveemest	81
8.3	Be- en verwerking melkveemest	82
8.4	Sturen op mestkwaliteit	83
8.5	Mogelijke ontwikkelingen	83
8.6	Algemene conclusie	87
9	Ontwerprichting vloerprincipes	88
9.1	Ontwerp ateliers en onderzoek nieuwe vloer principes	88
9.1.1	(Exploratief) Ontwerp atelier nieuwe vloer principes september 2016	88
9.1.2	Ontwerpatelier ERGO+	93
9.2	Testprogramma vloeren – Plasdiepte en oppervlak bepaling	95
9.3	Kansrijke ontwerp concepten - vloersystemen	99
9.3.1	Soft Dairy Floor	99
9.3.2	ERGO +	103
10	Beperking de urease-activiteit met zuur en ontsmettingsmiddelen	106
10.1	Inleiding	106
10.2	Materiaal en methode	107
10.2.1	Vloertypen	107
10.2.2	Te testen middelen	108
10.2.3	Methode	109
10.2.4	Data analyse	111
10.3	Resultaten	111
10.3.1	Effect vloertype en zuur/desinfectie behandeling op urease-activiteit	111
10.4	Duur van effect zuur/desinfectie behandeling	113
10.5	Discussie	113
10.5.1	Gemetten resultaten	113
10.5.2	Effect op de ammoniakemissie	114
10.6	Conclusies	114
10.7	Literatuur	115
10.8	Beperking urease-activiteit op een betonnen sleuenvloer met een desinfectiemiddel	115
10.8.1	Inleiding	115
10.8.2	Materiaal en methode	116
10.8.3	Resultaten en discussie	119
10.8.4	Conclusies	121

10.9	Effect schoonmaken met een desinfectiemiddel op de ammoniakemissie van een betonnen sleuvenvloer	122
10.9.1	Inleiding	122
10.9.2	Materiaal en methode	122
10.9.3	Resultaten	124
10.9.4	Conclusies	126
11	Clean Flooring System – Dairy (CFS-Dairy)	127
11.1	Het CFS-Dairy Systeem = Gebruik van biocide om de urease-activiteit te beperken, de ECO+ vloer en de SRone + robot	128
11.2	Beloopbaarheid test	129
11.3	Bevuiling waarnemingen	133
11.4	Emissieperspectief van de ECO+-vloer met of zonder profilering, in combinatie met gebruik van biocide	136
11.4.1	Doelstelling	136
11.4.2	Materiaal en methode	136
11.4.3	Resultaten en discussie	139
12	Conclusies en vooruitblik	143
	Bijlage 1 Beschrijving van de meting van de urease-activiteit	145

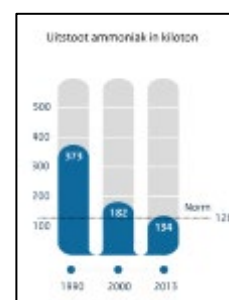
1 Inleiding

De ambitie van het *Environmental Dairy Design for 2020* (EDD20) project was om de ammoniakemissie in melkveehouderijsystemen te reduceren tot minder dan 3 kilogram (en zo mogelijk tot minder dan 1 kg) per dierplaats per jaar. Het project was een samenwerkingsverband van bedrijven in de agro-sector, namelijk Agrifirm/Exlan, GEA Farm Technologies, Anders Beton en Vetvice,¹ samen met het onderzoeksinstituut Wageningen Livestock Research. Het is medegefinancierd door de *TopSector Agro & Food*. Het project begon in 2015 en liep door tot het najaar van 2018. Het project was erop gericht sprongen te identificeren (en door te ontwikkelen naar *proofs of principle*) in de reductie van de emissie van ammoniak uit veehouderijsystemen voor melkvee, en tegelijk te voldoen aan andere duurzaamheidseisen die gelden in 2020. In dit rapport presenteren we het proces en de belangrijkste resultaten van dit project.

Ammoniak (NH_3) wordt geproduceerd als de (stikstofhoudende) organische verbinding ureum in contact komt met het enzym urease. Ureum komt in de urine van koeien voor, en urease in de feces. Ammoniak heeft een negatieve impact op het milieu vanwege de aantasting van ecosystemen en vermindering van biodiversiteit. Ammoniak is basisch maar door oxidatie in de lucht en in de bodem wordt het in salpeterzuur omgezet wat leidt tot de verzuring van bossen en natuurgebieden evenals de eutrofiëring van oppervlaktewateren.



Figuur 2 Gemiddelde opbouw stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden, in aantal mol per hectare per jaar, 2014.



Figuur 1 Nederlandse ammoniak-emissie en huidige EU norm.²

In Nederland komt het grootste deel van de ammoniak uit de veehouderij. Daarom heeft de overheid sinds eind vorige eeuw (o.a.) veel nadruk op ammoniakreductie gelegd. In Natura 2000-gebieden is landbouw de grootste bron van stikstofdepositie (Figuur 2). Ondernemers wiens bedrijven dichtbij belangrijk natuurgebieden liggen worden bijvoorbeeld (financieel) gestimuleerd om hun activiteiten te verplaatsen. Door de implementatie van emissiebeperkende maatregelen is de emissie van ammoniak uit de veehouderij sinds 1990 al sterk teruggedrongen. Een belangrijke maatregel is bijvoorbeeld het injecteren van drijfmest bij aanwending. Verder heeft de implementatie van emissiearme vloer- en stalsystemen, en luchtwassers een bijdrage geleverd. De totale emissie ligt echter nog wel boven het nationale emissieplafond dat is opgelegd door de Europese Commissie (Figuur 1).²

¹ Het bedrijf Inno+ was in 2015 ook betrokken bij het project.

² www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/international/infographic.aspx (geraadpleegd mei 2017).

Tabel 1 Emissie van ammoniak in kton per jaar per dierlijke sector 1990-2015.³

Categorie	1990	1995	2013	2015
Melkvee	162,1	80,9	47,8	53,7
Vleesrunderen	17,9	10,5	2,7	3,0
Vleeskalveren	4,0	2,7	3,9	4,6
Varkens (zeugen en vleesvarkens)	102,0	65,0	21,9	20,6
Leghennen	23,3	16,5	8,3	9,4
Vleeskuikens	12,7	8,5	3,7	3,9
Geiten	0,3	0,4	1,2	1,6
Schapen	3,0	2,9	0,5	0,5
Konijnen en pelsdieren	1,9	0,7	0,5	0,5
Paarden en pony's	1,1	1,5	1,3	1,1
Subtotaal veehouderij	328,3	189,6	91,9	99,0

De beoogde maatschappelijke meerwaarde van het EDD20 project was om een verantwoorde ontwikkeling van melkveebedrijven te faciliteren door innovatieve kennis en technologie in te zetten binnen scherpe randvoorwaarden t.a.v. milieu, rentabiliteit, diergezondheid, dierwelzijn en landschappelijke inpassing.

1.1 Doelstelling

Het doel van het project was om *voortbouwend op (deels te ontwikkelen fundamentele) kennis en principes, toekomstgerichte integrale veehouderijconcepten uit te werken die minder dan 3 kg NH₃ per dierplaats per jaar zouden kunnen uitstoten. De proofs of principle die uit het project voort zouden komen, zouden leiden tot deelinnovaties en nieuwe ontwerpen gebaseerd op (een combinatie van bestaande en) nieuwe technologie en kennis. Het idee was dat een netwerk/ecosysteem van bedrijven deze concepten en proofs of principle verder door zou ontwikkelen en zo dicht mogelijk naar de praktijk zou brengen.*

1.2 Reflexieve interactieve ontwerp-aanpak

Om op een geïntegreerde manier een grensverleggende sprong te maken in de ammoniakemissie van rundveehouderijssystemen en tegelijkertijd aan andere maatschappelijke randvoorwaarden van 2020 te voldoen (beter leef- en werkklimaat voor mens en dier, beter hergebruik van mineralen, hogere diergezondheid) hebben we gekozen voor een integrale, participatieve en reflexieve benadering. Deze benadering is geïnspireerd op de aanpak van *Reflexieve Interactief Ontwerpen* (RIO). Deze benadering waarborgt een systemische aanpak, evenals het integreren van de verschillende en heterogene doelen en kennis van de deelnemende stakeholders.

Naast de vaste consortiumbijeenkomsten waarin onderzoekers en vertegenwoordigers van het bedrijfsleven elkaar ontmoetten en informeerden over de laatste ontwikkelingen binnen het project en daarbuiten, zijn er binnen EDD20 verschillende activiteiten en studies uitgevoerd om kennis te ontwikkelen, de concurrerende positie van de deelnemende bedrijven te bevorderen en de puzzel van ammoniakreductie op te kunnen lossen, namelijk:

1. Studies gericht op het structureren van het probleem en het ontwikkelen van voldoende basiskennis voor het project en het consortium.

³ Bron historische data: Emissieregistratie.

-
2. Ontwerpateliers waarin kansrijke ideeën en oplossingsrichtingen werden uitgewerkt.
 3. Verdiepingsstudies en uitwerking van concepten waarin deelvragen en belangrijke aspecten zijn doorgrond en nieuwe ontwerpconcepten zijn uitgewerkt en op kleine schaal getest.
 4. Emissiemetingen en testen in de praktijk van het door de EDD20 consortium partners uitgekozen markttechnisch kansrijkste ontwerpconcept, het *Clean Flooring System-Dairy*.

Deze activiteiten zijn onlosmakelijk verbonden met elkaar. In dit rapport behandelen we deze activiteiten en resultaten echter afzonderlijk in de volgende hoofdstukken, om analytische en communicatieve redenen.

De kennis en innovaties die zijn ontwikkeld binnen dit project kunnen een bijdrage leveren aan de verdergaande reductie van de ammoniakemissie uit melkveestallen.



2 Grip op de vliegende geest: ontstaansprocessen ammoniak

D.A.J. Starmans & A.P. Bos

2.1 Vooraf

In een eerste onderdeel van het EDD 2020 project werd in 2015 ingegaan op de ontstaansprocessen van ammoniakemissie. Dit hoofdstuk is hiervan het verslag. Inzichten van na 2015 zijn niet meer meegenomen in dit hoofdstuk, dus de inhoud is deels gedateerd.

2.2 Leeswijzer

Na een eerste globale inventarisatie van de situatie wordt de nadruk gelegd op de functionele onderdelen die onderscheiden kunnen worden in het pad dat stikstof belooft: opname voer en uitscheiding mest & urine door de koe – fysisch / chemische processen in feces en urine – overdracht naar de lucht. Deze onderdelen worden nader uitgewerkt in de paragrafen 2 tot en met 6. Met deze kennis wordt vervolgens in paragraaf 7 kritisch gekeken naar de belangrijkste redenen voor ammoniakemissie in de huidige stallen en emissiearme stallen. In paragraaf 8 worden vooronderstellingen geduid en (deels) ter discussie gesteld om te komen tot een set uitdagende ontwerprichtingen voor EDD20.

We beantwoorden de volgende vragen:

1. Wat is ons inzicht over de orde van grootte en het ontstaan van ammoniak in tijd en plaats?
2. Welke soorten ingrepen om de emissie van ammoniak te beperken kunnen we onderscheiden, en welke worden nu al toegepast?
3. Wat zijn de belangrijkste redenen voor de resterende ammoniakemissie in de huidige (ook de 'emissie-arme') systemen?
4. Welke tegenstellingen in functies & eisen zitten een verdergaande ammoniakreductie in de weg?
5. Welke vanzelfsprekendheden en vooronderstellingen spelen een rol bij de huidige manier van omgaan met mest en ammoniak?
6. Welke van die vanzelfsprekendheden worden in alternatieve concepten en systemen ter discussie gesteld?
7. Wat zijn –gezien al het voorafgaande– voor ons project belangrijke richtingen om in ontwerpende zin aan verder te werken?

2.3 Samenvatting: waar praten we over?

2.3.1 Karakterisering melkveehouderijsysteem in NW Europa

Melkvee wordt in grote delen van de wereld gehouden in ligboxenstallen, die qua functionele ruimten voor de dieren bestaan uit ligboxen, loopruimte, staanplaatsen bij een voer hek en waterbakken, en melk- en wachtruimte. In Nederland en in delen van de omringende landen als België en Duitsland zijn de loopruimten uitgevoerd met een roostervloer, waardoor uitgescheiden urine en feces door de spleten kan worden getransporteerd, en opgevangen en opgeslagen in ondergelegen mestkelders; soms is een extra mestopslag buiten de stal aanwezig. Dit is bijzonder omdat elders in de wereld hoofdzakelijk met dichte vloeren wordt gewerkt, en het mestmengsel volledig wordt weggeschoven of weggespoeld over de lengte van de loopruimte naar een opslagruimte buiten de stal.

2.3.2 De stikstofuitscheiding van een koe

De forfaitaire bruto stikstofuitscheiding van een koe bedraagt 136,7 kg N per dier per jaar (Handreiking bedrijfsspecifieke excretie melkvee. Versie per 1 januari 2010). De Handreiking bedrijfsspecifieke excretie melkvee is bestemd voor melkveehouders die af willen wijken van de excretieforfaits voor melkvee in de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Na correctie voor gasvormige verliezen resteert er dan 120,6 kg N per dier per jaar in de mest; het verschil van 16.1 kg N wordt vooral veroorzaakt door ammoniakverliezen, en in beperkte mate door stikstofgas (N₂), lachgas (N₂O) en stikstofmonoxide (NO).

De stikstof wordt deels uitgescheiden in de feces in de vorm van onverteerde eiwitten en deels in de urine, in de vorm van ureum. De bijdrage van feces aan de ammoniakemissie wordt over het algemeen als zeer beperkt beschouwd omdat de afbraak van onverteerde eiwitten onder anaerobe (zuurstofarme) omstandigheden in de mest zeer langzaam verloopt. Door de langdurige opslag van grote hoeveelheden feces in de mestkelder kan de bijdrage aan de totale ammoniakemissie toch nog wel betekenisvol zijn. Goede gegevens over afbraakprocessen ontbreken echter. Algemeen wordt er daarom vanuit gegaan dat de ammoniakemissie uit ligboxenstallen hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de processen en vervluchtiging uit de urine.

Een lacterende melkkoe produceert ongeveer 40 kg urine en 48 kg feces per dag. Een koe urineert 7-9 keer per dag. In modelberekeningen met het Snelstalmodel wordt er vanuit gegaan (op basis van metingen van Monteny in periode 1995-2000) dat na elke urinelozing een urineplas achterblijft van 0,8 m² met een laagdikte van 0,5 mm. Dit is 0,4 liter, ofwel ± 10% van de urinelozing. Urine bevat 7,5 g ureum N/l, dus de achterblijvende plas bevat 3 gram N. Als we er vanuit gaan dat deze plas niet wordt weggeschoven of overspoeld door andere urine, dan zal alle N in de plas vervluchtigen als ammoniak. Inmiddels weten we uit waarnemingen en modelberekeningen dat die aanname zeer gerechtvaardigd is. Bij 10 urinelozingen per koe per dag levert dat een totale ammoniakemissie op van 10,95 kg NH₃ per koe per jaar.

Deze cijfers stellen ons in staat een indruk te geven van de opgave van dit project: om een emissie van 1 kg NH₃-N te halen moet de hoeveelheid urine die achterblijft op de vloer per lozing, en volledig uit emitteert, worden verminderd tot ca. 0,04 liter, ofwel 1% van de uitgescheiden hoeveelheid urine. En dan rekenen we de kelderemissie nog niet eens mee.

Om 1 kg n emissie per dierplaats per jaar te realiseren moet de hoeveelheid urine die blijft liggen in de stal worden verkleind tot onder de 1%.

2.3.3 Plaats en tijd

Ammoniakvorming treedt op als urine in contact komt met feces. Ammoniak is een afbraakproduct van de door het enzym urease (aanwezig in feces) gekatalyseerde omzetting van ureum (aanwezig in urine). Op nagenoeg alle bedrijven komen feces en urine bij elkaar en treedt emissie op van ammoniak. Urease komt nagenoeg overal voor, ook op een 'schoongeschoven' stalvloer. Alleen onder steriele omstandigheden is urease-activiteit afwezig, en zal omzetting van ureum niet plaatsvinden. Dit betekent praktisch gezien dat op ieder oppervlak waar urine terechtkomt omzetting van ureum zal plaatsvinden. Die omzetting gaat ook redelijk snel; binnen twee uur is alle ureum in een plas omgezet in ammoniak en kooldioxide. In paragraaf 4 wordt nader toegelicht welke parameters van invloed zijn op deze snelle reactie. Als ammoniak eenmaal gevormd is, is het slechts een kwestie van tijd dat dit in de vorm van ammoniak uit een plas vervluchtigd zal zijn: na 8-10 uur is er geen emissie meer uit een urineplas.

De stal en opslagen zijn samen verantwoordelijk voor 45% van de ammoniakemissie uit de melkveehouderij. De rest van de ammoniakemissie vindt plaats bij aanwending (53%) en beweiden (2%, Bron: NEMA). Jongvee draagt voor ongeveer een kwart bij aan de ammoniakemissie vanuit de

stal, opslag en weidegang (Bron: Proeftuin Natura 2000 Memo over Emissiereductie-opties bij opfok van vrouwelijk jongvee).

Bijna de helft van alle ammoniakemissie van de melkveehouderij komt uit de stal. Binnen een paar uur is alle ureum in een plas urine omgezet naar ammoniak en kooldioxide. Onder normale omstandigheden komt de eerste 5% ammoniak binnen 3 minuten vrij voor verdere emissie.

2.3.4 Probleemaanpak

Er zijn verschillende wegen om de emissie van ammoniak te voorkomen. Bij het reduceren van de ammoniakemissie richten we onze pijlen met name op de ammoniakemissie van de urine. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de emissie van de vloer en de emissie uit de kelder. De chemische en fysische processen zijn voor beide bronnen in principe hetzelfde, met dit belangrijke verschil dat de kelder een enigszins afgesloten systeem is. Bij beperkte luchtuitwisseling tussen kelder en stalruimte zal ammoniak zich ophopen in de kelder en de hogere ammoniakconcentratie zal een remmende werking hebben op de vervluchtiging van ammoniak uit de mestvloeistof.

Achtereenvolgens worden de volgende mogelijkheden nader uitgewerkt en samengevat:

- | | |
|---|---|
| 1. Verlagen ureum concentratie in urine
(bij gelijkblijvende hoeveelheid urine per lozing) | • Voer |
| 2. Voorkomen urease-reactie | • Gescheiden afvoeren en opslaan feces en urine/
• Sturen op procescondities |
| 3. Beperken NH ₃ -transport van vloeistof naar de
lucht | • Beperken emitterend oppervlak
• Voorkomen verspreiding naar omgeving |

2.4 Voer - Het voortraject

Het verband tussen voer, metabolisme van de koe, stikstofbenutting en ammoniakemissie werd al vroeg beschreven door Tillman¹. Er zijn twee hoofdsporen die worden belopen in dit traject:

A. Toevoegingen aan het voer kunnen zorgen voor:

1. Zure afbraakproducten in de feces. Hierdoor verschuift het zuur-base evenwicht van ammonium-ammoniak naar ammonium, waardoor de emissie van ammoniak wordt verlaagd. Zo worden essentiële oliën afgebroken tot isobutyraat, de zure vorm van de isobutyl bouwsteen van alle essentiële oliën.²
2. Zure onverteerde producten in de feces. Voorbeeld hiervan is de toevoeging van vetzuren laurinezuur (C12) en stearinezuur (C18).³ Ammoniakemissies bij de eerste zijn lager dan de laatste, maar de additionele methaan emissie (broeikasgas) zorgt voor een hogere milieubelasting omdat met name in opslagen deze koolstofbron wordt omgezet naar methaan.

B. Optimaliseren van de basissamenstelling van het voer:

1. Balanceren van het voor de koe benodigde en gevoerde ruw eiwit. Omdat de afbraak van eiwit gepaard gaat met het ontstaan van ureum, zijn er door de jaren heen tal van onderzoeken gefocust geweest op het minimaliseren van de hoeveelheid eiwit.⁴⁻¹⁰ De kern van het probleem achter "hoeveel voer je de koe" is de achtergrond / beweegreden van de boer voor het vinden van

een goede balans: te weinig eiwit voeren geeft immers een lagere productie per koe dan mogelijk, terwijl een zekere overmaat aan eiwit niet veel meer kost en wellicht sociaal wordt vergoelikt als goede zorg voor de dieren. Het feit dat milieuprestaties minder makkelijk zijn te herleiden als zijnde een direct gevolg van overvoeren maakt dit er niet makkelijker op. Sinds een aantal jaren zijn er bedrijfsspecifieke excretieberekeningen mogelijk die veehouders helpen om de balans te vinden tussen voldoende eiwit in het voer en beperken van het bedrijfsoverschot van stikstof en fosfaat.

2. Een tweede weg is het beïnvloeden van de verteerbaarheid van het voer. Substitutie van ruw eiwit met tannines^{11, 12} is hier een voorbeeld van. De verbeterde verteerbaarheid verschuift het aandeel stikstof dat in de melk terechtkomt, ten koste van het aandeel stikstof dat in de urine terechtkomt.

Andere toevoegmiddelen voor een algehele verbetering van het verteringsproces in de koe zijn de toevoeging van zaden (kokosnoot, katoen, en zonnebloem)¹³, oliën (kokosolie en visolie)¹⁴, dried distillers grains, zoals bierbostel¹⁵ en zeewier.¹⁶

Voeroptimalisatie kan zorgen voor een verlaagde ammoniakemissie door:

- Verlaging ureumconcentratie of -hoeveelheid in urine door verlaging van de hoeveelheid eiwit in het voer
- Verzuring van de mengmest door zure afbraakproducten in feces (maar dit vereist wél dat feces en urine samenkomen!)

2.5 Bron - Theorie

Kenmerkend voor de bron is de vorm waarin deze de stal inkomt. Feces en urine bevatten nagenoeg geen ammoniak; het ureum in urine wordt omgezet door het enzym urease (in bacteriën in de feces en op vervuilde stalvloeren) tot ammoniak en kooldioxide volgens:



Zowel ammoniak als kooldioxide lossen maar beperkt op in water, en zullen daarom ook vrijkomen bij deze reactie. Urease is een enzym (biokatalysator) en wordt niet verbruikt bij de reactie (het is wel nodig, vandaar dat het twee keer in de reactievergelijking is opgenomen).

Zoals alle chemische reacties, wordt ook de omzetting van ureum tot ammoniak en kooldioxide geregeerd door een aantal natuurlijke wetmatigheden. Zo is urease een eiwit met een specifieke reactieve plek waar bovengenoemde reactie optreedt. Voor een goede werking van dit molecuul dient het in zijn actieve vorm te zijn. De volgende factoren zijn van invloed op het goed functioneren van enzymen in het algemeen, met Urease als specifiek geval:

1. **Temperatuur**

Elk enzym-eiwit heeft zijn optimale bedrijfstemperatuur. Hoewel elke reactie sneller gaat bij een hogere temperatuur, treedt er bij eiwitten (dus ook Urease) denaturatie op bij hogere temperaturen. De optimale temperatuur voor de bovenstaande werking van urease ligt in de buurt van de 60 graden Celsius (er zijn verschillende vormen van urease).

Globaal kan gesteld worden dat een temperatuurverlaging van 10 graden Celsius ervoor zorgt dat de omzettingssnelheid van een reactie een factor 2 omlaag gaat. In een stal met een omgevingstemperatuur tussen de 5 en 15 graden Celsius werkt Urease dan ook veel minder snel dan bij de voor urease optimale temperatuur.

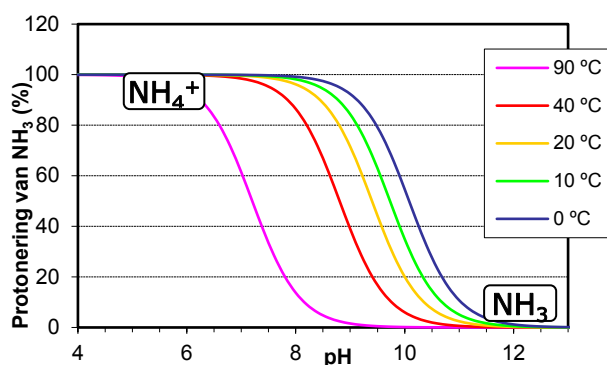
Temperatuur wordt erkend als belangrijke parameter in de ammoniakemissie.¹⁷⁻¹⁹ In stalsituaties neemt uitgescheiden urine echter al snel de lagere temperatuur van de omgeving aan. Daarna zijn andere parameters als ventilatiedebiet belangrijker voor de emissie, blijkt uit onderzoek van Dennis Snoek.⁴

Verdergaande (kunstmatige) koeling kan de emissie verder beperken, maar die beperking is alleen van kracht zolang de temperatuur ook daadwerkelijk is verlaagd. Bij opwarmen kan alsnog de omzetting van ureum optreden, waardoor er wederom ammoniakemissie kan optreden.

2. pH

De configuratie van het actieve centrum van Urease is afhankelijk van de zuurgraad van het medium. Urease heeft een optimale configuratie bij pH 7.4. De reactiesnelheid hangt sterk af van het microklimaat in de directe nabijheid van het actieve centrum van Urease.

Zowel ammoniak (base) als kooldioxide (zuur) ontwijken bij de omzetting van ureum. Beide stoffen hebben invloed op de pH en dienen daarom meegenomen te worden in beschrijvende modellen. Koeienmest is van nature basisch (pH 8 – 8.5). In die omstandigheden zal ammoniak eerder vervluchtigen dan kooldioxide.



Figuur 3 Protonering van ammoniak (NH_3) tot ammonium (NH_4^+) bij verschillende temperatuur. Bron: Starmans en BINAS.

De zuurgraad heeft ook invloed op het evenwicht tussen ammonium en ammoniak. Het vluchtige ammoniak kan in de vloeistoffase gehouden worden bij een voldoende lage pH. De invloed van temperatuur en pH op dit evenwicht is weergegeven in figuur 3. Zoals in Figuur 3 te zien is, neemt bij stijging van de temperatuur de protonering van ammoniak af (lees: de concentratie ammonium), waardoor er meer ammoniak getransporteerd kan worden naar de gasfase. Bij temperaturen onder de 20 graden is een zuurgraad van 7,5 genoeg om meer dan 99% van de aanwezige stikstof tot ammonium te protoneren.

Een hoge protoneringsgraad tot ammonium houdt echter niet in dat er geen ammoniak uit de vloeistoffase zal ontsnappen, immers er is nog een klein percentage ammoniak in de oplossing aanwezig. De gasfase boven de ammoniak-oplossing speelt hierin een belangrijke rol. Bij voldoende verversing van deze gasfase zal de concentratie ammoniak in deze fase laag zijn. Zelfs een klein concentratieverschil tussen de gas en vloeistoffase (gecorrigeerd voor de door Henry beschreven discontinuïteit bij de fase overgang, welke uitgebreid is gecatalogiseerd²⁰ en toegepast²¹ door Sander) zal dan nog zorgen voor een netto uittreden van ammoniak uit de vloeistof.¹⁸ En aangezien ammoniak convectief meegevoerd kan worden door de luchtstroom, kan er zelfs continu ammoniak via deze weg worden afgevoerd, zelfs bij lage pH in de

⁴ Snoek, J.W. 2016. Refining a model-based assessment strategy to estimate the ammonia emission from floors in dairy cow houses. in: *PhD thesis, Wageningen University, the Netherlands*, Vol. PhD, PhD thesis, Wageningen University, the Netherlands, pp. 182.

vloeistof. Het evenwicht tussen ammoniak en ammonium zal zich gewoon aanpassen aan de verdwijnende ammoniak en de daaraan gekoppelde verandering in de pH.

3. Medium

Het transport van substraat (in dit geval: ureum) naar het actieve centrum van een enzym wordt geregeerd door convectief (mechanische menging) en diffusief transport (moleculaire menging). Zowel het transport van substraat als reactieproducten tellen hierin mee.

In het geval van diffusie spelen de lading en afmeting van moleculen een grote rol in de geobserveerde diffusiesnelheid door een medium. De ionisatie (lading) en solvatatie (aanhangende watermantel in geval van water) van deze producten als gevolg van het medium waarin ze zich voortbewegen is daarom belangrijk.

4. Toegankelijkheid actief centrum: enzym activiteit

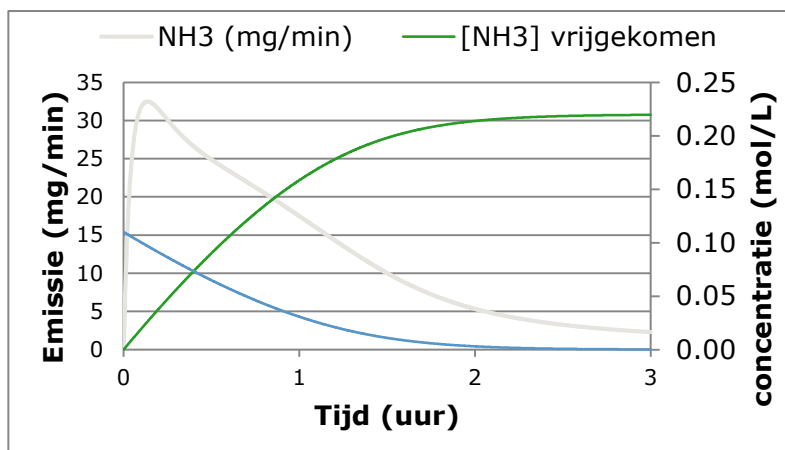
Het actieve centrum van een enzym (het deel van het enzym dat daadwerkelijk de reactie mogelijk maakt) moet goed toegankelijk zijn voor een snelle aanvoer van substraat en een snelle afvoer van reactieproducten, wil een enzym goed presteren. Om deze reden is er een verschil tussen een enzym in oplossing en een enzym op een oppervlak.

Een mengsel van urine en feces zal dan ook een andere toegankelijkheid van het actieve centrum van urease vertonen dan een ingedroogde hoeveelheid feces op een stalvloer die wordt overspoeld met urine. In een uitgebreid onderzoek met ingedroogde feces heeft Leinker²² een waarde van 1842 mg N-NH⁴⁺ per vierkante meter per uur gemeten. Dit is in overeenstemming met de waarden van 1578 - 2223 mg N-NH⁴⁺ per vierkante meter per uur zoals eerder gemeten.²³

5. Substraat

De omzettingssnelheid is een functie van de concentratie substraat. Immers, hoe hoger de concentratie, hoe sneller een ureum-molecuul in de buurt van het actieve centrum van urease kan komen. Kenmerkend voor een systeem is K_m , de concentratie substraat waarbij de helft van de maximale omzettingssnelheid S_m voor dat systeem wordt gehaald. In ideale gevallen wordt de omzettingssnelheid beschreven door de vergelijking van Michaëlis en Menten²⁴:

$$\frac{d[Product]}{dt} = \frac{S_m \times [Substraat]}{K_m + [Substraat]}$$



Figuur 4 Emissie en concentratieverloop als functie van de tijd (Michaëlis Menten kinetiek met kengetallen Monteny: $K_m=50 \text{ mol/m}^3$, $S_m=3,97 \cdot 10^{-2} \text{ mol/m}^3 \cdot \text{s}$).

Een dergelijk systeem wordt echter beschreven en beïnvloed door alle voorgaand genoemde grootheden. Dit houdt in dat urease in een urine-feces drijfmest een andere S_m en K_m heeft dan urease op een stalvloer. Dit wordt ook gevonden door Elzing en Monteny²⁵ (standaard emissieverloop weergegeven in figuur 4), die in hun discussie pleiten voor simulaties met

hogere K_m , maar dit vervolgens niet ten uitvoer brengen⁵. Recenter onderzoek heeft echter de verschillen aangetoond tussen vrij en geïmmobiliseerd urease.²⁶ Het voortschrijdend inzicht is dat immobilisatie gepaard gaat met een hogere K_m en een lagere S_m . In beide gevallen zal de concentratie vrijgekomen ammoniak (blauwe lijn) in figuur 4 minder steil lopen. Hierdoor verschuift de emissiepiek (paarse lijn) naar rechts.

6. Inhibitoren

Inhibitoren zijn stoffen welke een binding aan kunnen gaan met het actieve centrum van een enzym, maar niet worden omgezet in reactieproducten. Hierdoor blokkeren deze stoffen letterlijk de interactie tussen het actieve centrum en het substraat. Bekende inhibitoren van urease zijn zware metalen^{27, 28} zoals Pb^{2+} , Cr^{3+} en anorganische nanodeeltjes (ZnO , Cr_2O_3 , CuO en Ni)²⁹. Andere inhibitoren zijn polyfenolen³⁰, organische fosfor amides zoals N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBTPT)³¹ en N-(2-nitrophenyl) phosphoric triamide³², maar ook thiosulfinaten uit de perssappen van Allium en Brassica.³³

Een uitzonderlijk geval van inhibitie is auto-inhibitie. Dit kan plaatsvinden bij een te hoge concentratie substraat. Oancea et al.³⁴ toonden aan dat er voor ureum concentraties groter dan 40 mol/m³ auto-inhibitie optreedt. Typische ureumconcentraties in de urine van koeien liggen een factor 4 hoger dan deze waarde (160 mol/m³). Het gevolg hiervan is dat de omzetting van ureum achterblijft bij de voorspelde waarde volgens de Michaelis-Menten vergelijking, die de omzetting niet goed meer beschrijft.

De omzetting van ureum naar ammoniak en kooldioxide is te beïnvloeden door:

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. Temperatuur verlaging (beperkt) | • Verhogen oplosbaarheid van ammoniak in vloeistof |
| 2. pH van de mest verlagen | • Ammoniak in mest opnemen als ammonium
• Urease-activiteit verlagen |
| 3. Vochtigheid emitterend medium | • Transport van ureum verhinderen
• Bemoelijkijking werking van urease |
| 4. Concentratie ureum | • Lager is beter |
| 5. Inhibitoren (worden verbruikt) | • Blokkeren toegang naar het actieve centrum van urease |

2.6 Overdracht

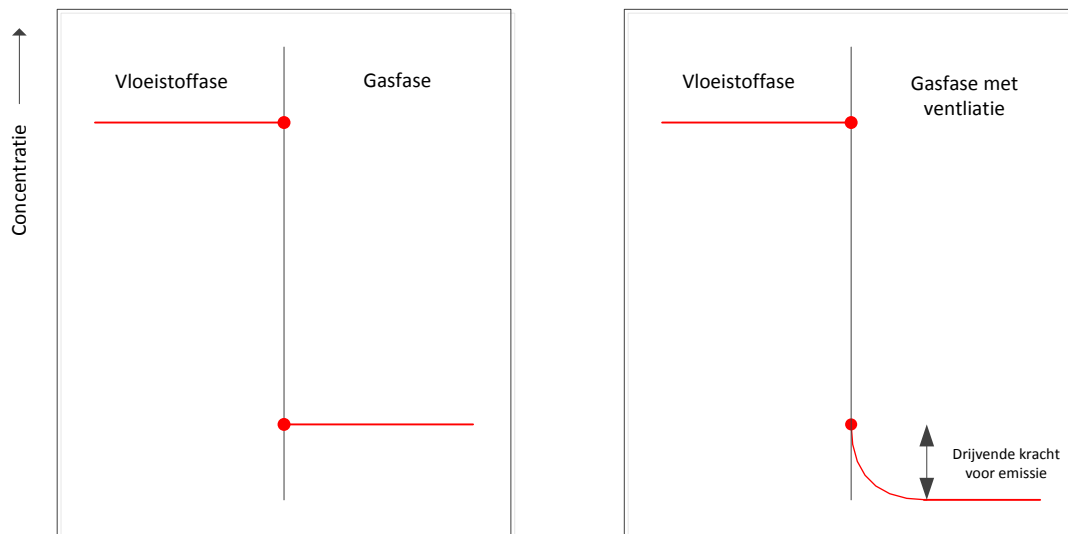
Vloeistof-gas overdracht

Kenmerkend voor een gasvloeistof overgang is de discontinuïteit in de concentratie van moleculen, precies aan het grensvlak. Deze discontinuïteit (schematisch weergegeven in figuur 5) werd in 1803 beschreven door William Henri: bij gelijkblijvende temperatuur is de hoeveelheid opgelost gas ($NH_3(aq)$) in een vloeistof (water, mest) lineair proportioneel aan de partiële dampspanning van het gas dat in evenwicht is met die vloeistof. Deze wijsheid laat zich via de normale gaswet vertalen in:

$$H_{cc} = \frac{[NH_3(aq)] \left(\frac{mol}{L}\right)}{[NH_3(g)] \left(\frac{mol}{L}\right)}$$

⁵ Het gebruik van een (te lage) K_m die gemeten is in vloeistofmengsels voor systemen waar de toegankelijkheid van Urease gehinderd wordt (stalvloeren), heeft tot gevolg dat er in modellen een vrijwel instantane omzetting optreedt van al het in de urine aanwezige ureum (minutenwerk). Uitgaan van een hogere (vermoedelijk realistischer) K_m betekent dat de omzetting meer tijd kost. Voor een stalontwerp maakt de beschikbare tijd om te handelen natuurlijk uit.

De temperatuurafhankelijkheid van H_{cc} is door veel onderzoekers onderzocht. Sander²⁰ vergaarde deze data en sorteerde deze naar de onderzochte gassen. Ook homogeniseerde hij de weergave van H_{cc} , een grootheid die op meerdere manieren geschreven kan worden. De bundeling van onderzoeksresultaten geeft in een oogopslag weer welke data waarschijnlijker zijn dan andere, welke metingen meer zijn te vertrouwen, en over welk temperatuurbereik. Een betrouwbare waarde voor H_{cc} is essentieel voor de modellering van de ammoniakemissie.



Figuur 5 Schematische weergave van een vloeistof-gas grensvlak onder twee condities. In rood de concentratie ammoniak (verticale as). In het linker plaatje is er geen ventilatie (stolp, geen emissie), terwijl in de rechter situatie ventilatie over het oppervlak plaatsvindt.

Gas-gas overdracht

Op het boerenbedrijf vindt ook gas-gas 'overdracht' plaats. Bij het verpompen van mest naar een tankauto of oplegger stroomt er immers gas vanuit de tank naar de omgeving. Kenmerkend voor een dergelijke emissiebron zijn de relatief hoge concentraties en het kortstondige karakter van de emissie.

2.7 Bron – Praktijk

Met de eerder geschetste parameters voor ammoniak bronnen in het achterhoofd, kunnen er gerichte maatregelen worden aangedragen voor het verminderen van de ammoniakemissie. Enkele systemen zijn al operationeel. In de literatuur (*) en de in de RAV erkende systemen (•) zijn de volgende maatregelen beschreven:

1. Primaire scheiding van urine en feces + afvoer

Primaire scheiding³⁵ zorgt er *theoretisch* voor dat het substraat ureum niet in de buurt kan komen van urease. Indien de urine zou worden opgevangen in een vrijwel steriele omgeving, wordt de vorming van ammoniak zo in de kiem gesmoord. Echter, in de praktijk is het echter verduiveld lastig om een perfecte scheiding te realiseren. Urease uit mest zal bv. zelfs op een goed schoongeveegde vloer nog steeds voldoende beschikbaar zijn om de reactie op gang te brengen en te houden. In praktijkomstandigheden is het voor de beperking van het ontstaan van ammoniak daarom veel belangrijker de urine snel en apart *af te voeren* naar een controleerbare opslag, dan het gescheiden houden van feces en urine op zichzelf.

Er zijn verschillende manieren om een vorm van primaire scheiding te bewerkstelligen. Een voorspelling is dat het systeem met het minste contact tussen urine en mest / vervuilde vaste oppervlakken, de laagste ammoniakemissie zal laten zien.³⁶ Afhankelijk van de gekozen uitvoeringsvorm van het systeem kan vaste mest de afvoer van urine in meer of mindere mate beperken. Bij urinering op een zware vervuiling met vaste mest zal urease zich meer in

oplossing bevinden en gemakkelijker zijn werk kunnen doen dan bij een systeem met slechts lichte vervuiling (bij gebruik van een mestrobot of schraper). Kenmerkende vraag hierbij: is de omzetting van ureum door urease een volume- of een oppervlakte-effect?

Praktijkoplossingen gaan uit van:

- Sleuenvloer zonder afvoergaten (14% tot 16% reductie)

Een snelle afvoer van urine wordt door de sleuven in een sleuenvloer bewerkstelligd. De urine vindt zo zijn weg naar een aparte opslag, weg van de vaste mest (bron van urease). Door de partiële afsluiting van de kelder vindt er ook minder luchtuitwisseling met de kelder plaats. Echter, in veel uitvoeringen blijft er nog lang urine in de sleuven staan omdat de urine zijwaarts wordt afgevoerd (en niet via gaten naar onderen). Die urine emitteert vervolgens.

- * Sleuenvloer met drainage gaatjes (mogelijk tot 50% reductie)

Door toepassing van drainage gaatjes in een sleuenvloer hoeft urine een kleinere afstand af te leggen voordat het in de aparte opvang terecht komt (maximaal de halve afstand tussen de gaten). Hierdoor komt de urine gemiddeld minder feces (=urease) tegen, waardoor de omzetting naar ammoniak wordt verlaagd. Het originele patent van Swierstra³⁸ is inmiddels twee keer voorzien van een nieuwe saus door achtereenvolgens Swaans³⁹ (2001, ruitvormige groeven, met drainage gaten) en JOZ BV.⁴⁰ (2010, parallel geplaatste groeven met drainage gaten, van rubber materiaal). Er is bij die versies geen sprake van groeven met een wijder wordende, conische uitloop naar onderen, om verstoppingen tegen te gaan.⁴¹

2. • Hellende vloeren en giergoten (16% tot 22% reductie)

Versnelde afvoer van urine is mogelijk door de helling van de vloer en de gemaakte sleuven. De sleuven eindigen in een aparte giergoot, waarlangs de urine wordt afgevoerd naar een afzonderlijke opslag. Experimenten met variërende hellingshoek gaven aan dat bij 3% helling er een afdoende winst in de afvoersnelheid te verkrijgen is.³⁷

- * Bolle band systeem

Een gladde band onder de roosters waarop de feces blijft liggen en de urine vanaf loopt naar een apart gootsysteem. De vaste feces wordt een aantal malen per dag afgedraaid naar een aparte opslag voor vaste mest. Dit systeem is vooral toegepast bij (proef)stallen voor varkens (Hercules systeem / StarPlus/Kempfarm systeem), maar her en der ook in de kalverhouderij. De bolle, tegenwoordig v-vormige band bestrijkt het gehele roosteroppervlak, waardoor de uitvoering voor koeienstallen groter dient te zijn dan voor varkensstallen. De materiaalkeuze van de band heeft overigens een belangrijke invloed op de effectiviteit van de emissiereductie, omdat zich op sommige materialen veel minder ureasevormende bacteriën kunnen vestigen dan op andere. Bij het StarPlus-systeem werden reducties van meer dan 50% op stalniveau behaald.

- Toepassing mestschuif (22% tot 30% reductie, in combinatie met specifieke vloersystemen)
- Mestschuiven worden al dan niet uitgevoerd met "vingers" die goten schoonhouden. Het gevaar van sleuven en goten is vervuiling en daardoor opstopping. Mestschuiven met al dan niet aangepaste schuifafmetingen (tanden) vegen de vaste feces van de vloer waardoor er een betere afvoer van de urine kan plaatsvinden, "zonder" dat het direct met feces in aanraking komt.

3. **Temperatuur verlagen**

Zoals eerder aangegeven lopen reacties minder snel bij lagere temperaturen.

Praktijkoplossing:

- Koeldekstelsysteem voor koelen van drijfmest (beschreven voor varkens)

Koelen van de mest onder de roosters met een drijvend koellichaam. Omdat de maximale omzetsnelheid van urease bij 60 graden Celsius ligt en de staltemperatuur rond de 20 graden of lager ligt, is het merendeel (94%) van deze maximale omzetsnelheid al gereduceerd. Additionele koeling van de drijfmest van 20 naar 10 graden geeft wederom een factor 2 daling in de omzetsnelheid, waardoor deze is teruggebracht tot 3% van de maximum waarde.

Kantttekeningen bij het koeldekstelsysteem liggen vooral op het vlak van de technische realisatie. Het koellichaam gaat met het mestniveau mee op en neer, waardoor er mechanisch veel

verlangd wordt van de aansluitingen van aan- en afvoerslangen van het koelmedium. Lekkages hierin zijn slecht tot niet waarneembaar omdat het geheel zich op het mestniveau bevindt.

4. **Verlagen emitterend oppervlak**

- Beperkingen aan de maximaal besmeurde oppervlakken, bijvoorbeeld door de oppervlakte per koe te verkleinen

Het besef dat bevuilde / besmeurde oppervlakken een urease-activiteit hebben wordt erkend in het onderzoek van Braam⁴² en Leinker²². Als er wordt uitgegaan van een willekeurige depositie van urine door koeien, zal beperking van de besmeurde oppervlakken kunnen leiden tot een verlaging van de omzetting van ureum tot ammoniak. Beperking van het leefoppervlak van koeien staat echter op gespannen voet met dierenwelzijns-eisen.

5. **Verdunnen van de ureum**

- Spoelsystemen voor een versnelde afvoer en verdunning ureum (rond de 30% reductie) Spoelsystemen kunnen vast zijn gemonteerd als deel van de stalinrichting,⁴³ maar ook zijn gemonteerd op de mestschuif.⁴⁴ Ook kan er gespoeld worden door middel van een eb-vloed regeling.⁴⁵ Door de grote invloed van de zuurgraad van de vloeibare mest op de ammoniakemissie, wordt er veel gespoeld met zure media (aangezuurde mest⁴⁶ of water). Een medium van het eerste uur is formaldehyde,^{47, 48} dat werd toegepast vanwege zijn desinfecterende werking. Het grote nadeel van verdunnen is de volumetoename van de mest.

6. **Snelle afvoer van mestproducten**

Snelle afvoer van urine kan worden bespoedigd door een hellende vloer die al dan niet is voorzien van sleuven en/of gaten. Vaste mest kan door middel van mestrobots, of een mestschuif worden verzameld. Snelle afvoer van mestproducten kan gecombineerd worden met primaire scheiding.

7. **Opslaan van mestproducten**

Zowel vaste mest als urine kunnen worden opgeslagen in een afgesloten ruimte. In principe zijn hieruit geen emissies te verwachten, zolang de vaste mest of urine daarin blijven.

* Aparte opslag met afdekking

Mestvloeistof kan worden afgescheiden van zijn omgeving in silo's die zijn afgedekt met folie.⁴⁹ Kenmerken voor een goede folie zijn chemische resistentie (ammoniak en H₂S zijn agressieve stoffen die swelling van de polymeermatrix kunnen veroorzaken en hydrolyse van polymeerketens kunnen accelereren).

8. **Opwerpen van een barrière om de bron af te scheiden van zijn omgeving (in het geval van opslag in kelders onder de vloer)**

- Gebruik van terugverende afsluitflappen in roosterspleten (26% tot 57% reductie)

* Afsluiten met fysieke laag (balansballen, toegepast met gemengde resultaten)

De fysieke afscheiding tussen vloeistof en gasfase blijkt door het gebruik van balansballen niet te leiden tot een verlaging van de emissies.⁵⁰

* Afsluiten met olielaag

Toepassing van ontmenging van olie en water kan worden toegepast om mestvloeistoffen af te sluiten van hun omgeving.⁵¹⁻⁵⁵ Door hun verschil in soortelijk gewicht drijven oliën op water. Omdat de concentratie ammoniak in een olie-fase vele malen lager is dan in water, fungeert een drijvende olielaag als een vloeibare afdekking van mestvloeistoffen. Waar het in deze techniek misgaat is het feit dat er altijd een klein deel van de olie wordt meegenomen met de afgevoerde mest. De vaak dure olielaag gaat daarom maar beperkt mee.

Bij koeienmest komen drijfvlagen voor die een egale spreiding van de olie kunnen verhinderen, waardoor er alsnog emissies kunnen optreden.

9. **In situ afvangen van ammoniak**

* Toevoegen zeoliet om ammoniak af te vangen

Zeolieten zijn anorganische aluminium-silicaat-verbindingen met een zeer specifieke structuur met holtes. De diameter van de kanaal-vormige holtes is afhankelijk van de chemische samenstelling van de zeoliet. Er zijn zeolieten die per gram zeoliet, 2 mg ammoniak kunnen

10. **Post emissie afvangen van ammoniak**

Ammoniak hoeft geen probleem te worden als het meteen wordt afgezogen en wordt ingevangen in speciale luchtwassers. Hierbij verdient het aanbeveling om zo dicht mogelijk bij de bron te beginnen met afzuigen (zelfs onderin de put). Er zijn verschillende uitvoeringen luchtwassers beschreven:

- Chemische wassen (60% tot 95% reductie)

In chemische wassers wordt vervuilde lucht in contact gebracht met een zure waterfase, welke langs een open pakking of lamellen stroomt. Ammoniak uit de lucht wordt ingevangen als ammonium in de waterfase.^{59, 60}

- Biologisch wassen (rond de 70% reductie)

In biologische wassers wordt vervuilde lucht in contact gebracht met een populatie bacteriën, welke ammoniak in twee stappen omzetten in het wateroplosbare nitriet en nitraat. Beluchting van de actieve fase is heel belangrijk, omdat een te hoge concentratie nitriet giftig is voor de bacteriepopulatie.^{61, 62} Additioneel wordt geur afgebroken in een biologische wasser.

- Gecombineerde luchtwasser (rond de 95% reductie)

Een gecombineerde luchtwasser bestaat uit een aaneenschakeling van een chemische- en een biologische luchtwasser. Het voordeel van een gecombineerde luchtwasser is de verwijdering van geur naast de verwijdering van ammoniak. De verlaging van het stikstofgehalte door de chemische wasser zorgt voor een beter functioneren van de biologische wasser, omdat de C/N verhouding hoger is en er daarom minder, voor bacteriën, giftige tussenproducten ontstaan.

- In Denemarken wordt gewerkt aan een zogenaamd hybride ventilatiesysteem voor rundvee met onderafzuiging van de kelders; hierbij worden redelijke resultaten geboekt, in de orde van 30-50% reductie.

11. **Weidegang**

De ammoniakemissie bij weidegang is veel lager (als berekende stelregel wordt per uur weidegang 3,3 gram minder NH₃ aangehouden) dan in huidige stalsituaties. Ureum in urine wordt omgezet door het bodemleven tot ammonium en nitraat, wat deels opgenomen wordt door het gewas en deels wegspoelt naar het grondwater.

Overigens wijst recent experimenteel onderzoek op Dairy Campus uit dat er in de periode ná opstallen (bij het begin van de weidegang) nog veel langer emissies uit de stal te meten zijn dan gedacht. Weidegang heeft dus bij gebruik van de huidige stalsystemen geen instantane reductie van ammoniakemissie tot gevolg.

12. **Nieuwe systemen**

- * Koeientuin met weidevloer

De koeientuin is een zeer open stal met veel ruimte. De hightech vloer heeft een toplaag van kunststof met gaatjes, welke zorgen voor de scheiding tussen urine en feces. Een mestrobot raapt de feces op en brengt het naar een centrale plaats.⁶³ De emissiefactor is (ons) nog onbekend.

- * Drainagevloer

Via drainering afvoeren van urine. In één implementatie wordt vaste mest gescheiden van de bovenste laag grof materiaal via een schraapsysteem en een roterende zeef (nog in ontwikkeling).

13. **Vastleggen van stikstof**

Het vastleggen van stikstof is het chemisch omzetten van stikstof (in ons geval ammoniak) in andere verbindingen die minder schadelijk zijn en/of minder effecten hebben bij emissie naar het milieu.

- * Compostering

Bij compostering worden beschikbare stikstof en koolstof omgezet in bacteriemateriaal. Een optimale verhouding hiervoor is C:N = 20:1. Als er te weinig koolstof is, dan wordt het overtollig stikstof als ammoniak uitgestoten. Is er structureel te veel koolstof, dan zal stikstof

door de microflora van elders worden betrokken. Dit principe wordt in een deel van de vrijloopstallen toegepast. Recent onderzoek van WLR-collega Herman de Boer⁶ heeft laten zien dat bij goed management van de composteringsbodem dit principe lijkt te werken en N verlies beperkt kan zijn als er maar voldoende koolstof wordt toegevoegd en de temperatuur rond de 50°C blijft. Voor composteringsprocessen is dat heel bijzonder, omdat de vuistregel is dat 40-50% van de N verloren gaat bij compostering, en niet alleen in de vorm van NH₃, maar bv. ook in de vorm van het zeer sterke broeikasgas N₂O (lachgas).

* Nitrificatie / denitrificatie

Via nitriet en nitraat kan ammoniak ook worden omgezet tot stikstof (N₂). De twee stappen worden verricht door twee soorten bacteriën die elk onder speciale omstandigheden leven. De nitrificerende bacteriën werken in een zuurstofrijke omgeving en oxideren de ammonium tot nitriet (NO₂⁻) en nitraat (NO₃⁻). De denitrificerende bacteriën gedijen in een zuurstofarm milieu, deze reduceren de stikstof tot N₂. Deze procescondities zijn op grote schaal gerealiseerd in de kalvergier verwerkingsinstallaties van Mestverwerking Gelderland.⁶⁴

Emissiebeperkende maatregelen in de praktijk kunnen worden gebaseerd op:

1. Gescheiden afvoeren én opslaan van urine en feces
2. Sturen op procescondities (vochtigheid, concentratie ureum, temperatuur, pH)
3. Verkleining emitterend oppervlak (verkleinen verhouding oppervlak/mestvolume)
4. Snelle afvoer naar opslagen
5. Afgesloten opslag / barrière tussen opslag en omgeving
6. Lokaal afvangen van geproduceerde ammoniak met luchtwassers
7. Afwenteling naar andere domeinen via weidegang
8. Vastleggen van ammoniak-stikstof door composteren
9. Omzetten van ammoniak naar N₂

Stand van zaken 2015:

Traditionele roostervloeren scoren op punten 3 en 4
Emissiearme roostervloeren scoren op punten 3, 4 en 5

2.8 Analyse huidige systemen

In deze paragraaf worden de belangrijkste redenen voor de resterende ammoniakemissie in huidige (ook emissiearme) (stal)systemen toegelicht en kort verklaard vanuit de voorafgaande theorie.

1. Toepassing van bestaande reinigingsprincipes (schuiven, spoelen met water) op bestaande vloeroppervlakten (beton, rubber) is onvoldoende om de urease-activiteit vergaand te verminderen. Er blijven voldoende mestdeeltjes met urease achter in b.v. poriën die voor snelle omzetting van ureum in urineplassen naar ammoniak zorgen.
2. In nagenoeg alle systemen worden feces en urine gemengd tot drijfmest en opgeslagen in kelders onder roostervloeren. Drijfmest in de kelders moet bovendien regelmatig gemixt worden, om permanente ontmenging te voorkomen. Door luchtuitwisseling tussen kelder en stalvolume draagt de mest in een kelder bij melkveestallen naar schatting 30-40% bij aan de totale ammoniakemissie van een stal.
 - De functies opslaan van urine en opslaan van feces zijn gecombineerd in één oplossing.
3. Feces en urine worden in verticale richting getransporteerd van de bovenkant van de vloer naar de ondergelegen opslag. De vloer moet zowel de functies 'koeien dragen' als 'doorlaten'

⁶ http://veeteelt.nl/sites/default/files/vx18_p22corr.pdf (geraadpleegd april 2019).

feces en urine' verzorgen. De oplossing van huidige roostervloeren is lange brede spleten in het gehele oppervlak. Maar daardoor is er veel luchtuitwisseling tussen kelder en stalvolume. Standaard betonroosters in melkveestallen hebben 18-20% doorlaat.

- Aan de eisen voor de functies transporteren feces en urine (grote doorlaten) en afsluiten (minimale doorlaten) kan niet tegelijkertijd worden voldaan met huidige roostervloeren.
4. De oplossing van veel emissiearme vloeren is een dichte vloer met een beperkt aantal afvoerspleten, eventueel voorzien van flappen om de luchtuitwisseling tussen kelder en stalvolume tot een minimum te beperken. Toepassing van minder spleten vereist dat horizontaal transport van feces en urine nodig is van de plek van depositie naar doorlaten zoals bv. gaten (voor urine) of de spleet (voor feces). Recent onderzoek heeft laten zien dat urine zich over een groot oppervlak van een dichte vloer kan verspreiden voordat het via bv. kleine gootjes bij een doorlaatpunt in de vloer komt. Passief horizontaal transport op beton gaat bovendien langzaam en onvolledig. Er blijft daardoor op een groter oppervlak een dun laagje urine achter. Dat is waarschijnlijk de verklaring dat de emissiearme vloersystemen die ontwikkeld zijn en doorgemeten, slechts een beperkte emissiereductie laten zien van 20-30%. Daarbij is ook nog onduidelijk of en in welke mate afgesloten kelders bijdragen aan de totale stalemissie.
 - horizontaal transport van urine over bestaande vloermaterialen zorgt voor een groot oppervlak met een dun laagje urine
 - er is onvoldoende kennis over luchtuitwisseling tussen kelder en stalvolume, zowel bij roostervloeren als dichte emissiearme vloeren.
 5. Een kleine hoeveelheid achterblijvende urine op het leefoppervlak kan verantwoordelijk zijn voor een relatief groot deel van de emissie. Onderzoek van Dennis Snoek (2016) laat zien dat een plas urine bij gangbare emissiearme vloeren verspreid wordt over een groot oppervlak (tot wel 1.8 m²), en niet volledig wordt afgevoerd. Wat resteert emitteert volledig. Om het potentiële effect daarvan aan te geven: een plas urine van 1 mm verspreid over 1,8 m² is al 1,8 liter. Als één koe zo'n plas jaarrond zou produceren in een stalsituatie zou dat een emissie van bijna 50 kg NH₃ per koe per jaar opleveren.
 - Relatief kleine hoeveelheden urine die achterblijven op oppervlakken kunnen mogelijk dus al verantwoordelijk zijn voor een groot deel van de jaarlijkse emissie per dierplaats.
 6. De huidige vloer in ligboxenstallen moet een aantal functies combineren, namelijk:
 - Urine doorlaten
 - Feces doorlaten
 - Verspreiden urine tegengaan (vergroten plas)
 - Horizontaal transporteren van urine naar doorlaat punt, met eis dat nauwelijks urine achterblijft
 - Horizontaal transporteren van feces naar doorlaat punt, met de eis dat nauwelijks feces achterblijft
 - Koeien dragen
 - Diverse gedragingen van koeien faciliteren (lopen, interactie, etc.); dit vereist comfort en grip voor de koe
 - De huidige oplossingen van roostervloeren en emissiearme vloeren zijn maar beperkt in staat om al deze functies te vervullen én waarbij aan de eisen wordt voldaan.
 7. Primaire scheiding van feces en urine in combinatie met het snel afvoeren van (m.n.) urine naar een aparte en afgesloten opslag is een heel effectieve manier om ammoniakemissie tegen te gaan. Hiermee zijn goede ervaringen bij mestvarkens waar een v-vormige mestband onder de roosters de scheiding en afzonderlijk transport van urine en feces combineert (60-70% reductie NH₃ emissie). Bij varkens is dat reductiepercentage waarschijnlijk wel hoger dan bij melkvee omdat bij varkensstallen de kelderemissie in de referentie groter is. Van de sleufvloer met gaatjes is bekend dat deze ook een hele goede scheiding van urine en feces realiseerde. Een van de nadelen bij deze en ook andere emissiearme vloeren is dat er ingedroogde mestlaagjes ontstaan (i.c.m. schuiven) op de vloer waardoor beloopbaarheid voor de dieren achteruit gaat (vloer wordt glad).

- In huidige ligboxenstallen kunnen koeien overal lopen en laten ook op het gehele beschikbare oppervlak feces en urine achter. Dit vereist een vloeroplossing voor het gehele leefoppervlak van de koe.
 - Heel vaak schuiven van vloeren (bv. elk uur; ervaring emissiearme vloeren) draagt bij aan verlagen emissie, waarschijnlijk door wegschuiven en/of verdunnen van urineplassen, zodat die niet volledig uitemitteren.
 - Schuiven leidt daarnaast op geprofileerde vloeren tot verspreiding van feces en versmering over een groot oppervlak.
8. Luchtwassers voor de stal zijn heel effectief om ammoniak af te vangen, maar vereisen een veehouderijsysteem dat maatschappelijk als ongewenst wordt gezien, omdat het mechanisch geventileerd en (dus) goeddeels dicht moet zijn (onder de aanname dat we luchtwassing toepassen zoals bij varkens- en kippenstallen). Toepassing van luchtwassers op onderdelen van de stal (bv. lucht uit de kelder) lijkt perspectief te bieden (o.a. onderzoek in Denemarken).⁷
- Voor de functie 'alle uitgaande lucht zuiveren' is nog geen oplossing op de markt die te combineren is met de eis van 'open stallen'.
9. Naast deze technische redenen speelt natuurlijk ook mee dat de budgetten voor ontwikkelingskosten voor R&D, en financiële ruimte van afnemers (veehouders) voor hogere productiekosten van emissiebeperkende technieken beperkt zijn, en er tot voor kort ook nog relatief (t.o.v. de intensieve sectoren) weinig druk op de melkveehouderij werd gelegd om de emissie van ammoniak verder te reduceren.

2.9 Ontwerprichtingen

2.9.1 Introductie

Het uiteindelijke doel van het project EDD 2020 is "het ontwerp van geïntegreerde kalver- en melkveehouderijsystemen binnen milieुरandvoorwaarden voor 2020 en verder". Een belangrijke centrale ambitie daarbij is een vergaande reductie van de emissie van ammoniak uit de stal (+ opslagen) van < 1 kg per dierplaats per jaar. Het is duidelijk dat dit op zichzelf al een enorme uitdaging is. Gezien het overkoepelende doel is de taak nog groter, omdat oplossingen voor de emissie-ambitie moeten passen in een samenhangend systeem, waarin ook zaken als dierenwelzijn, diergezondheid en bedrijfstechnisch resultaat op het niveau zijn dat in 2020 maatschappelijk wordt verwacht van nieuwe melkveehouderijsystemen.

In dit paragraaf geven we een aantal invalshoeken weer om de *functionele mogelijkheden* van radicale ammoniakemissiebeperking in kaart te brengen. Die functionele mogelijkheden zijn beslist nog geen oplossingen ('hoe dingen gaan gebeuren'), maar ontwerprichtingen waarin een aantal functies ('wat er moet gebeuren') op een bepaald schaalniveau als kansrijk worden geïdentificeerd – gezien bovenstaande analyse. Een deel van deze ontwerprichtingen willen we vervolgens in een aantal verdiepende sessies met consortiumpartners en experts verder uitwerken tot kansrijke (product- of proces)concepten.

De invalshoeken die we hieronder bespreken zijn ieder een eigen zoekstrategie naar die functionele mogelijkheden:

- De tegenstellingen tussen doelen in het huidige (gangbare) systeem
- Vanzelfsprekendheden en vooronderstellingen in het huidige systeem
- Alternatieve benaderingen (in idee of al in praktijk)

⁷ Zie: Rong, L., Liu, D., Pedersen, E.F., & Zhang, G. (2014). Effect of climate parameters on air exchange rate and ammonia and methane emissions from a hybrid ventilated dairy cow building. *Energy and Buildings*. 82, 632–643. Doi: 10.1016/j.enbuild.2014.07.089. En: Rong, L., Liu, D., Pedersen E.F., & Zhang, G. (2015). The effect of wind speed and direction and surrounding maize on hybrid ventilation in a dairy cow building in Denmark. *Energy and Buildings* 86, 25–34. Doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.016.

- Wat leren we van succesvolle bestaande alternatieven?
- Nieuwe denkrichtingen

We besluiten met een (niet definitieve) lijst van functionele mogelijkheden, die wij toen kansrijk achten voor verdere ontwikkeling.

2.9.2 Tegenstellingen in het huidige systeem

In de huidige systemen zijn een aantal functies en eisen met elkaar in strijd, dan wel niet goed met elkaar te verenigen:

- Snel naar beneden afvoeren van mest en/of urine, en tegelijk de vervluchtiging van NH_3 vanaf die onderzijde naar boven voorkomen: *Openheid naar beneden, versus geslotenheid naar boven.*
- Het bieden van voldoende grip aan koeien, en tegelijkertijd het vloeroppervlak zo schoon mogelijk houden: *Ruwheid t.b.v. een grote statische wrijving voor lopen zonder vallen, versus gladheid t.b.v. het verminderen van achterblijvend vuil na schoonmaken en snel en volledig afvoeren van urine.*
- Het bieden van een indrukbaar loopoppervlak voor koeien, en tegelijkertijd een lange levensduur van dat oppervlak garanderen: *Zacht en comfortabel voor de klauwen, versus mechanisch stevig voor de slijtvastheid.*
- Het bieden van een comfortabele ligruimte waar koeien zonder belemmeringen kunnen gaan liggen en opstaan, en het schoonhouden van die ligruimte: *Ruimte groot voor comfort, versus ruimte klein en sturend om bevuilding te voorkomen*

Ontwerptegenstellingen

Het identificeren van ontwerptegenstellingen kan helpen om tot de kern van het probleem te komen. Ontwerptegenstellingen zijn niet per definitie onvermijdelijk. In onze ervaring zijn ze veelal het product van een historische ontwikkeling van praktijken, die dus ook anders zou kunnen zijn verlopen. Het wegnemen van ontwerptegenstellingen vereist vaak meervoudige structurele veranderingen.

2.9.3 Vanzelfsprekendheden en vooronderstellingen

Om nieuwe wegen te bewandelen is het vaak een goed idee om vanzelfsprekendheden en vooronderstellingen in het bestaande (dominante) systeem in kaart te brengen, en vervolgens na te gaan of die vanzelfsprekendheden onvermijdelijk zijn. De onderstaande lijst is zeker niet uitputtend, maar dient als aanjager voor verdere discussie op dit onderdeel.

- Koeien hebben een stal nodig.
- Ligruimte \neq loopruimte; ligboxen zijn zo geconstrueerd dat koeien ze niet bevuilen.
- Alle beloofbare vloeren hebben dezelfde kwaliteit, ongeacht hun plek of functie.
- Vloeren zijn gemaakt van beton.
- Koeien zijn niet zindelijk (te maken).
- Koeien defeceren en urineren overal evenveel; ofwel: het is niet de moeite waard om te investeren in plekken waar relatief veel wordt uitgescheiden (bijvoorbeeld achter de ligboxen, of bij het voerhek).
- Hoe minder (loop)oppervlak per koe des te beter voor de emissie (minder emitterend oppervlak, goedkoper). Trend naar meer m^2 wordt ingegeven door redenen van dierenwelzijn & diergezondheid. Modelberekeningen laten echter zien dat meer oppervlak niet leidt tot meer emissie van de vloer, omdat alle urineplassen toch al uit emitteren.
- Mest = drijfmest; makkelijk te verpompen; makkelijk te injecteren bij aanwending.

-
- i. Verdunnen van mest met water leidt tot meer mest en noodzaakt tot vollere kelders.
 - j. Koeienmest is onvermijdelijk dun (met consequenties voor verspreiding, bevuilding e.d.); sterker nog: het mengt makkelijker met urine tot drijfmest.
 - k. Mest verwijderen gaat via schuiven en vegen.
 - l. Opslag van mest en urine vindt plaats op een andere plek dan waar de koeien leven.
 - m. Onderkelderde melkveestallen (waarin mest wordt opgeslagen) zijn ook traditie in Nederland vanwege de slappe bodem (alternatief voor funderingspalen).
 - n. Stikstof in de urine is onvermijdelijk.

2.9.4 Alternatieve benaderingen

Alternatieve benaderingen stellen de in paragraaf 8.2 vermelde vanzelfsprekendheden ter discussie. Anno 2015 zijn de volgende benaderingen reeds in de praktijk toegepast en/of in ontwikkeling:

- a. Vrijloopstallen met compost(erings)bodems e.d.: stellen de vooronderstelling ter discussie dat ligruimte \neq loopruimte; én dat de opslag op een andere plek plaatsvindt dan waar de koeien leven. Vloer = ligruimte = opslag.
- b. Gedraineerde bodems (zoals de weidevloer in de Koeientuin): stellen de vooronderstelling ter discussie dat het ligruimte \neq loopruimte; en dat mest moet worden weggeveegd. In plaats daarvan: mest oplepelen of wegzeven.
- c. Pure graze (altijd in de weide): stelt de stal ter discussie.
- d. Focus op de buitenruimte, niet op de stal; gecontroleerde buitenruimte; beperkte stal (concept Kracht van Koeien): stelt de stal ter discussie.
- e. Scherp voeren op stikstofbenutting: stelt gehalte aan stikstof in urine ter discussie.
- f. Gedrag van koeien sturen: stelt onzindelijkheid van koeien ter discussie.
- g. Speciale vloeren achter de ligboxen: stelt de gelijksoortigheid van alle beloopbare oppervlakken ter discussie.

2.9.5 Wat leren we van succesvolle bestaande alternatieven?

Wat hebben we geleerd van bestaande systemen qua ammoniakemissie:

1. De grupstal heeft de laagste emissie, 5,7 kg per koe per jaar. Dat is al aardig in de richting van ons doel van 1 kg. Waarom is de emissie van die grupstal zo laag? Wat zijn de sterke en zwakke kanten van de grupstal, zowel t.a.v. de emissie als welzijn/gezondheid van de koe? Wat zou hier van bruikbaar zijn in ons nieuwe ontwerp?
 - Sterke beperking van het oppervlak waar feces en urine terecht komen.
 - Maximaal doorlatend rooster.
 - Gescheiden afvoeren van gier en feces. Bruikbaarere mineralenstromen.
2. Ook de sleufvloer met gaatjes (zie boven) had een emissie van 4,4 kg per koe per jaar. Hier werkte dus het principe van (goedgeels) afdichten van de kelder in combinatie met *snel* afvoeren van de urine (maar nog wel naar een gemengde opslag). Wat zijn de krachtige elementen van de sleufvloer? Wat werkte goed, wat niet / minder?
 - Gaatjes zorgen voor snelle afvoer naar onderen, maar beperken luchtuitwisseling opslag met bovenkant vloer.
 - Dennis Snoek laat zien dat de brede diepe sleuven heel goed zorgen dat de urineplas qua oppervlak enorm werd beperkt. De 'stuwgolf' van urine wordt snel afgeremd. (in die gedachtenlijn zou je dus ook in de dwarsrichting op de bestaande sleuven extra sleuven kunnen maken om dat effect te versterken).
3. De ammoniakemissie bij weidegang is veel lager (als berekende stelregel wordt per uur weidegang 3,3 gram minder NH_3 aangehouden) dan in huidige stalsituaties. Deels verdwijnt de stikstof uit urine op andere manieren naar het milieu (waaronder nitraat), maar als principe voor de reductie van ammoniakemissie is het de moeite waard verder te doordenken waar dat principe nu in schuilt.
 - Snelle opname in de bodem, waardoor geen / veel minder uitwisseling met de lucht;

- Beperkte aanwezigheid van urease in de bodem; urease uit mest komt op een andere plek terecht dan urine;
- Eventueel: zuurgraad bodem (wisselt sterk per bodemsoort en perceel);

2.9.6 Nieuwe denkrichtingen

A. Verschillende vloeren voor verschillende functies

Kenmerkend aan de huidige gangbare ligboxenstallen is, dat –afgezien van de ligboxen– koeien overal vrij kunnen rondlopen over het beschikbare leefoppervlak. De koe heeft diverse behoeften zoals eten, drinken, gemolken worden, rusten, lopen en sociale interactie. Afgezien van rusten worden die behoeften nu vervuld en/of uitgevoerd in dezelfde ruimte met dezelfde (rooster)vloer. Er zijn weliswaar specifieke plekken waar de koe kan eten en drinken, maar de vloer en de overige ruimte is hetzelfde.

Een nieuwe denkrichting zou het *scheiden van functionele ruimten* kunnen zijn. Door een dergelijk onderscheid kan enerzijds de effectiviteit worden vergroot, en anderzijds mogelijk de kosten beperkt omdat er voor bepaalde functies eenvoudiger oplossingen mogelijk zijn dan voor andere functies.

Kunnen we afgezonderde speciale ruimten ontwerpen voor de verschillende behoefte van de koe, waarbij we twee principes toepassen (a) daar waar de koe staat zal zij op de vloer onder haar lichaam geen urine en feces deponeren – dit moeten we dus schoon houden en dus geen emissie, en (b) achter de koe zal juist wel veel urine en feces terecht komen – hier kunnen we op een klein oppervlak veel inspanning verrichten om feces en urine op te vangen, te scheiden en af te afvoeren.

- Rusten: ligbox, maar dan inclusief een ruimte erachter waar de koe kan mesten en urineren, die niet toegankelijk is voor andere koeien en ander gedrag. Kunnen we een soort grupstal ontwerpen, waarbij de koe prima in staat is om over een roostervloer te lopen / te stappen?
- Vreten: als vreetplaatsen niet meer toegankelijk zijn als loopruimte, kunnen ze ook niet meer bevuild worden. Achter de vreetplekken gericht feces en urine opvangen.
- Drinken: ook hier koeien richten zodat zij op een schoon gedeelte staan, en speciale ruimte erachter inrichten; idem voor melkplek en krachtvoerbox.
- Transport van dieren / locomotie: koeien willen graag over specifiek materiaal lopen, bv. rubber paden. Dit kunnen we gebruiken om hun gedrag te sturen en feces en urine te concentreren op een kleiner oppervlak.
- Overgangen tussen functionele ruimten: hier is met een poort en bv aanleren wellicht mogelijk om koeien te laten urineren / defeceren. Evt. met beloning. Zie onderzoek Nico Verdoes.⁸
- Ruimte voor sociale interactie: dat moet een vrij gebied zijn, en hier hebben we dan de meest complexe vloer nodig, omdat feces en urine verspreid zullen worden.

Nota Bene: we zullen de komende jaren nog veel meer leren over de hiërarchie in een kudde, door chips en het volgen van dieren en hun gedrag; daar moeten we natuurlijk wel rekening mee houden. Koeien moeten natuurlijk vrij zijn in hun keuze, maar de hiërarchie in een kudde kan die in de weg zitten. De rang laagste koeien zijn altijd de klos. Door bv. belangrijke faciliteiten als voer en drinkplekken iets meer te sturen, creëren we ook tijd en ruimte voor de rang lagere koeien om voldoende in hun behoeften te voorzien.

B. Benutten van de capaciteiten van het dier zelf

In de huidige stalsystemen gebruiken we nog maar weinig van de capaciteiten en (jawel) intelligentie van de koe zelf. Denk bv. aan de volgende mogelijkheden:

- In de oude grupstal vormde de grup zelf geen enkele belemmering voor de koe. Ze was prima in staat om erover heen te stappen. Dat geeft aan dat plekken met een specifieke functie zijn te ontwerpen die koeien kunnen vermijden.

⁸ Verdoes, N., & Bokma, S. (2017). Scheiding van urine en feces bij melkvee: fysiologie, gedragsherkenning en techniek. Wageningen: Wageningen Livestock Research. Rapport 1041

- Koeien hebben duidelijke voorkeuren voor de kwaliteit van loopoppervlakken. Dat biedt de mogelijkheid om oppervlakken te ontwerpen waarbij het loopoppervlak zelf (waar de koeien hun poten graag neerzetten) andere kwaliteiten heeft dan het oppervlak waar de urine of feces terecht komen.

C. Geïntegreerde luchtbehandeling

Luchtwassers zijn zeer effectief in het beperken van de emissie uit stallen. Integratie van deze techniek met koeling kan vanuit emissieperspectief en koe comfort (tegengaan hittestress) aantrekkelijk zijn. In bepaalde verdergaande implementaties is het zelfs denkbaar de methaan-emissies af te vangen. In de huidige vorm van zulke klimatiserings-technologie, dient daarvoor echter de hele stal mechanisch geventileerd te worden, wat betekent dat stallen dicht moeten zijn. Net als in de huidige intensieve veehouderij. Dat strijdt momenteel met de maatschappelijke wens (en de wens van een deel van de veehouders) om de melkveehouderij niet het pad op te sturen van de intensieve veehouderij. Het is de moeite waard om verder te verkennen of klimatisering kan worden gecombineerd met een open systeem.

2.9.7 Mogelijke ontwerprichtingen

Op grond van het bovenstaande is een lijst samengesteld met ontwerprichtingen en invalshoeken t.b.v. de tweede fase van het project. Deze lijst is in 2016 gebruikt in het verdere keuzeprocess van het consortium. We geven de lijst hier weer, zonder claim van uitputtendheid of volledigheid.

Kansen voor vernieuwing kunnen vanuit verschillende invalshoeken geïdentificeerd worden.

- A. Eendimensionaal, vanuit de wens tot vergaande NH₃-reductie:
 - a. Vanuit verschillende aangrijpingspunten / schaalniveaus.
 - b. Zonder aanvullende (innovatie)doelen.
 - c. Focus op de functies in het huidige systeem die het meest kritisch zijn.
 - d. Mogelijk risico: eisen vanuit andere doelen later moeilijker verenigbaar met vernieuwing.
- B. Meerdimensionaal, vanuit de wens om meer doelen tegelijkertijd te realiseren dan alleen vergaande NH₃-reductie.
 - a. Vanuit schijnbare tegenstellingen tussen realisatiemogelijkheden doelen (bv. dierenwelzijn & -gezondheid <-> ammoniak). Ontwerpvraag: *hoe kunnen we die tegenstellingen in ontwerp wegnemen?*
 - b. Vanuit andere doelen redeneren. Ontwerpvraag: *hoe kan het nastreven van die doelen bijdragen aan NH₃-reductie?*
 - c. Grotere kans op vernieuwingen die meerdere doelen dienen, maar ook groter risico op doodlopende paden.

A. Eendimensionaal, vanuit de wens tot vergaande NH₃-reductie

Denkend vanuit schaalniveaus, en primair vanuit het doel van NH₃-reductie, en deze pas daarna te toetsen en te koppelen aan andere doelen (waaronder diergezondheid, dierenwelzijn en economie).

- a. Voermaatregelen
 - Bv. via voer sturen op N-gehalte
 - Bv. via voer sturen op pH
 - Bv. via voer sturen op consistentie van mest
 - Potentieel reductie: 20-40% (schuin oog naar voermaatregelen varkens)
- b. Uitscheiding (vallen; plek)
 - Hoe kunnen we mest dan wel urine opvangen voordat het ongecontroleerd op een oppervlak valt? Het paard van de schillenboer had een doek onder zijn kont voor het opvangen van de feces.
 - Potentieel reductie: 80-95% (is compleet wegnemen van de bron!)

-
- c. Vloer op zichzelf (rest systeem blijft gelijk)
 - Heel snel en compleet afvoeren van urine uit de leefruimte
 - Heel snel en compleet afvoeren van mest uit de leefruimte
 - Combinatie van sproeien, verdunnen van urine, en post-hoc oogsten van N uit gier; hergebruik spoelwater na strippen
 - Snel drogen van vochtige oppervlakken
 - Potentieel reductie: 60-90% (emissie bij droogmaken)
 - d. Vloer + opslag (rest systeem blijft gelijk)
 - Scheiden van de functies mest/urine doorlaten en opslag afsluiten
 - Stikstof binden op of in de vloer
 - Potentieel reductie: 20-30%
 - e. Verschillende vloeren voor verschillende functies (zie 8.6A)
 - Herdenken van ligruimte / vloer-complex: focus op de piek in de uitscheiding
 - Maakt b. en c. hierboven beter mogelijk
 - Potentieel reductie: 60-95%

Gezien de voorafgaande analyse zijn ons inziens de meest kritische functies, met het grootste potentiële effect:

- 1. opvangen van urine voordat het op een oppervlak valt**
- 2. snel en compleet afvoeren van urine (van oppervlakken)**

3. voermaatregelen i.v.m. N-gehalte urine
4. mest verwijderen (zonder eerst te verspreiden)
5. voermaatregelen i.v.m. consistentie mest
6. het gescheiden afvoeren en opslaan van urine (en feces)
7. opslagen afsluiten (i.r.t. transportwegen naar opslagen)

Kansrijke routes zijn dan:

- in ieder geval zorgen voor het zo maximaal mogelijk gescheiden houden en afvoeren van feces en urine ('primaire mestscheiding')
- focus op zeer snelle en complete afvoer van urine van oppervlakken
- werken aan steviger consistentie mest, als we dat combineren met andere mestverwijderingstechnieken.
- uit elkaar halen van mest/urine-transportwegen en afsluiting opslagen.

Belangrijke aandachtspunten daarbij zijn:

- kwaliteit vloeren voor koeien (beloopbaarheid, stroefheid, indrukbaarheid)
- gezondheid melkvee bij voermaatregelen

B. Meerdimensionaal, vanuit de wens om meer doelen tegelijkertijd te realiseren dan alleen vergaande NH₃-reductie.

Deze invalshoek benadert het probleem via een U-bocht, omdat er evidente tegenstrijdigheden zijn in doelen, die in het *huidige* systeem niet goed kunnen worden verzoend. De belangrijkste tegenstelling zit in de eisen die we aan de vloer stellen, vanuit het perspectief van de koe versus het perspectief van ammoniak-emissie-reductie. Daarnaast zijn er effecten elders in de keten die als uitgangspunt kunnen worden genomen, zoals bijvoorbeeld de emissies (van ammoniak, broeikasgassen, geur) bij opslag en aanwending.

Denkend vanuit geïdentificeerde tegenstellingen met andere doelen, om die te koppelen aan NH₃-reductie, zouden we kunnen denken aan:

- a. Loslaten onderscheid ligruimte en loopruimte (i.v.m. dierenwelzijn)

-
- Zie koeientuin; vrijloopstallen
 - b. Beloopbaarheid vloeren (i.v.m. dierenwelzijn)
 - Maak van eisen als stroefheid en indrukbaarheid een functionele kracht in de reductie van NH_3 -emissie
 - Maak van voorkeuren dier gebruik om depositie urine en feces te sturen.
 - c. Leefoppervlak koeien vergroten (i.v.m. dierenwelzijn)
 - Vergroot het leefoppervlak van melkvee fors, maar niet per se geheel onder dak
 - d. Emissies bij aanwending verkleinen
 - Gescheiden stromen van feces en gier
 - Geconcentreerde N oogsten uit gier direct na opslag
 - Vergisten verse feces

2.9.8 Conclusies

Huidige emissiearme systemen halen nog lang niet de gestelde ambitie van $< 3 \text{ kg NH}_3$ per dierplaats per jaar omdat:

- Een relatief kleine hoeveelheid urine te lang blijft liggen en uit-emitteert, omdat urease overal is.
- Opslagen van (drijf)mest vermoedelijk aanzienlijk blijven bijdragen aan de emissie, zelfs na het begin van weidegang.

De kern van een nieuw ontwerp zou zich moeten richten op het

- opvangen van urine voordat het op een oppervlak valt, *dan wel*
- snel en compleet afvoeren van urine (van oppervlakken)
- het gescheiden afvoeren en opslaan van feces en urine

In een verdere uitwerking zouden we ons kunnen richten op:

- De techniek (vloer, opvang, opslag)
- Het dier (gedrag, meebewegen)
- De combinatie daarvan.

2.10 Literatuur

1. Tillman, A.P. and K.S. Sidhu, *Nitrogen metabolism in ruminants: rate of ruminal ammonia production and nitrogen utilization by ruminants - a review*. J. Anim. Sc. 28, p. 689-697, 1969.
2. Tekippe, J.A., et al., *Effect of essential oils on ruminal fermentation and lactation performance of dairy cows*. Journal of Dairy Science, 2013. 96(12): p. 7892-7903.
3. Külling, D.R., et al., *Methane emissions of differently fed dairy cows and corresponding methane and nitrogen emissions from their manure during storage*. Environmental Monitoring and Assessment, 2002. 79(2): p. 129-150.
4. Frank, B., M. Persson, and G. Gustafsson, *Feeding dairy cows for decreased ammonia emission*. Livestock Production Science, 2002. 76(1-2): p. 171-179.
5. Frank, B. and C. Swensson, *Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows and milk yield, concentration of urea in milk and ammonia emissions*. Journal of Dairy Science, 2002. 85(7): p. 1829-1838.
6. Kröber, T.F., et al., *Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and nitrogen emission from slurry*. Journal of Dairy Science, 2000. 83(12): p. 2941-2951.
7. Swensson, C., *Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release*. Livestock Production Science, 2003. 84(2): p. 125-133.
8. Van Duinkerken, G., et al., *Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses*. Journal of Dairy Science, 2005. 88(3): p. 1099-1112.
9. VandeHaar, M.J. and N. St-Pierre, *Major advances in nutrition: Relevance to the sustainability of the dairy industry*. Journal of Dairy Science, 2006. 89(4): p. 1280-1291.
10. Smits, M.C.J.H.V.A.E. and A. Keen, *Effect of protein nutrition on ammonia emission from cubicle house for dairy cattle*. Livestock Production Science 44, 1995: 147-156, 1995.
11. Powell, J.M., M.J. Aguerre, and M.A. Wattiaux, *Dietary crude protein and tannin impact dairy manure chemistry and ammonia emissions from incubated soils*. Journal of Environmental Quality, 2011. 40(6): p. 1767-1774.
12. Kronberg, S.L. and M.A. Liebig, *Condensed tannin in drinking water reduces greenhouse gas precursor urea in sheep and cattle urine*. Rangeland Ecology and Management, 2011. 64(5): p. 543-547.
13. Chuntrakort, P., et al., *The effect of dietary coconut kernels, whole cottonseeds and sunflower seeds on the intake, digestibility and enteric methane emissions of Zebu beef cattle fed rice straw based diets*. Livestock Science, 2014. 161(1): p. 80-89.
14. Patra, A.K. and Z. Yu, *Effects of coconut and fish oils on ruminal methanogenesis, Fermentation, And abundance and diversity of microbial populations in vitro*. Journal of Dairy Science, 2013. 96(3): p. 1782-1792.
15. Hünerberg, M., et al., *Effect of dried distillers grains plus solubles on enteric methane emissions and nitrogen excretion from growing beef cattle*. Journal of Animal Science, 2013. 91(6): p. 2846-2857.
16. Kinley, R.D. and A.H. Fredeen, *In vitro evaluation of feeding North Atlantic stormtoss seaweeds on ruminal digestion*. Journal of Applied Phycology, 2014.
17. Bleizgys, R., I. Bagdoniene, and L. Baležentienė, *Reduction of the livestock ammonia emission under the changing temperature during the initial manure nitrogen biomineralization*. The Scientific World Journal, 2013. 2013.
18. Boer, W.J. and N.W.M. Ogink, *Het effect van ventilatie en temperatuur op de ammoniakemissie uit een rundveestal: het schatten van behandelingseffecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse*, 1994.
19. Boer, W.J.d., *Box Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op de resultaten van ammoniakemissiemetingen in een rundveestal*. IMAG-DLO rapport 93-6, Wageningen, 32 pp., 1993.
20. Sander, R. *Compilation of Henry's law constants for inorganic and organic species of potential importance in environmental chemistry*. 1999 April 8th, 1999; 3:[Available from: <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html>].
21. Sander, R., *Modeling atmospheric chemistry: Interactions between gas-phase species and liquid cloud/aerosol particles*, in *Surveys in geophysics*. 1999, Kluwer Academic Publishers. p. 1-31.

-
22. Leinker, M., *Entwicklung einer Prinziplösung zur Senkung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen mit Hilfe von Ureaseinhibitoren*, in *Naturwissenschaftlichen Fakultät III*. 2007, Martin-Luther-Universität: Halle. p. 238.
 23. Kasper, G.J., K. Blanken, and S. Bokma, *De urease-activiteit van Comfort Slat Mats in vergelijking met betonrooster in rundveestallen*, *Livestock Research*, 390, Wageningen, 2010.
 24. Michaelis, L. and M.L. Menten, *Die Kinetik der Invertinwirkung*. *Biochemisches Zeitschrift*, 1913. 49: p. 333-369.
 25. Elzing, A. and G.J. Monteny, *Modeling and experimental determination of ammonia emissions rates from a scale model dairy-cow house*. *Trans. ASAE*, 1997. 40(3): p. 721-726.
 26. Mangaldas, K.S., Y.S. Rajput, and R. Sharma, *Urease immobilization on arylamine glass beads and its characterization*. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 2010. 19(1): p. 73-77.
 27. Rezaei Behbehani, G., L. Barzegar, and M. Mohebbian, *Strong inhibition of jack bean urease by chromium (III)*. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2012. 9(2): p. 695-699.
 28. Yang, J.Y., et al., *Effect of Lead on Soil Enzyme Activities in Two Red Soils*. *Pedosphere*, 2014. 24(6): p. 817-826.
 29. Joško, I., P. Oleszczuk, and B. Futa, *The effect of inorganic nanoparticles (ZnO, Cr2O3, CuO and Ni) and their bulk counterparts on enzyme activities in different soils*. *Geoderma*, 2014. 232-234: p. 528-537.
 30. Chávez, F., et al., *Antioxidant polyphenols extracted from Avocado epicarp (Persea americana var. Hass) inhibit Helicobacter pylori urease*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 2011. 10(3): p. 265-280.
 31. Li, J., et al., *Use of nitrogen process inhibitors for reducing gaseous nitrogen losses from land-applied farm effluents*. *Biology and Fertility of Soils*, 2014. 50(1): p. 133-145.
 32. Ni, K., A. Pacholski, and H. Kage, *Ammonia volatilization after application of urea to winter wheat over 3 years affected by novel urease and nitrification inhibitors*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2014. 197: p. 184-194.
 33. Olech, Z., W. Zaborska, and M. Kot, *Jack bean urease inhibition by crude juices of Allium and Brassica plants. Determination of thiosulfates*. *Food Chemistry*, 2014. 145: p. 154-160.
 34. Oancea, D., A. Raducan, and M. Bostan, *Conductometric investigation of enzymatic urea hydrolysis in a self buffering system*. *Analele Universitatii din Bucuresti*, 2005. I-II: p. 309-314.
 35. Kroodsma, W. and R.S. Adraenssens, *Oriënterend onderzoek naar primaire mestscheiding, urineverdamming en mestcomposterend*. *Nota P 98-118*, IMAG Wageningen, 22 pp, 1998.
 36. Vaddella, V.K., P.M. Ndegwa, and H.S. Joo, *Ammonia emissions from manure storages using urine-feces separation systems*. in *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2009, ASABE 2009*. 2009.
 37. Steiner, B., et al., *Comparison of drainage characteristics of traffic floor surfaces in cattle-housing systems*. *Agrarforschung Schweiz*, 2012(5): p. 258-263.
 38. Swierstra, D. *Cattle stable floor construction - has slots for urine wick discharge to manure cellar which can be walked upon and as a result has is flat and can be cleaned with manure disc*. 1997. Netherlands Patent NL1003271(A1).
 39. Swaans, J.H.C.H. *Floor panel having grooves, in particular for use in a pen floor*. 2001. Netherlands Patent EP 1112683 A2.
 40. JOZ, B.V. *Floor element*. 2009. Netherlands Patent EP 2236023 A1.
 41. Swierstra, D., C.R. Braam, and M.C. Smits, *Grooved floor system for cattle housing: Ammonia emission reduction and good slip resistance*. *Applied Engineering in Agriculture*, 2001. 17(1): p. 85-90.
 42. Braam, C.R., J.J.M.H. Ketelaars, and M.C.J. Smits, *Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows*. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 1997. 45(1): p. 49-64.
 43. Kroodsma, W., J.W.H. Huis in 't Veld, and R. Scholtens, *Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing*. *Livestock Production Science*, 1993. 35(3-4): p. 293-302.
 44. Bleijenberg, R., W. Kroodsma, and N.W.M. Ogink, *Beperking van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal: met een zelfrijdende sproeischuif over een hellende betonvloer*, Wageningen, IMAG-DLO rapport 95-20, 25 pp. Hfl. 30,00, 1995.
 45. Kroodsma, W.R.B.e.N.W.M.O., *Vermindering van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal door een eb/vloedsysteem met aangezuurde mest*. *Rapport 96-03*, IMAG-DLO Wageningen: 24 pp., 1996.

-
46. Neerackal, G.M., et al. *Manure-ph management for mitigating ammonia emissions from manure-flush dairy barns*. in *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2014, ASABE 2014*. 2014.
 47. Bleijenberg, R., W. Kroodsmas, and N.W.M. Ogink, *Spoelen met een formaldehyde-oplossing in een ligboxenstal om de ammoniakemissie te beperken*, Wageningen, IMAG-DLO rapport 94-33, 41 pp. Hfl. 35,00, 1994.
 48. Ogink, N.W.M. and W. Kroodsmas, *Reduction of ammonia emission from a cow cubicle house by flushing with water or a formalin solution*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1996. 63(3): p. 197-204.
 49. Sommer, S.G.B.T.C.N.E.N. and J.K. Schjorring, *Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover*. *J. agric. Sc. Camb.* 121, 63-71, 1993.
 50. van Dooren, H.J. and K. Blanken, *Methaanemissie uit melkveedrijfmest bij gebruik van drijvende ballen*, Wageningen UR, 495, Wageningen, 2012.
 51. Derikx, P.J.L. and A.J.A. Aarnink, *Reduction of ammonia emission from slurry by application of liquid top layers*. In: M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen and J.H.M. Metz (Eds.), *Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*, EAAP-publication, Pudoc-DLO, Wageningen, p. 344-349, 1993.
 52. Derikx, P.J.L.A.J.A.P.H.e.H.C.W., *Vermindering van ammoniakemissie uit mest door een vloeibare afdeklaag*. IMAG-DLO rapport 95-8, Wageningen, 58 pp, 1995.
 53. Guarino, M., et al., *Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage*. *Transactions of the ASABE*, 2006. 49(3): p. 737-747.
 54. Hoeksma, P.A.A. and P. Derikx, *Olie op de mest. Vloeibare afdeklaag kan emissie halveren*. *Boerderij/Varkenshouderij* 79 (8), 24-VA/25-VA, 1994.
 55. Kant, P.P.H., *Mesttechniek. Raapolie ongeschikt voor beperking ammoniakemissie rundermest, paraffine te duur*. *Landbouwmechanisatie* no. 3: 60-61, 1995.
 56. Lefcourt, A.M. and J.J. Meisinger, *Effect of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition*. *Journal of Dairy Science*, 2001. 84(8): p. 1814-1821.
 57. Miner, J.R.S.N.R. and W. McGregor, *Finely ground zeolite as an odor control additive immediately prior to sprinkler application of liquid dairy manure*. In: J.A.M. Voermans and G.J. Monteny, *Proceedings of the International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities*, p. 715-720, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen, 1997.
 58. Waldrip, H.M., R.W. Todd, and N.A. Cole, *Can surface-applied zeolite reduce ammonia losses from feedyard manure? a laboratory study*. *Transactions of the ASABE*, 2015. 58(1): p. 137-145.
 59. Demmers, T.G.M., *Bestrijding van ammoniakemissies met behulp van luchtwassers*, IMAG, IMAG-nota 423, Wageningen, 1989.
 60. Demmers, T.G.M., *Ammoniak verwijdering uit stallucht in de intensieve veehouderij*. IMAG-nota, 1991.
 61. Demmers, T.G.M., *Experimenten met een biofilter op kleine schaal*, IMAG-DLO, Nota P 96-37, Wageningen, 1996.
 62. Li, Q.F., et al. *Microalgae cultivation from animal production exhaust air: Mitigate air emissions and recovery nutrients*. in *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2014, ASABE 2014*. 2014.
 63. *De koeientuin*. Available from: <http://www.koeientuin.nl/index.php/nl/>.
 64. Willers, H.C.P.W.J.t.H.P.J.L.D. and M.W. Arts, *Temperature-dependency of nitrification and required anoxic volume for denitrification in the biological treatment of veal calf manure*. *Bioresource Technology* 43: 47-52, 1993.
 65. Carozzi, M., et al., *Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands*. *Science of the Total Environment*, 2013. 449: p. 126-133.
 66. *Proeftuin Natura 2000*. Available from: <http://www.proeftuinnatura2000.nl/verzilverde-maatregelen>.

3 EDD20 – verkennende onderzoeksrichtingen

In de eerste fase van het EDD20 project werden ook een paar andere onderzoeksrichtingen geëxploreerd. Zo werd er een hernieuwde blik op de kalver-opfok gericht (Ferwerda-van Zonneveld et al. 2017). Een hernieuwde blik op management (gebrek aan tijd een aandacht voor jonge kalveren) - en huisvestingssystemen en voeding voor jonge kalveren kan een stimulans zijn bij de zoektocht naar oplossingsrichtingen die tegemoetkomen aan de zorgbehoefte van het jonge kalf en het optimale zorgaanbod van de melkveehouder. In het essay dat voortkwam uit dit deelproject (ibid.) worden strategieën en praktijken aangegeven die kalversterfte bij melkveebedrijven terug kunnen dringen en tot weerbaardere kalveren kunnen leiden. Een verbeterde jongvee opfok draagt bij aan een kleinere benodigde jongveestapel, en kan daarmee ook bijdragen aan de reductie van emissies.

Een ander onderzoek betrof de zoektocht bij melkvee om tot een systeemdoorbraak te komen waarbij mest en urine direct uit het dier (al dan niet gescheiden) kunnen worden opgevangen ("onder de staart") en afgevoerd (Verdoes & Bokma, 2017). Daarbij werd de fysiologische werking en achtergrond van urinelozing onderzocht, als ook de mogelijk manieren om dit op de juiste moment en ruimte te laten gebeuren. Een interessant ontwerp is daarbij de zogenoemde 'urineerbox'. In het voorjaar van 2016 heeft een *proof of principle* plaats gevonden bij een melkveehouder met een prototype urineerbox (een aangepast doorloopvoerstation) in een klein groepje droge koeien gedurende ongeveer 6 weken. In deze box werden de koeien geleerd (via voerbepening) en, in eerste instantie handmatig, gestimuleerd om te urineren' (ibid. blz. 36). In latere ontwerpen van de urineerbox (op een ander praktijkbedrijf, in een grotere groep dieren) werd deze stimulatie gemechaniseerd en de box aangepast. Het onderzoek aan de urineerbox is afgelopen. Het bedrijfsleven heeft de businesscase hiervoor uitgewerkt. Duidelijk is dat de urineerbox alleen terugverdiend kan worden door verdringing van kunstmest (door de urinefractie) op intensieve bedrijven (Verdoes, november 2018, persoonlijke communicatie).

Literatuur

- Ferwerda-van Zonneveld, R., Bos, A.P., Plomp, M., Van der Gaag, M., & Antonis, A. (2017). Lagere kalversterfte kwestie van melkveehouder beter toerusten om aan zorgvraag kalf te voldoen. Wageningen: Wageningen Livestock Research & Melkveefonds.
- Verdoes, N., & Bokma, S. (2017). Scheiding van urine en feces bij melkvee: fysiologie, gedragsherkenning en techniek. Wageningen: Wageningen Livestock Research. Rapport 1041.

4 'Out of the ligbox denken': Eerste ontwerpronden

Een traditionele ligboxenstal met roostervloeren stoot circa 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar uit. Moderne melkveestallen, met een emissiearme vloer, hebben in het meest gunstige geval een emissie van 6 kg NH₃ per dierplaats per jaar. De ambitie van het EDD20 project was om deze emissie onder 3 kg per koe per jaar te krijgen.

Dat is nogal een uitdaging. In tegenstelling tot varkensstallen zijn melkveestallen vrijwel altijd natuurlijk geventileerd en heel erg open. De emissie van ammoniak uit varkensstallen kan effectief tot wel 95% worden gereduceerd, omdat er luchtwassers kunnen worden geplaatst bij de uitlaat van de mechanische ventilatie. In de melkveehouderij kunnen deze systemen op zich ook toegepast worden. Zo wordt in de (Regeling ammoniak en veehouderij) Rav-lijst van huisvestingsystemen en emissiefactoren aan het systeem 'mechanisch geventileerde stal met een chemisch luchtwassysteem' een emissiefactor van 5,1 kg NH₃ per dierplaats per jaar toegekend. Mechanisch geventileerde stallen zijn in de melkveesector echter geen gewoonte en niet populair. De sector vindt open stallen van grote waarde voor haar goede maatschappelijke imago, en wil dan ook liefst voorkomen dat melkvee in de toekomst in dichte stallen wordt gehouden, en de sector daarmee meer gaat lijken op de intensieve veehouderij (varkens, pluimvee). Bovendien doet een end-of-pipe oplossing als een luchtwasser nog niets aan de kwaliteit van de vloeren waar de emissies ontstaan. Vanuit het oogpunt welzijn en de gezondheid is kwaliteitsverbetering van de lig- en loopoppervlakken eveneens gewenst net als de benutting van mineralen uit mest en urine. De uitdaging heeft meer dimensies dan ammoniak alleen.



Om deze uitdaging aan te pakken zocht het EDD20-consortium daarom nieuwe manieren om de emissie van ammoniak uit melkveestallen te reduceren. Dat kunnen geheel nieuwe technieken zijn, of nieuwe samenstellingen van bestaande technieken. Op basis van de studie van de theorie en praktijk van het ontstaan en de vervluchting van ammoniak (zie Hoofdstuk 2) zijn drie kansrijke ontwerprichtingen geïdentificeerd. In een aantal tweedaagse ontwerpateliers verkende het consortium de mogelijkheden binnen die ontwerprichtingen. Tijdens elk ontwerpatelier van twee dagen stond één ontwerprichting centraal.

Er werden drie ontwerprichtingen gedefinieerd. Twee werden uitgewerkt in de vorm van ontwerpateliers en de laatste d.m.v. een MSc thesis:

Snel en volledig afvoeren van urine, en tegelijk een hoge kwaliteit vloer voor de koe.

Luchtbehandeling & sturen met ventilatie (en je niet bekommeren over het ontstaan van ammoniak perse).

Verschillende oppervlakken voor verschillende functies gebruiken.

4.1 Aanpak tijdens de ontwerpatelier

Beide ontwerpatelieren bestonden uit twee afzonderlijke, hele dagen.⁹ We werkten op basis van een gestructureerde aanpak. Verschillende stakeholders hebben deelgenomen aan deze ontwerpatelieren. De diversiteit van de deelnemers is een verrijkende ervaring op zich. Mensen van het bedrijfsleven, studenten, wetenschappers en experts van verschillende disciplines en kennisgebieden (o.a. sociologie, dierwetenschap, stalklimaat, mestmanagement) hebben deelgenomen aan deze ontwerpatelieren. Tijdens deze sessies, stelden de deelnemers eerst de doelen en de belangrijke randvoorwaarden vast. Die doelen waren verschillend en soms ook tegenstrijdig.

De aanpak van het ontwerpatelier was er echter op gericht zoveel mogelijk van die doelen te realiseren. We keken dan ook speciaal naar de doelen die met elkaar strijdig leken. Daar gingen we bewust dieper op in: wat zijn de doelen *precies*, en is hun strijdigheid onvermijdelijk? Vaak zijn het niet de doelen die met elkaar botsen, maar bepaalde oplossingen die we nu eenmaal gebruiken die het verenigen van die doelen lastig maken. Daarom zetten we de oplossingen in eerste instantie tussen haakjes, en keken we eerst naar de zogenoemde *functies*: “wat er moet gebeuren” in plaats van “hoe ze moeten gebeuren.” Met die stap kwamen vervolgens meer verschillende oplossingen in beeld. Die werden vervolgens verder uitgewerkt en samengevoegd in concept-ontwerpen. Visueel meedenkende tekenaars ondersteunden het proces en hebben de resultaten visueel verwerkt.

4.2 Ontwerpatelier: Snel en volledig afvoeren van urine van een voor de koe goede vloer

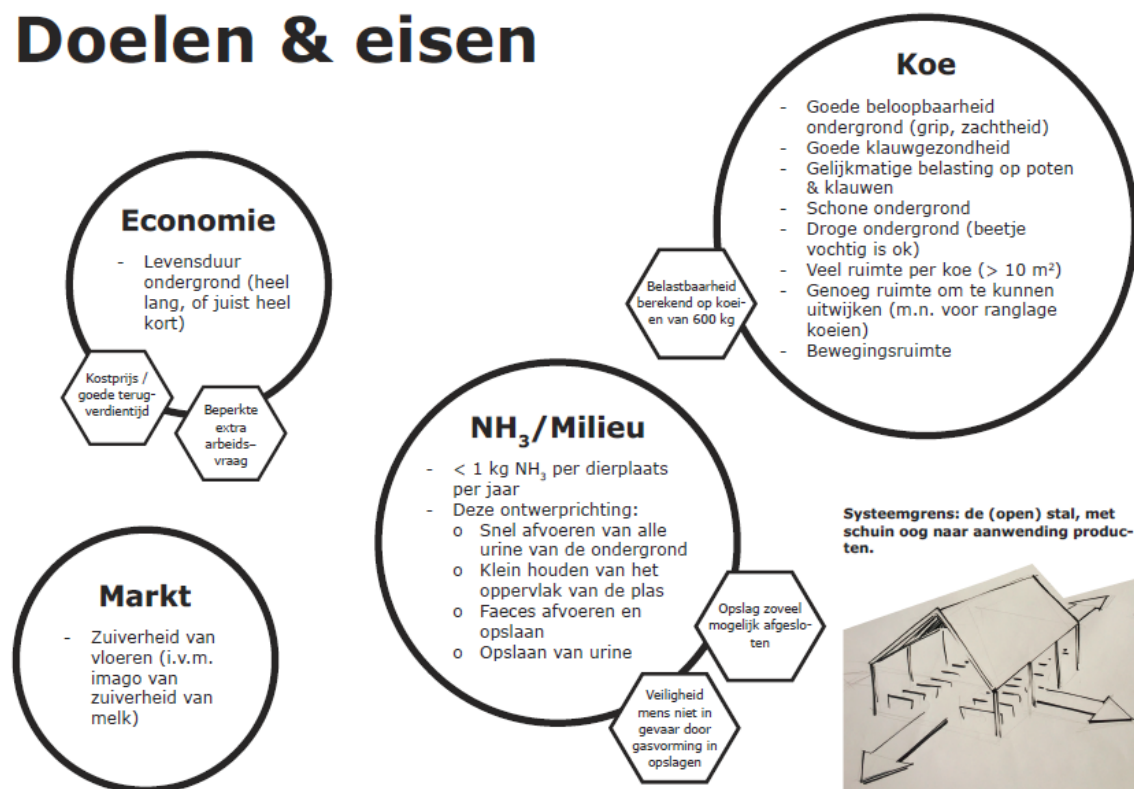
De focus van deze ontwerprichting en het atelier lag op een bronmaatregel, waarvan we op grond van theorie en praktijk verwachten dat die het meest effectief is: het *snel* en *volledig* afvoeren van urine (de bron van –ammoniakale- stikstof) van ongecontroleerde oppervlakken, zoals de vloer, naar een gecontroleerde (afgesloten) opslag. Deze bronmaatregel moet in samenhang worden vormgegeven met een hoge kwaliteit van de vloer voor de koe (ruwheid/grip, indrukbaarheid), en een effectieve (maar niet noodzakelijkerwijs snelle) afvoer van de feces.

De denkrichtingen waren:

- Vloer onder de vloer-systeem (zoals het Dairy Welfare System; of Kempfarm-systeem bij varkens).
- Sproeien van vloer/urineplekken, afschuiven, aangezuurde of gestripte gier hergebruiken als sproeimiddel.
- Onder-afzuiging van de vloer.
- Urine neutraliseren door koelen, drogen of andere behandeling.

⁹ De ontwerpatelieren zijn in februari 2016 uitgevoerd op de Eemlandhoeve in Bunschoten-Spakenburg.

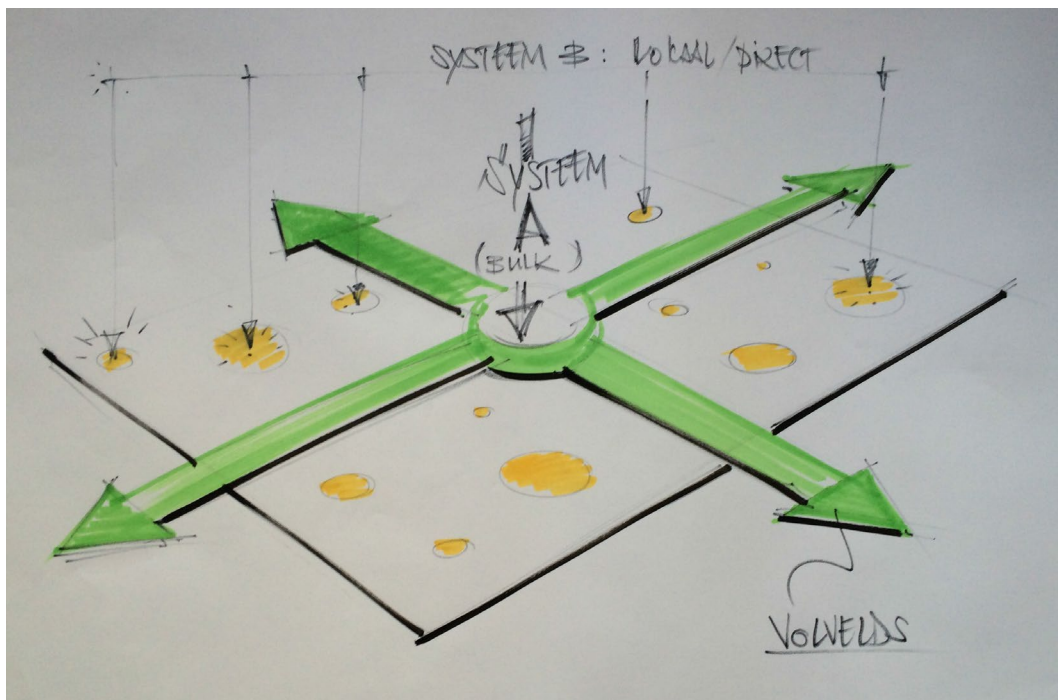
Doelen & eisen



Figuur 6: De doelen en eisen zoals geformuleerd aan het begin van het ontwerpatelier.

4.2.1 Inzichten Ontwerpatelier

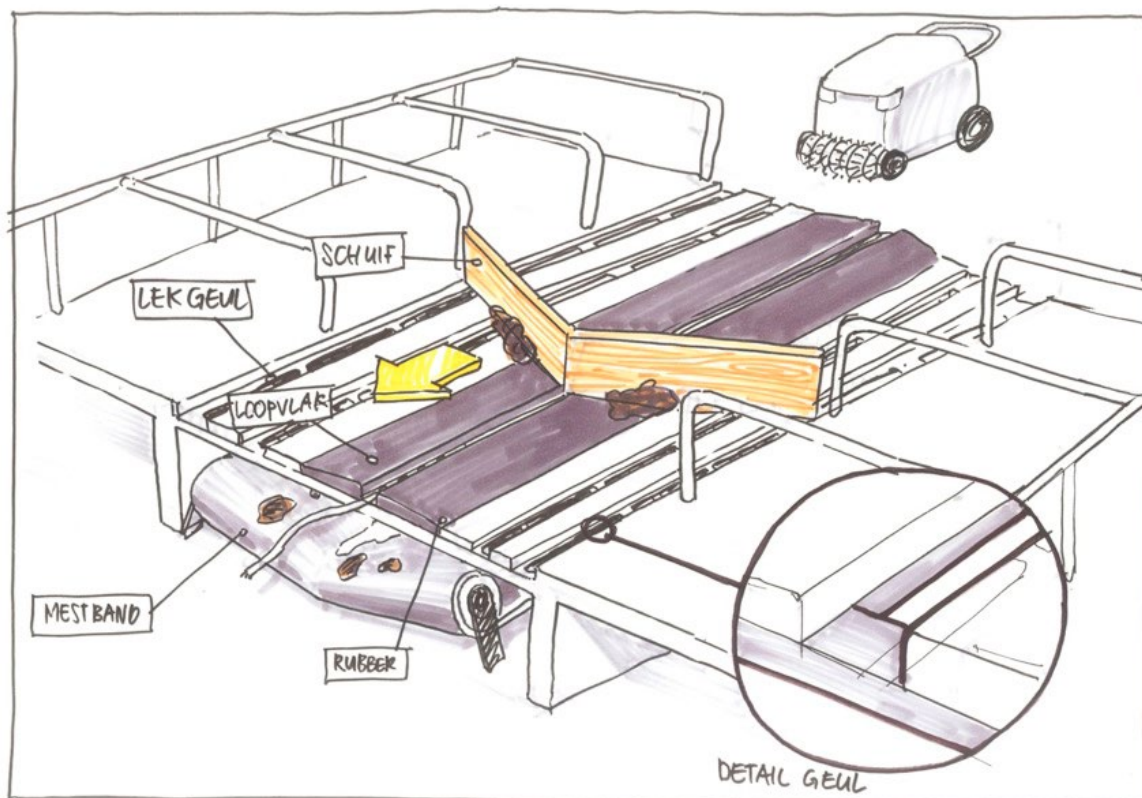
1. De *snelle* afvoer van het grootste gedeelte van de urine hoeft niet per definitie tegelijk ook *volledige* afvoer te betekenen. De emissie uit het restant urine kan ook op andere manieren getackeld worden.
2. De huidige emissiearme vloeren kiezen vrijwel allemaal voor een dichte vloer *om de opslag af te sluiten*, en daarmee de kelder-emissie te beperken. Die route levert echter nieuwe problemen op:
 - a. De urine moet afgevoerd worden via een ingewikkeld stelsel van geulen en gootjes die makkelijk verstopt kunnen raken.
 - b. Ze vereisen een heel goed en duur reinigingssysteem.
 - c. In de afgesloten opslagen kunnen gassen als H₂S accumuleren en tot gevaarlijke situaties leiden bij opening/toetreding.
 - d. Deze keuze voor dichte vloeren hangt bovendien sterk samen met de traditie van mestkelders in Nederland én de wens om *veel* opslagruimte te creëren (vanwege beperkte mest-uitrijtijden).
3. Een vloer die heel erg open is naar beneden hoeft niet per se in conflict te zijn met beperking van de emissie uit de opgeslagen mest. Het vergt wel aanvullende maatregelen onder die vloer. Een grote openheid van de vloer kan wel met een goede beloopbaarheid voor de koe botsen.
4. De resterende emissie van de vloer kan deels ook komen van de verticale transportgedeelten (gaatjes, sleuven, etc.), waar vervuiling kan liggen. Zeker bij *dikke* (beton)constructies kunnen die verticale gedeelten een aanzienlijk extra emitterend oppervlak vormen. De praktijk om constructies te maken die niet alleen koeien kunnen dragen, maar ook zware machinerie, leidt tot dikke constructies.
5. Gericht na-reiniging kan in combinatie met de eis van snelheid leiden tot relatief veel extra (feilbare) techniek in de stal. Een alternatieve strategie is ervoor zorgen dat de emissie uit de resterende urine wordt vertraagd, of stopgezet totdat de reguliere, 'volveldse' reiniging langskomt. Die kan immers ook vaker per dag plaats vinden.
6. Zowel een hernieuwde blik op urease-remmers, als op de mogelijkheden om de concentratie urease op de oppervlakken structureel laag te houden (de opbouw tegen te gaan) is gewenst.



Figuur 7 Het inzicht dat de snelle afvoer van het grootste gedeelte (A. de 'bulk') van de urine niet per definitie tegelijk ook volledige afvoer hoeft te zijn. De emissie uit het restant urine kan ook op andere manieren getackeld worden (B. lokaal, direct, specifiek).

In het ontwerpatelier zijn drie hoofdontwerpen nader uitgewerkt, namelijk: Zuivere vloer, Sponsvloer en Balletjesbak. Hieronder vatten we de uitwerking van de concept-ontwerpen samen. Bij elk ontwerp werden ook relevante en gerelateerde onderzoeksvragen geformuleerd. Sommige van deze vragen werden later binnen dit project beantwoord (dit rapport).

4.2.2 Ontwerpconcept 'zuivere vloer'



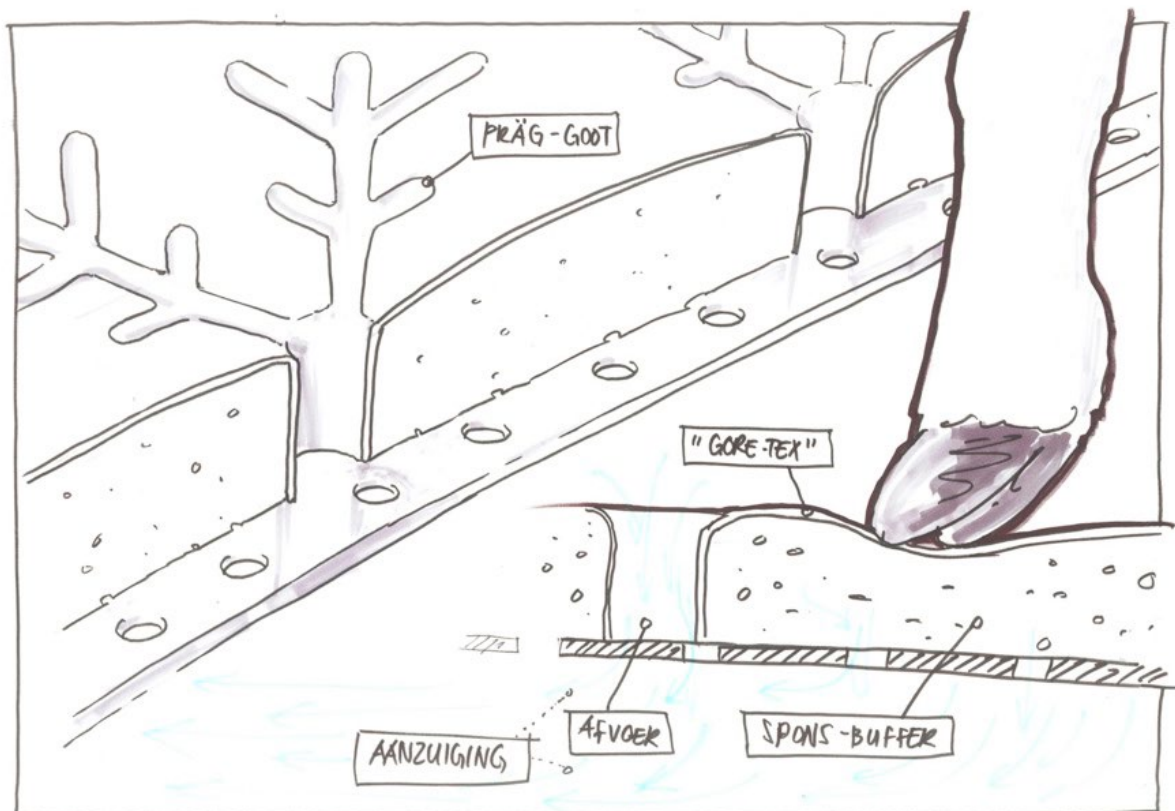
Figuur 8 Ontwerpconcept 'zuivere vloer.'

Dit is een goed beloopbare vloer die altijd volstrekt zuiver is. Een vloer met een onderscheid tussen een heel goed beloopbaar middendeel en zeer goede urine en mest afvoerende zijdelen, die tevens nog steeds redelijk goed beloopbaar zijn. Essentie is dat het doorlatend vermogen van het afvoerende gedeelte van de vloer heel groot is (geulen in de lengterichting), waardoor de afvoer snel en effectief is. Een schuif over de volle breedte schuift mest en urine zijwaarts naar de afvoervlakken. Vingers aan de schuif houden de geulen goed open (geen aankleving van mest). Onder de vloer zijn verschillende opties mogelijk om emissie te voorkomen. Getekend is een V-vormige mestband (met goede emissiereductie in de varkenshouderij en ook bij kalverproductie toegepast) die primair gescheiden afvoer mogelijk maakt. Een opslag onder de vloer in combinatie met aanzuren van drijfmest of een bellenmixer is echter ook een goede mogelijkheid.

Essentieel is dat de vloer wordt (na)gereinigd met een soort ijsdweilmachine die op ijsbanen wordt gebruikt of een schoonmaakapparaat dat ook in supermarkten wordt gebruikt). De reiniger borstelt eerst, dan wordt de vloer ontsmet (via zuur, stoom of urease-remmers), en vervolgens nagetrokken. De ambitie van deze (na)reiniging is om de vloer iedere keer weer 'als nieuw' op te leveren.

Naar aanleiding van dit ontwerpconcept werden ook een aantal onderzoeksvragen geformuleerd, waaronder op het gebied van de na-reiniging (Hoe schoon kun je de vloer krijgen? Wat is schoon?) en de te gebruiken reinigingsmiddelen (hoe lang blijft dat effect aanwezig?).

4.2.3 Ontwerpconcept 'sponsvloer'



Figuur 9 Ontwerpconcept sponsvloer.¹⁰

Een vloer die bedekt is met een sponsachtige laag met gaatjes op regelmatige afstand, waardoor de bulk van de urine snel wordt afgevoerd. De sponsachtige structuur absorbeert het restant van de urine dat blijft liggen door een stevige 'Gore-Tex' achtige toplaag. De in de spons gebufferde urine wordt door koe-verkeer naar beneden gedrukt door gaatjes in de ondervloer, waar het de urine-opslag/-

¹⁰ In de gemaakte tekening staat nog een geprägte goot in de vorm van een sneeuwkrystal in de toplaag, maar die moet er niet in vanwege het risico op volraken met feces.

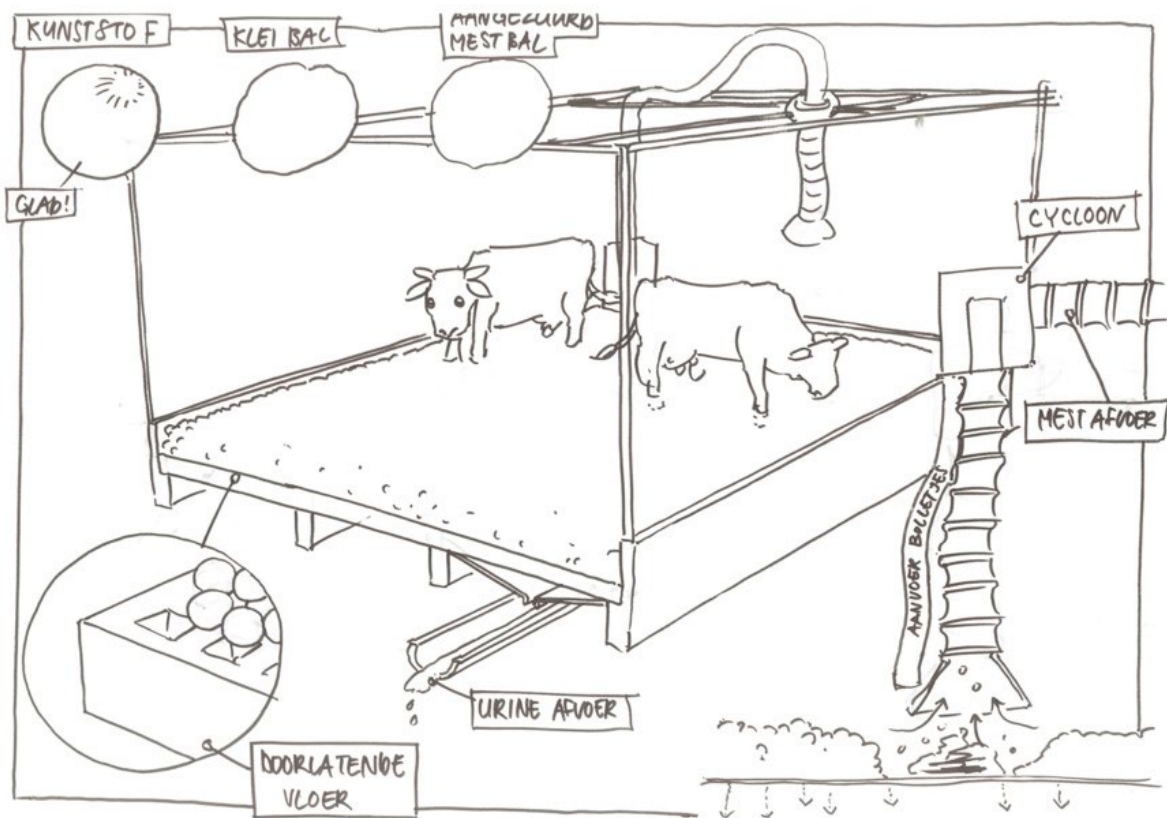
afvoer bereikt. Die urine-opslag/-afvoer staat op onderdruk, zodat er een permanente kleine luchtbeweging is van boven naar onderen. Feces wordt via een nader te bepalen methode naar een centrale mestgoot geleid, waar het via een vijzel of propketting wordt afgevoerd.

Omdat de sponsachtige structuur indrukbaar is, is de reiniging door de schuiven al behoorlijk goed, maar zo nodig kan er extra water gesproeid worden om de toplaag schoon te sproeien. De sponsachtige structuur biedt een goede beloopbaarheid voor de koe

Onderzoeksvragen:

- Ten opzichte van het sponseffect:
 - Levensduur.
 - Indrukbaarheid.
 - Materiaalkeuze (kritisch!).
- Ten aanzien van de keuze van de toplaag / 'Gore-Tex'
 - Aannee is dat er geen 100% afvoer plaatsvindt via de zijkant, dus spons nodig.
 - Indien je wél een toplaag zou kunnen vinden die 100% afvoert, dan vervalt de ratio achter de spons.
- Is er een additief in de spons nodig?
 - We denken nu van niet (ventilatie heel beperkt), maar toch goed uitzoeken.

4.2.4 Ontwerpconcept 'ballenbak'



Figuur 10 Ontwerpconcept 'ballenbak.'

Een 'vrijloopstal' gevuld met kleine balletjes. De vloer waarop de balletjes liggen is doorlatend. Een v-vormige vloer onder die doorlatende vloer zorgt voor de afvoer van urine. De balletjes 'bufferen' de feces. Specifieke plekken met feces worden gereinigd met een speciaal apparaat (de cycloon in

combinatie met een na-reiniging in een (zure) vloeistof), en daarnaast worden alle balletjes wekelijks gereinigd en/of uitgereden.

Eigenschappen van dit concept zijn:

- Snelle afvoer van de urine. Urine wordt geconcentreerd afgevoerd. Geen plasvorming en weinig spetteren.
- Reiniging van het substraat is mogelijk.
- Ondiepe kelder met urine opvang. In de kelder en de substraat-laag is een minimale ventilatie, en daardoor minimale emissie.
- Verwacht worden optimaal koe-comfort en gezonde klauwen.

Onderzoeksvragen:

- Vorm, grootte en uitvoering van het substraat/balletjes vergen nader onderzoek
 - Kunststof, indrukbaar – hydrofobe – pellet?
 - Pellet uit organisch, afbreekbaar materiaal?
 - Grootte en vorm substraat i.v.m. beloopbaarheid en afschuiven.
- Energiebehoefte en middelzuinig substraat-reinigingssysteem.
- Toevoeging van zuur/ urease-remmer mogelijk?
- Eventuele vochtigheid balletjes-laag in relatie tot klauwgezondheid.

4.2.5 Overige interessante oplossingen/suggesties

Tijdens dit ontwerpatelier werden andere interessante principes besproken. Zie bijvoorbeeld de volgende figuur over poets-principes.

Verplaatsen of fixeren

Verplaatsen (en afvoeren)	Fixeren (en afvoeren)
<ul style="list-style-type: none">- Sproeien- Spoelen- Blazen- Opzuigen- Borstelen- Ruitenwissers	<ul style="list-style-type: none">- Absorberen (strooien & oprapen)- Bevriezen- Sponzen- Dweilen
Vloerdeel vervangen door schoon exemplaar <ul style="list-style-type: none">- Vloertegels die makkelijk verwisseld kunnen worden- Delta-vloer (draaiende driehoekige buizen, zoals reclameborden)	

Enzym remmen: chemisch/fysisch

Urease-activiteit remmen	Indrogen
<ul style="list-style-type: none">- Aanzuren- Geregeld branden van de vloer- Denatureren van urease (zout, T, pH)- Urease-remmers sprenkelen- Suikerwater- Hydrolyse?	<ul style="list-style-type: none">- Verdampen- Stomen

Substraat wegnemen

Ureum of NH_4^+ onschadelijk maken
<ul style="list-style-type: none">- Bacterie die ureum of NH_4^+ opeet- Binden van ureum (zeoliet)- Vastleggen en binden van N in vloeistof-fase (bv. hele lage concentratie formaline sproeien)

Afdekken

Afschermen vloeistof van de lucht
<ul style="list-style-type: none">- Afdekken met siliconenspray (+ neutraliseren via chemie)

Afvangen

NH_3 lokaal afvangen
<ul style="list-style-type: none">- Vastleggen van N uit gasfase (bv. turbo-luchtwassertje dat lokaal urine uit laat emitteren en dat afvangt)

Figuur 11 Poets-principes.

Andere interessante ideeën die uit dit ontwerpatelier zijn gekomen:

- Belastbaarheid berekend op koeien van 600 kg ((her)overweeg of er per se ook zware machines overheen moeten, waardoor constructie veel zwaarder moet).
- Meer ruimte voor de koe, levert ook meer mogelijkheden om feces en urine gescheiden te houden (omdat de kans dat ze bij elkaar komen kleiner is).

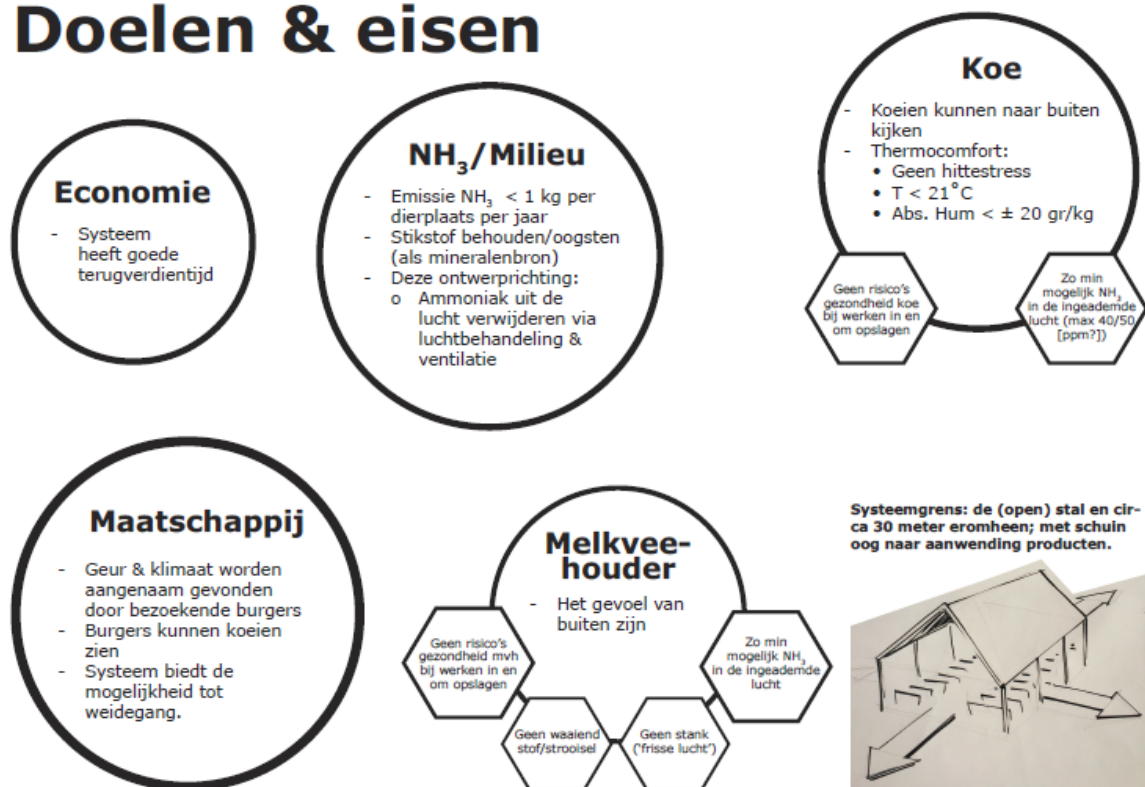
-
- Kun je sturen op de urease productie in de darm van de koe?
 - Sturen op urease-activiteit in mest/urine.
 - Maak de toplaag goedkoop, en vervang hem vaak (bijvoorbeeld van organisch materiaal dat hergebruikt of gecomposteerd kan worden).
 - Een schone vloer = snellere afvoer.
 - Urine bevriezen.
 - Niet schuiven van feces maar afzuigen.
 - Over een korte afstand schuiven.
 - Maak veel scherper onderscheid in welke maatregelen je neemt in verschillende functionele gebieden voor de koe (lopen, liggen, vreten etc.); kijk ook naar de hoeveelheid tijd die ze besteden in die ruimten.
 - Probeer omzetting van ureum te vertragen, om tijd te winnen.
 - Vloer onder de vloer.
 - Feces zijwaarts naar afvoergoot in midden looppad.
 - Wegblazen van laatste urine; "luchtmessen".
 - Dunne kunststof roosters (zie varkenshouderij), waardoor er veel minder in de spleten blijft hangen (bij dikke roostervloeren wél het geval).
 - Naar boven afvoeren (stofzuiger).
 - Gebruik maken van hydrofobe versus hydrofiele materialen om urine te 'sturen' (later aangepast naar 'urinofob en mestofiel materiaal').

4.3 Ontwerpatelier: Luchtbehandeling & sturen met ventilatie

De focus van dit ontwerpatelier lag op het actief sturen van luchtstromen in de stal om nabehandeling van die lucht (en het strippen van ammoniak) mogelijk te maken (en je niet te bekommeren over het ontstaan van ammoniak perse). Doel was om effectieve nabehandeling van de uitgaande lucht (om de emissie van NH_3 te beperken) mogelijk te maken, zonder het (stal)systeem volledig dicht te maken. Het gaat hier dus nadrukkelijk niet om een volledig dichte stal met een luchtwasser, maar om het ontwikkelen van ventilatieprincipes en luchtstroom-beheersing in een situatie waarin de koeien bij opstallen visueel, auditief en klimatologisch in contact blijven met de situatie buiten en waarin de buitenwereld ook 'contact' kan maken met de situatie binnen. Luchtstroombeheersing en ventilatie kunnen plaatsvinden op verschillende niveaus in de stal (onder de vloer, vlak boven de vloer, in de leefruimte, in specifieke functiegebieden, in de nok, etc.) en kunnen natuurlijk met mechanische ventilatieprincipes gecombineerd worden.

Het idee was dat bronmaatregelen om het ontstaan van ammoniak te beperken in een integraal ontwerp kunnen worden gecombineerd met bevindingen uit deze ontwerprichting. Verder kan het een interessante uitdaging zijn om ammoniakemissie juist te bevorderen zodat je de 'reststromen' zuiverder aan kunt wenden zonder stikstofverlies.

Doelen & eisen



Figuur 12 De doelen en eisen zoals geformuleerd in het ontwerpatelier.

4.3.1 Inzichten ontwerpatelier

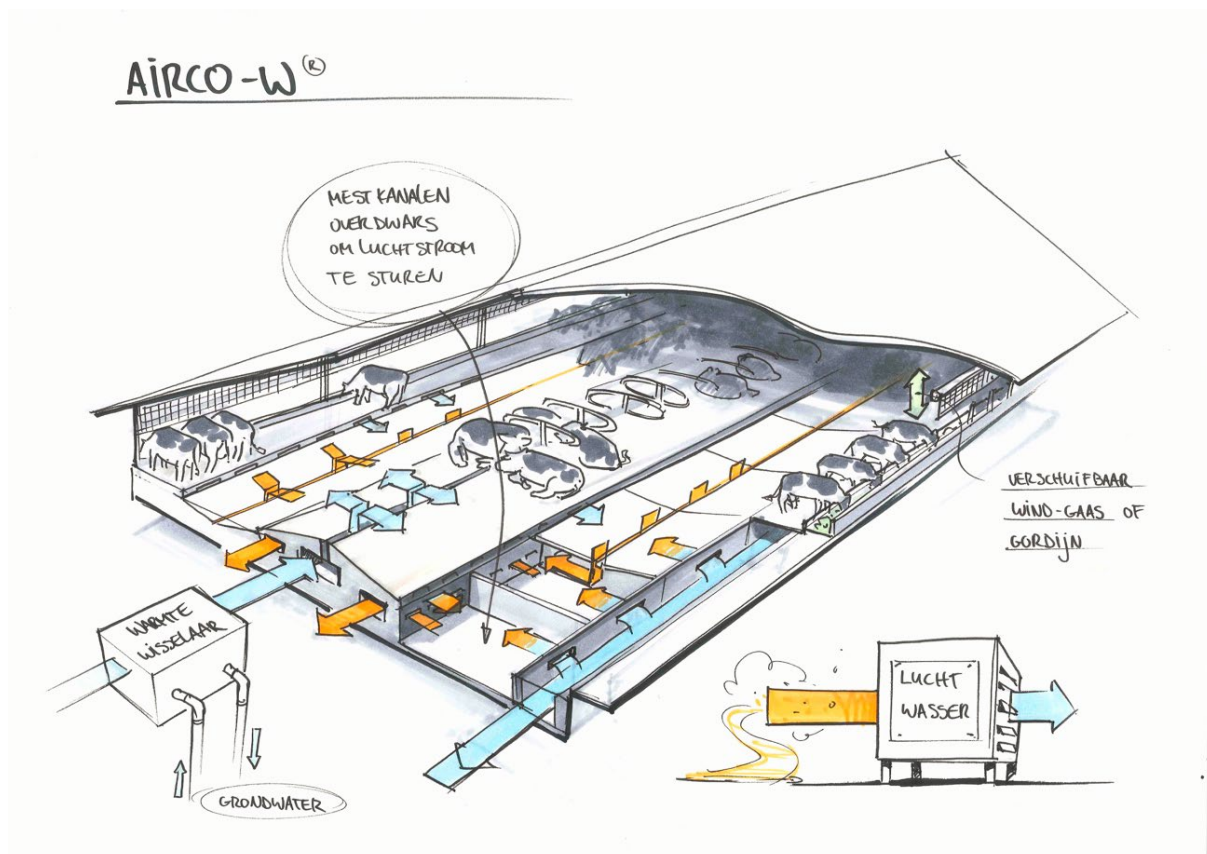
- De 'openheid' van stallen had destijds in de ogen van de deelnemers in ieder geval betrekking op de volgende aspecten¹¹:
 - Zichtbaarheid van buiten naar binnen en vice versa (mensen zien koeien; koeien kunnen naar buiten kijken).
 - Onbemiddeld luchttransport tussen binnen en buiten (direct in contact staan met buiten. Maar het kan ook: buitenklimaat *simuleren* in de stal).
 - Altijd frisse lucht in de leefruimte van koeien.

De ideeën uit dit ontwerpatelier geven aan dat een dergelijke 'openheid' goed te combineren is met veel verdergaande controle van de uitgaande lucht, en dus de ammoniakemissie, dan nu.
- Het is belangrijk om de invloed van de wind uit te sluiten o.a.:
 - Vanwege kelderemissies.
 - En om lokale afzuiging op vloerniveau mogelijk te maken.
- Het lijkt verstandig om af te stappen van dwarsventilatie in melkveestallen, en in plaats daarvan de lucht gecontroleerd af te voeren via de nok en/of via kelderafzuiging.
- Dat (punt 3) is mogelijk als we het totale debiet in de stal drastisch verlagen (tot wel 10x) tot het niveau dat voor koeien gewenst is.
- Dat lage debiet is ook van belang om (na)reiniging van de lucht goedkoper en/of effectiever te maken.
- Het is zelfs denkbaar dat zo een 'natuurlijke luchtwasser' (zie hieronder en hoofdstuk 7) kan worden gerealiseerd waarbij geen mechanische ventilatie meer nodig is.
- Een vergaande variant is een stal die aan één kant open is (en voor de rest niet), en het schoorsteeneffect het mogelijk maakt om alle lucht via de nok af te voeren en te reinigen. Om dat schoorsteeneffect te versterken is een echte schoorsteen denkbaar, die goed te combineren is met de mast van een windmolen. "Geen windmolen meer zonder melkveestal eronder."

¹¹ In hoofdstuk 6 worden de bevindingen van een studie naar het concept open stallen gepresenteerd.

8. De (lokale) beheersing van de luchtstroom boven de vloer (via het blazen en zuigen van koudere lucht) om uitwisseling met het hoofdvolume te voorkomen lijkt beloftevol. Er zijn nog wel flinke vragen op het gebied van aerodynamica, energiegebruik en dergelijke. Gerichte ventilatie van geconditioneerde lucht bij de koe kan winst opleveren voor koe gezondheid én biedt ruimte om het debiet in het hoofdvolume fors te verlagen.
9. We verwachten dat met deze ontwerprichting 'luchtbehandeling' op zichzelf niet de oorspronkelijke ambitie van < 1 kg zal worden gehaald, maar we komen al wel een heel eind. Bijvoorbeeld: inschatting prestaties ontwerp 2 *Airco-W* (zie hieronder) is 70% reductie (dus circa 4 kg emissie). Bronmaatregelen (o.a. uit ontwerpatelier 1) moeten de ambitie dichterbij brengen en zijn goed te combineren met ideeën uit dit ontwerpatelier.
10. Een te ontwerpen totaalsysteem is op vier parameters meer of minder vergaand te optimaliseren:
 - a. De mate van fysieke openheid van het systeem c.q. de mate waarin de invloed van wind is uit te sluiten.
 - b. Aantal en effectiviteit van genomen bronmaatregelen (vloer, kelder, remmen, reinigen, opslaan etc.).
 - c. De effectiviteit van lokale luchtbeheersingsmaatregelen.
 - d. De effectiviteit van de luchtwassing.
 Naarmate de ene parameter verder is geoptimaliseerd hoeft er minder geïnvesteerd te worden in de andere parameters.

4.3.2 Ontwerpconcept 'micro- en macroklimaat scheiden: *Airco-W*®'



Figuur 13 Ontwerpconcept '*Airco-W*®.'

De eigenschappen van dit ontwerpconcept zijn:

- Koelen/verwarmen van inkomende lucht op koe-niveau met behulp van grondwater. Dit grondwater met een temp van ca. 10°C wordt door een warmtewisselaar gepompt. De ingaande lucht wordt in deze warmtewisselaar gekoeld in de zomer en opgewarmd in de winter.
- De koele/opgewarmde lucht wordt op dierniveau (bij de ligbox) ingeblazen. Een andere deelstroom koele/opgewarmde lucht wordt extra afgekoeld via verdamping van water

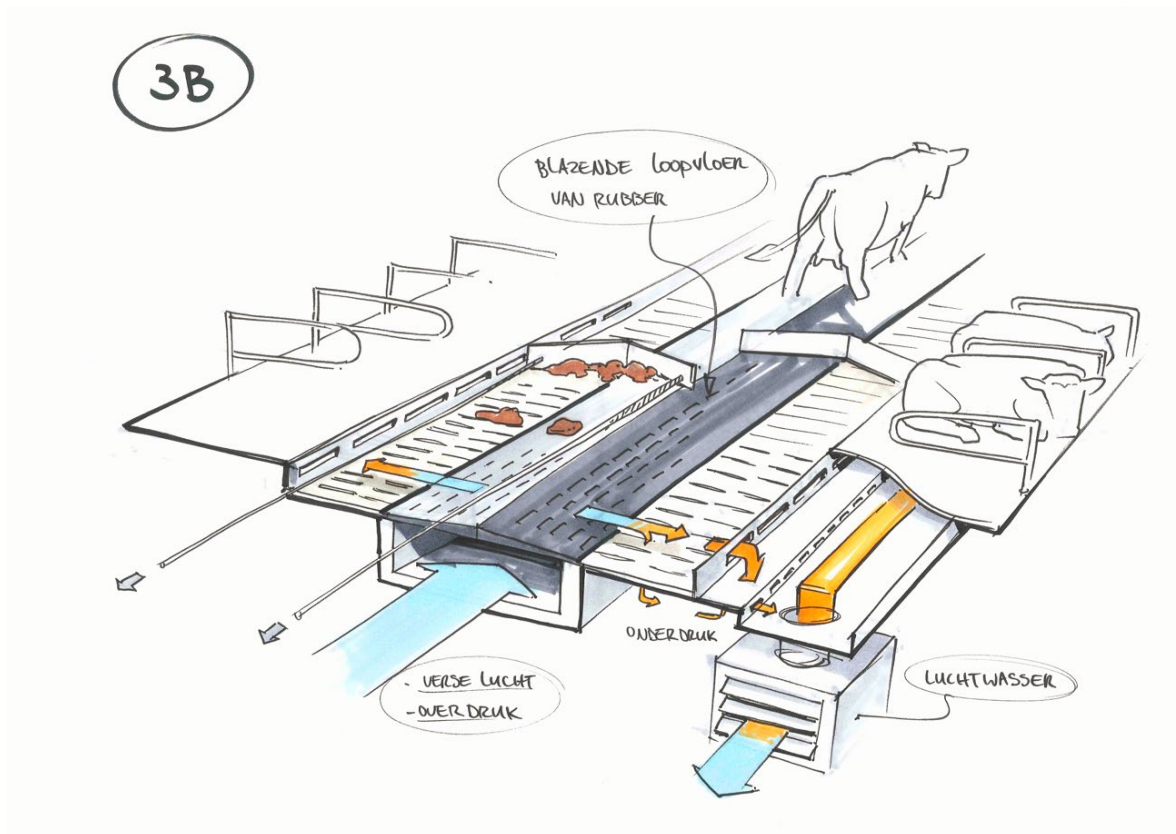
(verdampingskoeling). Deze koele, verzadigde lucht wordt ingeblazen vanaf de zijkanten van de mestvloer naar het midden en daar via een mestspleet afgezogen.

- De uitgaande lucht wordt als een deelstroom onder de 'mestvloer' afgezogen. De mestvloer is een hellende vloer met mestschuif. Urine loopt naar het midden af naar een spleet. Mest wordt afgeschoven, ook naar het midden of naar spleten op bepaalde afstanden (dwars op de schuifrichting). De uitgaande lucht wordt gereinigd in een luchtwasser (verwachting: > 95% reductie NH₃).
- Aan de zijkanten van de stal zijn voerhekken geplaatst. Het voer wordt vanaf buiten in voerbakken gestort. De zijkanten kunnen in de winter, zo nodig, volledig afgesloten worden door middel van kleppen die de voerhekken afsluiten. Boven het voerhek kan de luchtaanvoer worden geregeld met een gordijn.
- De luchtafvoer via de nok kan ook geregeld worden met behulp van een klep.
- De koele lucht, met een temperatuur variërend over het jaar van 5 – 18°C, heeft 3 functies in dit ontwerpconcept:
 - Koeling koeien (enige opwarming in de winter).
 - Stabiele luchtlaag over de dichte vloer.
 - Lagere NH₃-afgifte vanaf de vloer door lage temperatuur.
- Indicatieve ventilaties:
 - Blazen op koe-niveau: 200 m³/h
 - Blazen over de vloer: 100 m³/h
 - Zuigen uit mestkanaal: 150 m³/h
- Breedte stal: 21 m.
- Lengte: variabel, afhankelijk van aantal koeien.
- Grondwater moet over het jaar energieneutraal zijn. Er wordt meer gekoeld dan verwarmd. Het overschot aan energie in het grondwater zou m.b.v. een koeltoren in de winter er uit gehaald kunnen worden.

In Denemarken is ervaring opgedaan met een hybride ventilatie systeem.¹² Dit systeem was inspiratiebron voor de Airco-W® stal. Ook het Thialf ijsstadion werd genoemd als plek waar lucht en temperatuur worden gereguleerd. Het plafond in het nieuwe Thialf heeft een warmte-reflecterende schil naar boven en een koude naar onderen. Hierdoor ontstaat een soort "Thermoskan"-effect in de hal.

¹² Zie: Rong, L., Liu, D., Pedersen, E.F., & Zhang, G. (2014). Effect of climate parameters on air exchange rate and ammonia and methane emissions from a hybrid ventilated dairy cow building. *Energy and Buildings*. 82, 632–643. Doi: 10.1016/j.enbuild.2014.07.089. En: Rong, L., Liu, D., Pedersen E.F., & Zhang, G. (2015). The effect of wind speed and direction and surrounding maize on hybrid ventilation in a dairy cow building in Denmark. *Energy and Buildings* 86, 25–34. Doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.016.

4.3.3 Ontwerpconcept '3B-vloer'



Figuur 14 Ontwerpconcept '3B-vloer.'

Gezocht is naar de combinatie van een goede vloer voor koeien, die goed en snel gereinigd kan worden en die de luchtlaag boven de vloer controleert om emissie naar boven te voorkomen. Daarbij is doorgeborduurd op een eerder ontwerp ('zuivere vloer').

- Middengedeelte van de vloer is van rubber, waarin dakpansgewijs sleuven zijn aangebracht, waardoor gekoelde lucht naar buiten stroomt.
- Middengedeelte op afschot (2%).
- Twee aparte schuiven links en rechts (goed voor koe-verkeer, beter voor mestafschuiving).
- Randvoorwaarde: macroklimaat heeft geen significante invloed op microklimaat.

4.3.4 Overige interessante oplossingen/suggesties

De volgende observaties en ideeën uit dit ontwerpatelier zijn interessant genoeg om te vermelden.

- Het ventilatiedebiet in huidige melkveestallen is heel hoog ('het ruikt fris').
- De huidige praktijk van opslaan onder de vloer bepaalt mede die grote ventilatiebehoefte in melkveestallen (om stank te voorkomen). Voor de koeien zelf is een veel lager debiet voldoende.
- NH₃ uit vloeistof (-mest) via membraan opvangen
 - Geen NH₃ naar de lucht.
 - NH₄⁺-arme mest maken (50% N-reductie).
- Ingaande lucht conditioneren om met kleine luchtstromen en energiekosten te kunnen werken.
- Reinigen en recirculeren.
- NH₃-vangraam buiten de stal.
- Koelen stallucht: meer diercomfort en minder NH₃-emissie.
- Plasma-technologie toepassen.
- Laatste 3% binden met humus/zuur/bacteriën/oxideren/kleimineraal/koolstof.
- Door reageren/binden van NH₃ in opslagen.

- Halfopen stal, met doorlaatbare doeken aan de bovenzijde. Doeken zijn rekbaar (zoals schaduwdoek) met daardoor variabele maasgrootte.
- Bij weidegang de mestkelder volledig afsluiten met een dekzeil.
- Afzuigen van onder de vloer en net daarboven met behulp van een afzuig systeem. Een 'champignon' achtig constructie van zacht rubber (waar koeien op kunnen staan) die één afzuigstelsel onder de champignon-hoed heeft (bij de plaatjes). Er zijn meerdere champignons (op een nog te bepalen afstand van elkaar) op plekken waar feces en urine terecht komen.
- Overdrukventilatie van bovenaf in de stal. Ook voor koeling. Afzuigen onder vloer (via mest/urineafvoer).
- Afzuiging aan de in- en uitgang ('luchtsluis') met een 'airblade'.
- Aeromist om urease-remmers of iets dergelijks te verspreiden boven de vloer.
- Roterende schermen plaatsen om de stal heen, die meebewegen met de windrichting, om wind te breken en zicht open te houden.
- Draaiende stalmuren met vliegtuigvleugel-aerodynamica om ventilatieprocessen en afzuigingsprocessen te laten aandrijven door de wind. Wind niet 'breken' maar 'gebruiken.'
- Tentachtige constructies om natuurlijke trek te verhogen zonder hele hoge kapconstructies.

4.4 Verschillende oppervlakken voor verschillende functies

De focus van deze ontwerprichting ligt in het differentiëren van oppervlakken naar voorkeuren, gedrag en behoeften van de koe, om depositie van feces en urine te concentreren op plekken waar een snelle afvoer daarvan mogelijk is. Toen we deze richting definieerden zagen we de belofte daarvan als drievoudig: (1) beter voorzien in de behoeften van de koe, (2) betere beheersingsmogelijkheden van de feces en urine, en (3) kostenbesparing door concentratie van dure techniek op een beperkter oppervlak.

Kenmerkend van de huidige gangbare ligboxenstallen is, dat –afgezien van de ligboxen– koeien overal vrij kunnen rondlopen over het beschikbare leef-oppervlak. De koe heeft diverse behoeften zoals eten, drinken, gemolken worden, rusten, lopen en sociale interactie. Afgezien van rusten worden die behoeften nu vervuld en/of uitgevoerd in dezelfde ruimte met dezelfde (rooster)vloer. Er zijn weliswaar specifieke plekken waar de koe kan eten en drinken, maar de vloer en de overige ruimten zijn hetzelfde.

Een nieuwe denkrichting zou het scheiden van functionele ruimten kunnen betreffen. Door een dergelijk onderscheid kan enerzijds de effectiviteit worden vergroot, en kunnen anderzijds mogelijk de kosten beperkt worden omdat er voor bepaalde functies eenvoudiger oplossingen mogelijk zijn dan voor andere functies.

De vraag is of we afgezonderde speciale ruimten kunnen ontwerpen voor de verschillende behoeften van de koe, waarbij we twee principes toepassen (a) daar waar de koe staat zal zij op de vloer onder haar lichaam geen urine en feces deponeren – dit moeten we dus schoon kunnen houden en dus geen emissie, en (b) achter de koe zal juist wel veel urine en feces terecht komen – hier kunnen we op een klein oppervlak veel inspanning verrichten om feces en urine op te vangen, te scheiden en af te voeren.

Dit was de basis waarop het MSc. student Flipse (2016)¹³ zijn zoektocht naar specifieke ontwerpen heeft uitgevoerd. Hieronder staat de Engelse samenvatting van zijn MSc thesis:

¹³ Flipse, O. (2016). Specialization of the overall Housing System based on Dairy Cattle Needs to Reduce Ammonia Emission using Structured Design. MSc thesis. Farm Technology Group, Wageningen University & Research.

This design research was shaped through the design steps of the 'Reflexive Interactive Design' approach, starting with the first design cycle; 'System & Actor analysis'. This cycle started to analyse the current situation to find out what constrained the current system from achieving the target of 1 kg ammonia emission per cow per year, without harming the animal and social requirements. These constraints are especially related to the surface. The actors involved with the ammonia emission and issues related to that are the animal, society and environment. The issues of these actors are sometimes contrary to each other when searching for a low ammonia emission. The most important issues from these actors are the surface characteristics, the openness of the barn and the ammonia deposition on the protected natural areas. The requirements for the actor animal are especially focused on surface characteristics and space, the remaining requirements of the cow might not be harmed. For the actor society, its most important requirement related to the ammonia emission is that the cows had to be visible. Finally, for the actor environment the ammonia emission from the barns must be reduced.

The second design cycle; 'Structured design' started by creating a clear overview of the system which had to be designed; a functional decomposition of the system was made. This functional decomposition started with the main function 'Produce milk' and split this function in several underlying functions, which were split again and so on. This resulted in an abstract overview of all the necessary functions of the dairy housing system to produce milk. This functional decomposition also caused the different individual functional areas to appear. All individual functional areas contained - besides the functions for the concerning behaviour- also a function related to the excretion behaviour. The functional decomposition resulted in an overview with, among others, the crucial functions needed to fulfil the system goal, also known as key functions. The key functions were split into two lists. The first list was needed to design the individual functional areas, including their excretion areas. The second list of key functions was needed to design the overall housing system. This list contains, among others, key functions related to fulfilling the individual functional areas. For the first key function list, solutions were determined by using of state of the art research, Bionics, TRIZ and the design workshops of the EDD-20 project, and then shown in a morphologic diagram. Based on four different perspectives, solutions from the key functions in the morphologic diagram were combined to make design proposals for all the different individual functional areas. The second list of key functions contains, among others, key functions related to fulfilling the individual functional areas. The solutions for these key functions were derived from the design proposals found for the designs of the individual functional areas. These solutions were shown in a second morphologic diagram. Based on different floor plans, different overall housing systems were designed from this morphologic diagram. The end results of the 'Structured design' phase were two final design proposals for the overall housing system. 'Centre court' was the first design proposal, which was based on centralization of behaviour and routing of both the animal and materials. This approach can help to reduce the contact time of the urine with the air and therefore help reduce the ammonia emission. The second design proposal was the 'P-House', a design based on the excretion behaviour of the cow. This design concentrates the major urine excretion in one area of the barn. This very effective drainage of urine on that spot will result in a major reduction of ammonia emission. The two final design proposals were evaluated according to the requirements set in the design research, with the most important requirement being the reduction of the ammonia emission. The evaluation of the ammonia emission was performed on all the individual functional areas of the two design proposals, with help of two experts.

In conclusion, the results of the two housing systems are comparable. The ammonia emission in the best case is 3.6 and 2.3 kg NH₃/year per cow for the Centre court and P-house respectively. Due to the high standard deviation on the expected ammonia emission, it couldn't be concluded which of the designs is better than the other in terms of ammonia emission reduction. The design P-House performed a little bit better on ammonia emission reduction, but worse on the animal and social requirements. Altogether it can be concluded that both systems perform roughly similar. Another conclusion is that the aim of 1 kg NH₃/year per cow has not been reached. However, it can be

concluded that making use of specialized areas can be an effective way to create better results for both the performance and welfare of the cow as for the ammonia emission reduction.

4.5 Evaluatie van ontwerpen en oplossingen

Naar aanleiding van de twee uitgevoerde ontwerpdeliers hebben we experts gevraagd om de diversiteit aan mogelijke oplossingsrichtingen te evalueren. Deze evaluatie heeft in de maanden maart en april van 2016 plaatsgevonden.

4.5.1 Tussentijdse evaluatie

De belangrijkste stappen van dit evaluatie proces waren (1) individuele evaluatie van de ontwerpen en ideeën door experts en (2) evaluatie workshop om resultaten te valideren.

1. Experts van Wageningen Livestock Research kregen informatie over de ontwerpdeliers (o.a., verslagen, visualisatie documenten) en een Excel tabel om de ontwerpen en oplossingen individueel te evalueren. De evaluatie criteria waren:
 - Nieuwheid (zijn er al verwante technieken elders beschikbaar of in ontwikkeling?).
 - Robuustheid van de oplossing over de tijd.
 - Mogelijke bezwaren in wet- en regelgeving.
 - Mate waarin de specifieke oplossing afhankelijk is van het ontwerp van het gehele systeem.
 - Technische voor- en nadelen.
 - Economische voor- en nadelen.
 - Dier-technische (welzijn, gezondheid, levensduur) voor- en nadelen.
 - Arbeid-technische voor- en nadelen.
 - Milieutechnische voor- en nadelen.
 - Mogelijke voor- en nadelen en afwentelingen elders in het systeem (bv. bij aanwending).
 - Passend bij samenstelling consortium.
 - Potentie om bij te dragen aan het bereiken van de oorspronkelijke ambitie van < 1 kg NH₃ per dierplaats per jaar.
2. Evaluatiebijeenkomst (1 april 2016). De doelstellingen van deze sessie waren:
 - a. Gezamenlijk de evaluatie van de ontwerpen en oplossingen bespreken.
 - b. Beoordelen of er andere oplossingsrichtingen zijn die nog niet in beeld zijn gekomen.

Parallel aan de evaluatie is een aantal experts aan de slag gegaan met een viertal onderzoeksvragen. Die vragen betroffen: (1) de aard en potentie van urease-remmers, (2) de mogelijkheden om de urease-opbouw te remmen, (3) de mogelijkheden van een 'natuurlijke luchtwasser', en (4) het doorrekenen van de klimatiseren bij een verlaging van het debiet (van 4000 naar 400m³). De rapportages van dit onderdeel zijn als bijlage toegevoegd.

De belangrijkste conclusies van deze evaluatie waren:

1. Zoals werd verwacht is geen enkele oplossing *op zichzelf* in staat om de ambitie van < 1kg NH₃ per dierplaats te realiseren, behalve het volledig afsluiten van de leefomgeving van de koeien. Dat wil zeggen, een gesloten stal met mechanische ventilatie en luchtwasser met rendement >90%.
2. Op grond van de uitwerking van de onderzoeksvragen 3 en 4 wordt geconcludeerd dat:
 - a. Een luchtwasser die uitsluitend is gebaseerd op natuurlijke ventilatie waarschijnlijk niet mogelijk is, maar wel een zo genoemde 'lage druk luchtwasser' met beperkte mechanische ventilatie (zie 'Onderzoeksvraag 3').
 - b. Het ventilatiedebiet in de stal kan tot zeker 700 m³/dier/uur worden beperkt vanuit het oogpunt van gezondheid en comfort van de koe. De beperkende factor voor verdere verlaging is vooral de capaciteit om warmte af te voeren ('Onderzoeksvraag 4'). Het daadwerkelijke minimale debiet is dus mede afhankelijk van de buitentemperatuur, de toepassing van koeling bij de koe en de mate van isolatie van de stal.

3. Er zit perspectief in de combinatie van een aantal verschillende oplossingen:
 - a. Mestband onder een zuivere (= schone) vloer: het snel naar beneden afvoeren van zowel urine als mest en daar al of niet primair gescheiden afvoeren. Een grote openheid naar beneden combineren met een dunne draagconstructie, zodat er weinig bevulde verticale oppervlakken zijn. Materialen gebruiken die nauwelijks urease accumuleren. Voorwaarde voor deze oplossingsrichting is het daadwerkelijk afvoeren van feces en urine naar een afgesloten ruimte. Dit in combinatie met urease-remmers werd door de experts gezien als kansrijk om de emissie onder 1 kg ammoniak per dierplaats per jaar te halen.
 - b. Beperking van de windinvloeden, het verlagen van het debiet tot 700 m³/dier/uur en het toepassen van een 'lage druk luchtwasser (zie 'onderzoeksvraag 3' verderop). Een reductie tot 80% werd denkbaar geacht. Indien we de emissie uit de opslagen weten uit te sluiten komt < 1 kg dus binnen bereik.
 - c. Beperking van de windinvloeden, en het in standhouden van twee verschillende luchtstromen (micro- en macroniveau), waarbij in ieder geval precisie-nabehandeling (vloer en kelder) wordt toegepast. Reductiepotentieel werd niet gekwantificeerd. Voorbeeld uit Denemarken haalt 40-60% met normale betonroostervloer (Rong et al. 2014; Rong et al. 2015).¹⁴
 - d. Snelle na-reiniging, zo mogelijk in combinatie met het afbreken van urease, of remmen van urease-activiteit. Het reductiepotentieel werd niet gekwantificeerd.
 - e. Het differentiëren naar functiegebieden voor de koe, om op die manier verschillende oplossingen gericht (en daarmee ook goedkoper) in te zetten. Denk met name aan de ruimte rond ligplekken, achter het voerhek en de wachtruimte voor de melkstal/robot. Het reductiepotentieel wordt hoog ingeschat door de experts. Het MSc onderzoek van Flipse (2016) concludeerde dat met voorgestelde ontwerpen een emissie van tussen 3.6 en 2.3 kg NH₃ per dierplaats per jaar haalbaar is. Aanvullend onderzoek is vereist om dit te specificeren.
4. Daarnaast wordt benadrukt dat er waarschijnlijk nog innovatiepotentieel is rond het vrijlooppincipe. De ballenbak (uitgewerkt in ontwerpatelier 1) is één van de mogelijkheden, maar andere drainerende bodems (waaronder die met zand), gecombineerd met een goed reinigbare toplaag zijn ook de moeite waard om te onderzoeken. Deze principes worden echter al binnen andere initiatieven zoals de Koeientuin,¹⁵ of de High Welfare Floor¹⁶ geëxploreerd.
5. Tot slot werd ook geconcludeerd dat we eigenlijk nog onvoldoende weten over welke bacteriën in melkveesystemen verantwoordelijk zijn voor de productie van urease. Hier liggen wellicht nog aanknopingspunten voor het beperken van de urease-concentratie in de stal. Hoofdstuk 10 laat de interessante resultaten zien die zijn bereikt door te werken via de bacteriën die op de vloer liggen; en aan de fundering liggen van de 'CFS-Dairy' system.

4.5.2 Bespreking van een aantal principes en ontwerpconcepten

Hieronder bespreken we vijf benaderingen die binnen het EDD20 project gezien werden als de meest kansrijke om bij te dragen aan de ambitie om de ammoniakemissie tot onder de 1 kg NH₃ per jaar per dierplaats te krijgen.

1. Gesloten stal

Het ontwerp dat vanuit emissiereductie perspectief als beste naar voren komt is (zoals verwacht) een "gesloten stal met een aantal glasmuren voor zichtbaarheid en luchtwassers voor klimaatbehandeling van alle stallucht". De maatschappelijke acceptatie zou hierbij echter negatief kunnen uitpakken, en dit idee werd/wordt uitgesloten door LTO/NZO. Daarom was een 'open stal' één van de uitgangspunten voor dit project en de gehouden ontwerpateliers. Overige relevante opmerkingen zijn:

¹⁴ Rong, L., Liu, D., Pedersen, E.F., & Zhang, G. (2014). Effect of climate parameters on air exchange rate and ammonia and methane emissions from a hybrid ventilated dairy cow building. *Energy and Buildings*. 82, 632–643. Doi: 10.1016/j.enbuild.2014.07.089.

Rong, L., Liu, D., Pedersen E.F., & Zhang, G. (2015). The effect of wind speed and direction and surrounding maize on hybrid ventilation in a dairy cow building in Denmark. *Energy and Buildings* 86, 25–34. Doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.016

¹⁵ <https://kraanswijk.nl/de-koeientuin/> (geraadpleegd juni 2018).

¹⁶ <https://www.idagro.nl/producten/high-welfare-floor> (geraadpleegd juni 2018).

- Er is ook een variatie van dit ontwerp denkbaar waarin alleen bepaalde ruimtes afgedekt of afgesloten zijn om emissies te reguleren/beheersen omdat daar de meeste emissies plaats vinden. Denk bijvoorbeeld aan de wachtruimte of de loopgangen. Naast ruimtelijke opsplitsing kan ook een in tijd tijdelijk afscheiding worden gemaakt van bijvoorbeeld de wachtruimte waar tijdelijk veel emissie plaatsvindt.
- De techniek van luchtwassing en airconditioning is beschikbaar en wordt al toegepast in andere veehouderijsectoren. Er zijn luchtwassers op de markt die de ammoniakemissie tot 95% kunnen reduceren. Hoger kan ook, maar de kosten nemen dan sterk toe.
- Een nadeel is de verhoging van het energieverbruik en dus van de kosten.
- Een voordeel is dat met de verdere inrichting van de stal volledig gefocust kan worden op andere belangrijke duurzaamheidsthema's zoals diergezondheid en dierenwelzijn.

2. Mestband onder een zuivere vloer

Mestband onder een 'zuivere vloer' (met daarin twee varianten) om feces en urine snel af te voeren en/of te scheiden (uitgewerkt binnen ontwerp 'zuivere vloer' – ontwerpatelier 1). Dit idee komt oorspronkelijk uit de pluimveehouderij waar mestbanden breed toegepast worden. Voor de varkens- en vleeskalverhouderij is het ontwerp gemodificeerd naar een licht hellende of V-vormige band zodat als gevolg van de zwaartekracht de urine continu kan wegstromen naar een afgesloten opslag, terwijl de feces op de band achter blijft. Voordeel hiervan is dat de technologie al ontwikkeld is voor andere sectoren. Als bovendien urine (en feces) snel worden afgevoerd, de urease-activiteit teniet wordt gedaan, en er geen andere bronnen van ammoniak zijn (zoals een mestkelder bijvoorbeeld) dan is de potentie aanwezig om onder 1 kg NH₃ emissie te komen.

Primaire scheiding onder de vloer. Een band onder de vloer (V-vormige mestband) die de scheiding tussen feces en urine mogelijk maakt. Deze techniek is al in de varken- en vleeskalverhouderij toegepast. Om dit systeem in koeienstallen toe te kunnen passen zouden nog de volgende aspecten onderzocht moeten worden:

Het materiaal van de toplaag van de loopvloer die (1) urine en mest zo snel mogelijk afvoert (nanocoating bijvoorbeeld). Dit onder andere omdat het volgende bleek uit een MSc onderzoek in een experimentele setting met betonbalken uit standaard roostervloeren en water:

'Uit de resultaten volgde dat zich 6 gram water aan de bovenkant, 1 gram water aan de zijkanten en 6 gram water aan de onderkant van de roosterbalk bevond op een stuk van 50 cm. De zijkanten hadden slechts een kleine invloed op de verdeling. Er vanuit gaande dat alle urine die zich op de roosterbalk bevindt geheel wordt omgezet in ammoniak, hebben de zijkanten en onderkant samen meer invloed op de ammoniakemissie dan de bovenkant'¹⁷.

(2) De tredvastheid en beloopbaarheid voor koeien moet verbeteren of tenminste goed genoeg zijn (niet te glad bijvoorbeeld). Voordeel hiervan is dat een schone vloer goed voor het dierenwelzijn is en waarschijnlijk ook voor de melkproductie.

Roosters die een grote openheid naar beneden combineren met voldoende draagkracht (in ieder geval voor het gewicht van de koeien) voor koeien en zo min mogelijk emitterende verticale oppervlakken. De verticale oppervlakken moeten hetzij heel glad zijn ('urinofoob') om het emitterende oppervlak te beperken, hetzij heel klein door een veel dunnere constructie. De besproken opties zijn: Staal of gietijzer (zoals in de varkenshouderij), mogelijk in combinatie met kunststof – bijvoorbeeld polyethyleen of polypropyleen. Ook PVC is denkbaar, maar dan is een coating nodig vanwege de

¹⁷ Van Dooren, H.J., Mosquera Losada, J. (2016). Maatregelen ter vermindering van de ammoniakemissie uit de melkveehouderij: indicatieve beoordelingen van vloer- en keldermaatregelen. Rapport 915. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research.

Schrijver, D. (2016) De relatieve bijdrage van urine aan de zijkanten en onderkant van een roostervloer aan de ammoniakemissie. BSc thesis. Farm Technology Group, Wageningen University & Research.

ruwheid van het materiaal. Permavoid¹⁸ (al toegepast in de wegenbouw) kan tevens een optie zijn. Composiet kan ook een optie zijn omdat het veel sterker verdicht (minder indringing) en sterker is (smallere roosterbalken mogelijk).

De doorlaatbaarheid van de loopvloer: Traditionele betonroosters hebben maar ca 17 % mestdoorlatend oppervlak. Met composiet kan dit bijna worden verdubbeld, terwijl kunststof richting 50 % zou kunnen gaan en staal zelfs nog hoger.

Het specifieke oppervlak van het rooster per m2 loopoppervlak. Het is niet alleen het loopoppervlak van de vloer zelf dat nat en bevuild raakt (en dus kan emitteren), maar ook de zij- en onderkant van de roosterbalken.

Drijfmest maken, opvangen in mest-pan-systeem onder de loopvloer en frequent afvoeren uit stal. Mestpannen worden al in de vleesvarkenssector toegepast en bieden een combinatie van oppervlakteverkleining en frequente afvoer uit de stal. In aanvulling op de aspecten die onderzocht moeten worden bij het vorige punt, moet hier specifiek de manier om de mestpan af te sluiten onderzocht worden zodat er geen emissie uit kan plaatsvinden.

Enerzijds zijn er hogere kosten van de techniek onder de vloer, maar anderzijds zijn er kostenbesparingen mogelijk omdat er geen mestkelder meer nodig is. Bovendien kan de primaire mestscheiding tot besparingen leiden.

3. Verschillende luchtstromen op micro- en macroniveau

Werken met luchtstromen op micro- en macroniveau. Dit idee, o.a. uitgewerkt in het ontwerp Airco-W® (Sectie 3.3.2.), gaat uit van een scheiding tussen de luchtlaag vlak boven de vloer en de lucht in het hoofdvolume, door een temperatuurverschil. De koudere lucht vlak boven de vloer kan via onderafzuiging worden afgezogen en gereinigd.

Het principe wordt als kansrijk gezien, zeker als de invloed van wind van buiten kan worden geminimaliseerd. Er blijven echter belangrijke open vragen:

Vragen op microniveau:

Zijn er voorbeelden vanuit andere sectoren/domeinen waar men met twee verschillende klimaten of luchtlagen werkt? In Denemarken is ervaring met een 'hybrid ventilation' (Rong et al. 2014; Rong et al. 2015), waarbij lucht van boven de vloer in een natuurlijk geventileerde stal via de put wordt afgezogen. Hiermee wordt een ammoniakemissiereductie van tussen 40-60% bereikt en wordt ook een deel van het methaan afgezogen. Dit systeem was inspiratiebron voor de Airco-W® stal.

Wat is de precieze invloed van verschillen in (1) temperatuur en (2) vochtigheid op emissie van ammoniak vanaf de vloer? (droge koude lucht gaat naar beneden, en vochtiger warme lucht omhoog)

Wat zijn de consequenties voor het door het dier ervaren klimaat en op diergedrag, en speciaal op urineergedrag (bijvoorbeeld: urineren koeien meer op warme dan op koude plekken)?

Vragen op macroniveau:

Een voorwaarde voor dit principe is dat op *macroniveau* de invloed van de wind wordt geminimaliseerd, zodat 'geen enkel onbehandeld NH₃-molecuul naar buiten kan komen.' In het ontwerpatelier zijn hiervoor al verschillende principes geformuleerd: beperking van de invloed van wind door (1) het rond de stal plaatsen van bomen of panelen, (2) het eenzijdig open houden van de stal naar de heersende windrichting, en (3) het dynamisch openen en sluiten van delen van de zijwanden van de stal, afhankelijk van de windrichting (bijvoorbeeld door meteorologische info aan het systeem te koppelen).

¹⁸ <http://www.permavoid.co.uk/> (geraadpleegd juni 2018). Dit is ook een materiaal dat in de High Welfare Floor wordt gebruikt.

Beperking van windinvloeden kan ook bijdragen aan het minimaliseren van het debiet tot het niveau dat nodig is voor een gezond leefklimaat voor de koe, zodat effectieve luchtwassing mogelijk wordt in combinatie met natuurlijke ventilatie. Op dit niveau werd de volgende vraag geformuleerd: Hoe kunnen we de invloed van wind (turbulenties, windstromen, in- en uitgaan van lucht) in de stal reguleren, beperken en/of tot nul brengen?

4. Ballenbak / vrijloopprincipe

Het ballenbak ontwerp kreeg ook de aandacht van de experts. Vooral het diervriendelijke karakter van het vrijloop-principe was daarbij belangrijk. Het principe van kunststofballen is eerder uitgeprobeerd in de varkenshouderij. Daar werd dit echter in de kelder toegepast als drijvende ballen om de ammoniak emissie te beperken¹⁹ met een emissie reductiepotentie van 29%.²⁰ Zorgen bij de experts zijn er over de bevuiling van de ballen en de navenante emissie. Het belangrijkste bij de ballenbak is welk materiaal geschikt is, zowel vanuit oogpunt van beloopbaarheid als uit oogpunt van bevuiling en emissie.

De volgende alternatieve opties kwamen voorbij, waarvan vermoed wordt dat ze potentie hebben:

- Zandbed in combinatie met een mest-verwijder robot. Relevante vragen hierbij zijn: (1) welk type zand een urine-drainerende werking heeft en tegelijkertijd niet snel met feces verstopt raakt en bovendien een aantrekkelijk loop- en ligoppervlak biedt. (2) Hoe moet een robot feces detecteren en schoonmaken in een zandomgeving? Met deze detectie is ervaring opgedaan op het voormalige proefbedrijf in Aver-Heino.
- Een zachte toplaag boven ballen of zandbed die urine doorlaat en feces vasthoudt. Kunststofgras kan een vergelijkbare werking hebben als natuur gras (we missen hier dan echter de werking van bijvoorbeeld het regenwater en bodem micro-organismen). Maar stro zou ook een optie kunnen zijn.

De belangrijkste vraag hier heeft te maken met de resultaten van vergelijkbare type vloersystemen. De vloersystemen van Jacob Noord (High Welfare Floor) en die van ID-Agro (Koeientuin) werden bijvoorbeeld genoemd. Doordat experimenten met dit type systemen al worden uitgevoerd heeft het EDD20 consortium besloten om andere ontwerp richtingen te kiezen.

5. Sponsvloer in combinatie met luchtmessen

De sponsvloer (sectie 3.2.2.), dat wil zeggen een goed beloopbare maar toch gladde vloer, die de laatste restjes urine absorbeert, wordt gezien als een interessant idee, dat echter ook nog veel vragen oproept (bijvoorbeeld ten aanzien van bevuiling, accumulatie van urease, doorgifte van urine naar beneden). Het zou de moeite waard zijn dit idee verder te ontwikkelen om de werkelijke potentie ervan te duiden.

Een alternatieve manier om de laatste restjes urine weg te krijgen (in plaats van absorptie) kan het toepassen van de 'luchtmessen' zijn, die de laatste restjes wegblazen naar de afvoerkanalen. Het principe 'lucht met hoge druk blazen' is een bekende en toegepaste technologie. Nadelig zijn de hoge energiekosten en mogelijke herrie die in de stal kan ontstaan. De luchtmessen zouden mogelijk ook gebruikt kunnen worden om de laatste restjes feces te verwijderen.

¹⁹ Smits, M.C.J., Aarnink, A.J.A., Ellen, H.H., & Groenestein, C.M. (2013). Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken. Lelystad, the Netherlands. Rapport 645. Wageningen UR Livestock Research.

²⁰ Mosquera, J. Aarnink, A.J.A., Ellen, H.H., Van Dooren, H.J., Van Emous, R.A., Van Harn, J., & Ogink, N.W.M. (2017). Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken. Geactualiseerde versie 2017. Rapport 645. Wageningen UR Livestock Research.

5 (Eerste ronde van) Verdiepende studies

Na de evaluatieproces hebben een aantal onderzoekers verdiepende studies uitgevoerd en het beantwoorden van specifieke vragen. In het najaar van 2016 zijn deze oorspronkelijk vraagstukken uitgebreid door middel van ontwerpateliers en verdiepende studies (zie hoofdstuk 5). Hiermee wordt de kennisbasis gevormd die is vereist om de EDD20 ambitie ten opzichte van de ammoniakemissiereductie en andere duurzaamheidseisen te bereiken.

Op basis van de uitgevoerde activiteiten en verzameld kennis, werden in deze fase van het project de volgende vraagstukken aan experts voorgelegd:

- (1) Ten opzichte van de aard en potentie van urease-remmers.
- (2) Rondom de mogelijkheden om de urease-opbouw te remmen.
- (3) Ten aanzien van de mogelijkheden van een 'natuurlijke luchtwasser', en de aanvullende vraag om
- (4) het doorrekenen van het klimatiseren bij een verlaging van het debiet (van 4000 naar 400m³).

Hieronder vatten we de belangrijkste resultaten van deze studies samen, of reproduceren we ze integraal als ze zijn gepubliceerd.

5.1 Aard en potentie van urease-remmers & urease-opbouw remmen

S. Bokma & A.J.A. Aarnink

Achtergrond:

Inzicht tijdens het ontwerpatelier was dat we voor het weghalen van de laatste restjes urine van oppervlakken niet per se hetzelfde proces nodig hebben als voor de grote bulk. Dat zet het gebruik van urease-remmers in een nieuw daglicht. Naast het feit dat sommige toxisch zijn, is ook de prijs van dergelijke remmers een belemmering. Mogelijk wordt het kostenaspect (en wellicht het toxiciteit-aspect) veel minder belangrijk als we het verwijderen van bulk en laatste restjes uit elkaar trekken. Daarnaast zijn er indicaties dat er ook andere urease-remmers (in ontwikkeling) zijn: bijvoorbeeld plantaardige urease-remmers, humus en zeoliet.

Verder kwam de gedachte naar boven dat er –naast het inhiberen van het enzym urease (zie 1)– wellicht ook een mogelijkheid is om de hoeveelheid urease op oppervlakken in de stal te beperken, ofwel: de concentratie urease op oppervlakken in melkveestallen structureel onder een bepaald (laag) niveau te houden. Het gaat hier dus niet om remming van het enzym met een inhibitor, maar om het onder controle houden van de concentratie urease zelf. Tijdens het ontwerpatelier kwamen processen als stomen, of behandelen met zuur naar boven, om het enzym versneld te denatureren en daarmee de activiteit te stoppen. Vanzelfsprekend roepen dergelijke processen direct ook vragen op omtrent de toepasbaarheid in de leefruimte van koeien (veiligheid) en/of de bestendigheid van de te behandelen materialen.

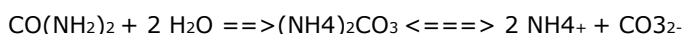
Kennisvragen:

1. We zouden graag een zo goed en breed mogelijk overzicht willen hebben van de verschillende mogelijkheden om urease te remmen, inclusief relevante voor- en nadelen.
2. een overzicht van mogelijke processen om urease te denatureren (zie mail Dick Starmans voor een eerste aanzet), inclusief belangrijke procescondities (tijdsduur etc.).
3. Ontwikkeling/uitwerking van een aantal ideeën om deze processen toe te passen in melkveestallen. Daarbij mag verondersteld worden dat de vloer/oppervlakken al redelijk schoon zijn.

1. Basisprincipe van hydrolyse van ureum

Het leeuwendeel van de ammoniakemissie uit ligboxenstallen is afkomstig uit de verse urineplassen op de loopvloeren (ca. 50 à 60%) en uit de mest in de mestkelders (ca. 40 à 50%). Veel recente ontwikkelingen zijn gericht op snelle afvoer van mest: verlaging van de emissies via aanpassing van vloeren en mestopvang. Voor bestaande stallen brengt dit echter veelal aanzienlijke aanpassingen en dito kosten met zich mee. Vertraging van de vorming van ammoniak op de stalvloeren met specifieke middelen is wellicht ook een goede reductieoptie die tot dusver echter slechts beperkte aandacht heeft gekregen.

Ureum wordt gehydrolyseerd tot ammoniumcarbonaat met behulp van het enzym urease dat als katalysator van de hydrolyse fungeert. Het enzym bevindt zich in bacteriën die in grote getale voorkomen in verse feces en in overvloed aanwezig zijn op de met mest bevuilde stalvloer zodat volledige hydrolyse van ureum op stalvloeren meestal binnen enkele uren plaatsvindt (vgl.: in de bodem binnen enkele dagen na mesttoediening op het land).



De snelheid waarmee de hydrolyse plaatsvindt wordt niet alleen beïnvloed door de hoeveelheid enzymen maar ook door de temperatuur en de pH. De hoeveelheid en concentratie van ureum in de urineplassen op de stalvloer bepalen grotendeels het emissiepotentieel (Elzing en Monteny, 1997a en 1997b; Monteny, 2000). Naast ureum wordt het emissiepotentieel voor een beperkt deel bepaald door andere bestanddelen in de urine die snel afgebroken kunnen worden tot ureum en ammonium, zoals bijvoorbeeld allantoïne en hippuurzuur (Van Vuuren en Smits, 1997). Als gevolg van de hydrolyse van ureum treedt er een stijging van de pH van de urine op.

Naast snelle ammoniakvorming door hydrolyse van ureum speelt in de mestopslag nog een tweede proces een rol, namelijk ammoniakvorming uit afbraak van eiwitten aanwezig in de mest. Dit proces is traag verlopend en speelt zich voornamelijk af wanneer mest gedurende lange tijd in opslag is. De afbraakprocessen vinden vooral plaats onder anaerobe omstandigheden in de organische stof in drijf- en bezinklagen. Omdat dit een traag verlopend proces is dat pas na enige tijd gaat optreden, besteden we er hier geen verdere aandacht aan.

2. Urease

Urease is wijdverspreid in de natuur en wordt beschouwd als generiek aanwezig. Het kan zowel door planten als micro-organismen worden geproduceerd. Urease is een verzamelnaam. Er is sprake van een grote verscheidenheid aan ureum afbrekende enzymen. Deze urease-enzymen (iso-enzymen) verschillen in structuur en grootte (afhankelijk van het organisme dat ze produceert), maar hebben allen gemeen dat ze ureum allen op eenzelfde wijze (zie 1) hydrolyseren.

Tevens is een kenmerk dat het enzym zelf alleen als katalysator fungeert en niet deelneemt aan de omzetting. Zo blijft het beschikbaar om opnieuw z'n werk te doen en is er geen sprake van uitdoving van de reactie als gevolg van afnemende beschikbaarheid van het enzym.

Urease, of ureum amidohydrolase, wordt gevormd door planten, bacteriën in bv de bodem en in darmflora, en door algen en schimmels. Elke urease iso-enzym bestaat uit één of meer kopieën van een substructuur met een actief centrum. In het actieve centrum vindt de splitsing van ureum plaats. Een urease-enzym beschikt derhalve in de regel over meerdere plaatsen waar het ureum kan hydrolyseren. Het actieve centrum van urease is zeer specifiek en bindt alleen moleculen die een analoge amide structuur hebben als ureum, en dus precies op de receptor van het enzym passen. De receptorstructuur van het actieve centrum wordt gevormd door twee nikkel ionen. Urease is derhalve een "metaal"enzym.

Leinker (2007) heeft samengevat in welke mate belangrijke urease-producerende micro-organismen aanwezig in het maagdarmkanaal van mens, varken en paard. In onderstaande tabel is aanwezigheid per gram mest weergegeven. Duidelijk is dat er een grote variatie aan urease-producerende bacteriën aanwezig is, én dat mest een grote bron van urease is.

Mikrobiële Groep	Mensch [log ₁₀]	Schwein [log ₁₀]	Pferd [log ₁₀]	Ureasepositieve Gattungen **
<i>Bacteroidaceae</i>	3 - 7	10,3 ± 0,8	7,2 ± 1,6	+
<i>Eubacteria</i>	9 - 12	9,2 ± 1,0	7,7 ± 0,3	+
<i>Bifidobacteria</i>	8 - 11	9,0 ± 0,5	8,5 ± 0,8	+
<i>Lactobacilli</i>	6 - 10	9,9 ± 0,4	7,7 ± 0,5	+
<i>Clostridia</i>	6 - 11	6,9 ± 1,0	7,5 ± 0,4	+
<i>Enterobacteriaceae</i>	Ja	8,1 ± 0,1	5,5 ± 1,0	+
<i>Corynebacteria</i>	Ja	6,5 ± 0,5	3,9 ± 0,4	(+)
<i>Bacilli</i>	Ja	6,4 ± 0,9	6,1 ± 1,0	+
Hefen	4 - 6	4,2 ± 0,1	2,8 ± 0,2	+
Gesamtzellzahl	10 - 12 *	10,8 ± 0,4 *	9,0 ± 0,4 *	

* Standardafwijking van Zellzahl log₁₀ (verandert na BARNES 1986)
 +: Kolonievormende eenheden (vermenigvuldigbare cellen) per g Kot (verandert na
 SONNENBORN en GREINWALD 1991)
 Ja: Aanwezig maar geen exacte hoeveelheid bekend (HILL 1986)
 ** de meerderheid van de Gattungen zijn ureasepositief (HILL en COOK 1986)

Rundermest heeft een heel hoog kiemgetal en een dito hoge urease-activiteit.

3. Omgevingsinvloeden op de urease-activiteit

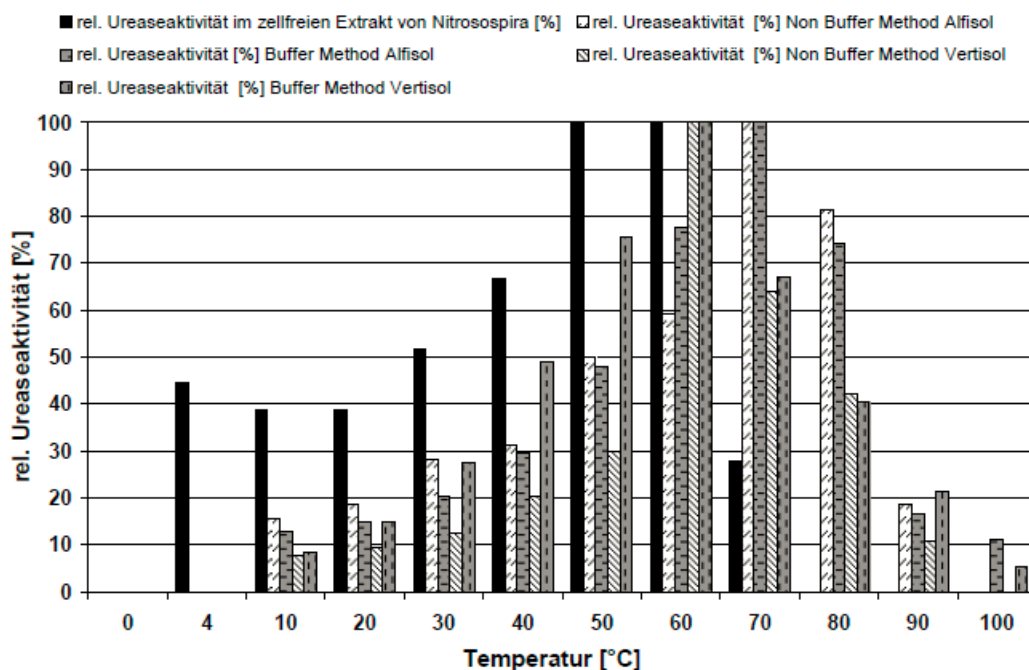
De mate waarin het urease-actief z'n werk kan doen wordt beïnvloed door een aantal omgevingsomstandigheden. De belangrijkste zijn door Leinker (2007) in onderstaand overzicht samengevat:

Einflussfaktoren	Ureaseaktivität	Quelle
Temperaturoptima	Bis 65 °C	MOYO et al. (1989) DITTBERNER (1996)
	70 °C bis 80 °C	ZANTUA und BREMNER (1977)
Feuchtigkeit (im Boden)	50 % bis 70 % WHC (water holding capacity)	SAHRAWAT (1984)
pH-Optimum	pH 6 bis pH 8	HASAN (2000) MOBLEY und HAUSINGER (1989)
Harnstoff-, NH ₃ -, NH ₄ ⁺ -Konzentration	Beeinflusst die Urease-synthese	MERRICK und EDWARDS (1995)
Alter der Gülle	Je frischer die Gülle desto höher die Ureaseaktivität	TODD und MING (2001)
Kationenaustausch Kapazität	Salzgehalte über 0,5 % NaCl reduzieren die Ureaseaktivität	SHI et al. (1994)
Organische Substanz	Je mehr organische Substanz, desto höher die Ureaseaktivität	PALMIERI (1970) PERTIT et al. (1976)
Oberflächenbeschaffenheit	Je rauer desto höher die Ureaseaktivität	BRAAM und SWIERSTRA (1999)

De optimale pH voor de werking van urease ligt in het algemeen tussen 6 en 8. Dit zijn omstandigheden die in de feces en urine en in de stalomgeving in z'n algemeen aanwezig zijn. Bacteriën zijn gevoelig voor zout. Bij een zoutconcentratie van meer dan 0,5 % neemt de urease-activiteit danig af.

Waarschijnlijk geldt hetzelfde voor hoge suikergehaltes. Beide hebben immers een conserverende en dus bacterieremmende werking. Versheid van de mest, de feces, beïnvloedt eveneens de urease-activiteit. In verse mest is de urease-activiteit hoog, naarmate de mest ouder wordt neemt deze af. De urease-activiteit is ook gerelateerd aan de hoeveelheid organische stof. Waarschijnlijk omdat dit de voedingsbodem is voor de microflora die het enzym produceert. Urease werkt het best onder vochtige omstandigheden. In de bodem is urease het meest actief onder semi-natte omstandigheden. Bekend is dat biologische processen bij watertekort worden afgeremd of zelfs stil komen te liggen.

Urease is zeer warmtetolerant en heeft z'n hoogste activiteit in het temperatuurbereik van 50 – 70 graden. Dit zijn temperaturen die in de stal niet voorkomen. Het betekent evenwel dat een flinke verhitting noodzakelijk is om het enzym te inactiveren. De volgende figuur laat de relatieve urease-activiteit zien als onderdeel van de omgevingstemperatuur.



4. Urease-remmers

Urease-remmers zijn in de literatuur voor diverse toepassingsgebieden beschreven. Binnen de landbouw is er voor bodem-urease-remmers - bij toediening van ureumkunstmest in de plantenteelt - al belangstelling sinds de jaren 60 van de vorige eeuw. Op beperkte schaal is ook geëxperimenteerd met urease-remmers in de diervoeding. De effecten in het dier (afbraak van ureum in de pens) zijn meestal van korte duur. Vermoedelijk past de microbiële massa in het maagdarmkanaal zich snel aan. Daarnaast kan de stofwisseling verstoord raken.

Er zijn al heel veel chemicaliën geëvalueerd als bodem-urease-remmers. Deze stoffen kunnen geclassificeerd worden naar structuur en naar hoe ze uitwerken/aangrijpen op urease. Ze interacteren ofwel op de actieve locatie(s) van het enzym ofwel op of aan een sleutelpositie of sleutelgroep elders in het molecuul waardoor de structuur (conformatie) van de actieve locaties veranderd wordt zodat de hydrolyse van ureum wordt voorkomen (Watson, 2005). Ervaringen met urease-remmers in stalomgevingen zijn beperkt.

Overzicht urease-remmers (categorie UR) en enkele andere (potentieel) emissie reducerende additieven (categorie Ad); de schaal waarop de middelen zijn onderzocht en de parameter die vastgesteld is (Smits & Bokma, 2007).

Middel**	Cat	Onderzoekschaal	Parameter	Referentie
Formaldehyde-oplossing	Ad	Onderzoekstalafdelingen met roostervloer en dichte vloer	Ammoniakemissie stal	Bleijenberg <i>et al.</i> , 1995; Ogink en Kroodsmā, 1996
Zoutzuur-oplossing	Ad	2 Melkveestallen (Droevendaal en De Marke)	UA stalvloer	Ketelaar & Rap, 1994; Ketelaar <i>et al.</i> , 1995
Zoutzuur-oplossing	Ad	1 melkveestal met 34 mk (Duiven)	UA stalvloer en ammoniakemissie stal	Braam & van den Hoorn., 1996
4 urease-remmers waaronder PPDA*	UR	Lab en stalvloer	UA lab en UA stalvloer	Leinker <i>et al.</i> , 2007 a en b
NBPT CHPT	UR	2 feedlot hokken per behandeling (6 x 70 vleesrunderen)	Ureumgehalte feedlot-mest (retentie)	Varel <i>et al.</i> , 1999
NBPT & thymol	UR	Lab proef	Ureumgehalte in feedlot mest (retentie)	Varel <i>et al.</i> , 2007b
NBPT & Linalool extract	UR	3 feedlot hokken per behandeling (6 x 70 vleesrunderen)	Ureumgehalte in feedlot mest; alsook gehalten aan VFA, coliformen, pH,	Varel <i>et al.</i> , 2007a
NBPT & Pine oil extract	UR	3 feedlot hokken per behandeling (6 x 70 vleesrunderen)	Ureumgehalte feedlot mest (retentie)	Varel <i>et al.</i> , 2007a
$Al_2(SO_4)_3$ 0,45 vs 0,90 kg/m ²	Ad	Lab (pottenproef)	Ammoniakemissie	Shi <i>et al.</i> , 2001
CP 0,0375 vs 0,075 kg/m ²	Ad	Lab (pottenproef)	Ammoniakemissie	Shi <i>et al.</i> , 2001
$CaCl_2$ 0,45 vs 0,90 kg/m ²	Ad	Lab (pottenproef)	Ammoniakemissie	Shi <i>et al.</i> , 2001
Brown humate 0,90 kg/m ²	Ad	Lab (pottenproef)	Ammoniakemissie	Shi <i>et al.</i> , 2001
Black humate 0,90 kg/m ²	Ad	Lab (pottenproef)	Ammoniakemissie	Shi <i>et al.</i> , 2001
NBPT 0,1 vs 0,2 g/m ²	UR	Lab (pottenproef)	Ammoniakemissie	Shi <i>et al.</i> , 2001
NBPT 0 vs 0,1 vs 0,2 g/m ² Per 8, 16 of 32 dagen	UR	Lab	Ammoniakemissie	Parker <i>et al.</i> , 2005a
NBPT 0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,8 en 4 g/m ²	UR	Stal; fluxkamer (zoals Lindvalldoos)	Ammoniakemissie	Parker <i>et al.</i> , 2005b
Vet	Ad			Cole <i>et al.</i> , 2007
Zeoliet	Ad			Cole <i>et al.</i> , 2007
NBPT	UR	Betonnen uitloop		Misselbrook <i>et al.</i> , 2006

UA= urease-activiteit

NBPT= N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (commerciële naam: Agrotain)

BNPO= N-(n-butyl) phosphoric triamide

CBPT=cyclohexyl-fosforig-triamide

CP: commercieel product 'Ammonia Hold', Lonoke Arkansas (geen nadere gegevens bekend)

* de namen van de urease-remmers van Leinker *et al.* zijn nog niet bekend; Duits proefschrift verschijnt binnenkort.

** Doseringen zijn hier uitgedrukt per m² vloeroppervlakte omdat dit een bruikbare eenheid is voor Nederlandse stallen. In de oorspronkelijke artikelen werd dit voor de grootschalige vleesveehouderijen in de USA uitgedrukt per ha.

$Al_2(SO_4)_3$ en $CaCl_2$ zijn ammoniakemissiereducerende additieven die in onderzoek van Shi *et al.* (2001) werden vergeleken met urease-remmers en daarom in deze tabel opgenomen

Brown Humate en Black humate zijn additieven van HumaTech Inc., Houston, Texas

Slechts weinig stoffen voldoen aan alle vereisten voor praktische toepassing van (bodem-) urease-remmers: effectiviteit bij lage concentraties, niet toxisch, stabiel, goedkoop en compatibel met ureum (compatibel in de zin dat het ureum zijn waarde als meststof uiteraard wel moet behouden).

Van de hierboven beschreven urease-remmers lijken NBPT (Agrotain) en PPDA (het nieuwe product van SKV dat door Leinker (2007) voor het eerst is onderzocht), de meest perspectievolle. In 2013 hebben eerste verkennende emissiemetingen in de meetunit van Dairy Campus plaatsgevonden.

Naast chemisch geproduceerde urease-remmers zijn er ook remmers van plantaardige oorsprong: - "Neem" is het schroot (de press cake) die bij de productie van "neem-olie" ontstaat; afkomstig van de Indiase neem-boom (*Azadirachta indica*). "Neem" wordt in India gebruikt om kunstmestureum te

coaten. De neem-gecoate ureum schijnt niet altijd betrouwbaar te werken (Watson, 2005). Voor zover bekend zijn er nog geen ervaringen mee opgedaan in stallen.

- Mogelijk zijn er ook nog andere plantaardige urease-remmers in ontwikkeling. We zijn er niet in geslaagd om dat ook nog mee te nemen.

5. Ervaringen in stallen

Op stalvloeren wordt het enzym urease niet alleen aangevoerd met verse feces (Muck, 1981); ook wordt op de stalvloeren - die door regelmatig contact met feces en urine worden bevuild- een bacteriefilm gevormd die een zeer hoge urease-activiteit heeft. Deze activiteit wordt deels ingekapseld in een mineraalneerslag (een urease steenlaag) die bestaat uit carbonaten (kalk) en fosfaten (struviet), die afkomstig zijn uit de urine en feces (Ketelaars et al., 1995; Braam et al., 1997).

- Ruwheid en indringbaarheid

Tussen stalvloeren bestaan grote verschillen in opbouw van urease-activiteit door o.a. verschillen in ruwheid (Braam en van den Hoorn, 1996; Braam et al., 1997). Gladde oppervlakken (met minimale ruwheid) hebben de traagste opbouw van urease-activiteit maar zijn vaak minder goed beloopbaar (implicaties voor dierwelzijn). Met niet-geprofileerde indrukbare matten zijn gunstige ervaringen opgedaan wat betreft de gemeten urease-activiteit. Deze was wel tot meer dan 90 % lager dan die van een gangbaar betonroostervloer en daardoor limiterend voor de hydrolyse-snelheid van ureum.

- Toepassing zuur

De minerale neerslag en de aan de vloer gehechte urease-vormende bacteriën kunnen door een behandeling met een zuur verwijderd worden; na een zuurbehandeling neemt de urease-activiteit echter weer snel (binnen enkele dagen tot een week afhankelijk van de condities) toe tot niveaus waarbij de ammoniakemissie niet meer beperkt wordt door de urease-activiteit van de stalvloer. Ketelaars en Rap (1994) en Ketelaars et al. (1995) verwijderden tijdelijk de vloergebonden urease-activiteit in enkele melkveestallen door de vloer (eenmalig) te behandelen met een zoutzuuroplossing en reduceerden daarmee de ammoniakemissie tot zeer lage niveaus. Het effect was tijdelijk. Azijnzuur bleek minder succesvol. Door regelmatig een sterk zuur te gebruiken, kan het materiaal van de vloer aangetast worden. Na een startbehandeling is het wellicht afdoende om daarna regelmatig met een veel sterker verdunde zuuroplossing of een ander middel de urease-activiteit van de vloer op een laag niveau te houden.

- Toepassing formaldehyde

Formaldehyde (formaline) is een ontsmettingsmiddel dat vroeger in stallen werd gebruikt voor klauwontsmetting. Bleijenberg et al. (1995) en Ogink en Kroodsma (1996) gebruikten een 0,4 % formaline oplossing om vloeren in melkveestallen schoon te spoelen en vergeleken de ammoniakuitstoot met die, wanneer alleen water werd gebruikt. Het reinigen met alleen water gaf, afhankelijk van de hoeveelheid water, een verlaging van de ammoniakuitstoot met 14 - 50 %. Werd aanvullend formaline aan het reinigingswater toegevoegd, dan steeg de ammoniakreductie in beide gevallen met ca 35 % naar 50 - 86%.

Uit indicatieve metingen bleek echter dat op de hellende dichte vloer de WHO-norm van 0,3 mg formaldehyde per m³ ventilatielucht (gemeten in de uitworp) werd overschreden. Nawerkingseffecten op de emissie van het spoelen met formaldehyde waren echter wel dusdanig dat een beduidend zuiniger en doelmatiger gebruik mogelijk zou zijn.

- Toepassing urease-remmers

In 2013 en 2014 zijn eerste verkennende onderzoeken uitgevoerd naar het effect van toepassing van urease-remmers (Agrotain en PPDN) op stalvloeren op de ammoniakemissie (Dooren, 2016). Hoewel deze onderzoeken nog niet officieel zijn gerapporteerd, waren de uitkomsten op hoofdlijnen als volgt: de urease-activiteit van de vloer daalde na besproeiing van de stalvloer met sterk verdunde urease-remmer met meer dan 95 %. Een eenmaal daagse behandeling bleek voldoende om deze UA-reductie vast te houden. De ammoniakuitstoot uit de afdeling nam in geringere mate af, globaal variërend van 10 tot 30 %. Er van uitgaande dat de urease-remmers alleen actief zijn om de vloeremissie te reduceren, betekent dit dat onder de toenmalige omstandigheden de vloeremissie met 25 - 60 % kon worden teruggebracht.

Agrotain heeft zich na dit onderzoek teruggetrokken om reden dat het product niet geregistreerd was voor gebruik in een dieromgeving. Met PPDN zal in samenwerking met SKV en de Universiteit van Hohenheim in 2017 vervolgonderzoek plaatsvinden.

6. Ideeën voor toepassing op relatief schone vloeren in stallen

Bovenstaande informatie over de urease-activiteit indiceert dat we twee strategieën moeten toepassen om te zorgen dat ureum niet omgezet wordt in ammoniak:

1. Er voor zorgen dat zich geen bacteriefilm met een hoge urease-activiteit kan ontwikkelen op de vloer.
2. Er voor zorgen dat verse feces zo min mogelijk of zo kort mogelijk in contact komen met urine.

Ad 1.

Uit de vorige paragrafen kunnen de volgende opties worden gedestilleerd om te zorgen dat zich geen bacteriefilm ontwikkelt op de vloer:

1. Zorgen voor een gladde vloer waardoor de bacteriën zich niet kunnen hechten. Voorbeelden hiervan zijn:
 - a. metalen vloeren, zoals de driekantroostervloeren bij varkens;
 - b. roostervloeren met een dichte, niet geprofileerde indrukbare toplaag;
 - c. hardkunststof roostervloeren;
 - d. dichte, indrukbare, gladde vloeren.
2. De vloer regelmatig schoonmaken met een desinfecterend middel:
 - a. Formaldehyde, maar dit wil je liever niet gebruiken in de stal, tenzij dit middel in één werkgang ook weer verwijderd kan worden.
 - b. Ander desinfecterend middel b.v. perazijnzuur of waterstofperoxide. Ook deze middelen moeten in één werkgang weer worden verwijderd.
3. Sterk zuur, b.v. zwavelzuur. Een sterk zuur heeft 3 functies:
 - a. Het verwijdert/voorkomt de vorming van een kalkstenen laag waaraan bacteriën zich kunnen hechten.
 - b. Het denatureren van aanwezige urease.
 - c. Het binden van het eventueel gevormde ammoniak. Dit sterke zuur zal ook in dezelfde werkgang verwijderd moeten worden.
4. Hoge temperatuur. Door de temperatuur tijdelijk boven de 80°C te brengen wordt de urease gedenatureerd en worden de aanwezige bacteriën op de vloer gedood.

Ad 2.

Opties om te voorkomen dat verse feces op de vloer langdurig/veel in contact komt met urine:

1. Snelle, zo volledig mogelijke "natuurlijke" afvoer van feces van de loopvloer:
 - a. Optimale feces-doorlatende roostervloer (composiet, kunststof, metaal)
 - b. Hechting van feces in de roosterspleet of aan zijanten van de roosterbalk voorkomen
2. Na-reiniging van het bevuild oppervlak. De vloer moet zeer schoon worden gemaakt, aangezien er vrij veel urease-activiteit zit in verse feces. Op basis van de gegevens uit het proefschrift van Leinker (2007) kan berekend worden dat ca. 5 g ds aan feces nodig is om de dagelijkse productie aan ureum van één koe om te zetten. Dit betekent dat er heel weinig feces mag achterblijven op de vloer om er voor te zorgen dat de urease-activiteit limiterend wordt voor de ammoniakvorming en -emissie):
 - a. Continu schoon-schuiven/-vegen/-borstelen van de vloer, zodanig dat elk mestoppervlak tenminste éénmaal per ca. 15 min wordt schoongemaakt. Dit geldt in het bijzonder voor dichte vloeren, waar geen sprake is van snelle natuurlijke afvoer van feces.;
 - b. Schoonblazen of schoonspuiten van de vloer of een combinatie van deze twee, al dan niet in combinatie met schuiven.
 - c. Na-dweilen met desinfectant, zuur of urease-remmer

3. Feces (urease-bron) aan klauwen melkvee verwijderen: Voetbaden of klauwreinigers (borstelmat, sproeiers, ...) in de routing van de dieren plaatsen.

7. Bronnen

- Bleijenberg, R., W. Kroodsma & N.W.M. Ogink, 1995. Techniques for the reduction of ammonia emission from a cubicle house with slatted floor (In Dutch). Report 94-35, Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Wageningen, 34 pp.
- Braam, C. R., and C. J. Van den Hoorn. 1996. Betonnen stalvloeren met lage ammoniakemissie IMAD-DLO Rapport 96-12. Wageningen, Nederland, 207 pp.
- Braam C.R., J.M.H. Ketelaars & M.C.J. Smits, 1997a. Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. Netherlands Journal of Agricultural Science, 45, 49-64.
- Braam, C.R., Smits, M.C.J., Gunnink, H. & Swierstra, D., 1997b. Ammonia emission from a doublesloped solid floor in a cubicle house for dairy cows. In: J. Agric. Engng. Res. No. 68, p. 375 - 386.
- Dooren van, H.J.C. (2016),. Mondelinge mededelingen.
- Ketelaars, J.J.M.H. and H. Rap, 1994. Ammonia volatilization from urine applied to the floor of a dairy cow barn. In: L. 't Mannetje and J. Frame (Eds.), Grassland and Society. Wageningen Press, Wageningen, pp. 413-417
- Ketelaars et al., 1995. Beperking ureaseactiviteit van stalvloeren: ontwikkeling van een brongerichte aanpak ter vermindering van de ammoniakemissie uit rundveestallen. Vertrouwelijke rapportage ABDLO, Wageningen, 95 pp.
- Leinker, 2007. Entwicklung einer Prinziplösung zur Senkung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen mit Hilfe von Ureaseinhibitoren. Dissertation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Forschungsbericht Agrartechnik der VDI-MEG Nr. 462, 237 pp.
- Smits, M.C.J. en S. Bokma (2008). Verkenning perspectief van urease-remmers voor beperking van ammoniakemissie uit Nederlandse melkveestallen. ASG-rapport 141, Wageningen UR, 27 pp.
- Muck, R.E., 1981. Urease activity in bovine feces. Journal of Dairy Science Vol. 65(11): 2157-2163.
- Ogink N.W.M.; Kroodsma W., 1996. Reduction of Ammonia Emission from a Cow Cubicle House by Flushing with Water or a Formalin Solution. Journal of Agricultural Engineering Research 63: 197-204
- Watson, C.J., 2005. Urease inhibitors. In: IFA Int. Workshop on enhanced-efficiency fertilizers. Frankfurt, Germany, June 2005, 8 pp.

5.2 Ontwerp alternatieve luchtwasser voor melkveestal.

R. Melse & S. Bokma

1. Vraagstelling en achtergrond

Toepassing van luchtwassers is een beproefd middel om de uitstoot van ammoniak (NH_3) van *mechanisch geventileerde* varkens- en kippenstallen te verminderen. De twee hoofdtypen zijn "chemische luchtwassers" en "biologische luchtwassers". Chemische luchtwassers hebben ten opzichte van biologische luchtwassers over het algemeen een hoger verwijderingsrendement voor NH_3 (90% versus 70%) en een lager verwijderingsrendement voor geur (30% versus 45%).

De vraag die ons binnen het kader van dit project werd voorgelegd, was als volgt geformuleerd:

Onderzoeksvraag (6): Luchtwassers in open systemen

Doel van dit onderdeel: Verdere uitwerking van paragraaf 5 van het stuk "Onderzoeksvraag 3: Verkenning mogelijkheden natuurlijk geventileerde luchtwasser."

In welke mate zijn luchtwassers te optimaliseren voor het gebruik in open stallen? Hier wordt verder gewerkt aan een ontwerp van een luchtwasser, die beter aansluit bij de situatie in de melkveehouderij, als vervolg op de eerdere verkenning van Onderzoeksvraag 3 (uitgevoerd door Roland Melse en Sjoerd Bokma) in het document van de evaluatie van de ontwerpateliers. Daar werden in paragraaf 5 de contouren geschetst van zo'n luchtwasser.

De vraag die in deze notitie wordt uitgewerkt is of een alternatieve luchtwasser kan ontworpen worden die te combineren is met een melkveestal. Met deze vervolgstudie streven we naar een zodanig verdere doordenking van deze contouren, dat daarmee vervolgens geëxperimenteerd zou kunnen worden. Denkbaar is bijv. dat een of meer configuraties worden voorgesteld, met voor- en nadelen, en dat deze in een ronde met collega's en bedrijfsleven verder worden geoptimaliseerd.

2. Open en gesloten stallen

In de huidige praktijk is het zo dat melkveestallen 'open' stallen zijn die natuurlijk geventileerd worden. Om een emissiereductie te bereiken door toepassing van luchtwassing, zal in elk geval een deel van deze lucht door de luchtwasser moeten worden geleid. Op deze manier wordt de stal minder 'open'. De verhouding tussen de hoeveelheid lucht die door de wasser gaat en de hoeveelheid lucht die de stal verlaat door de andere ventilatieopeningen zal een grote impact hebben op de uiteindelijke emissiereductie die uiteindelijk bereikt wordt. De grootte van de luchtstroom heeft ook een grote invloed op de kosten van luchtwassing, zowel op de investeringskosten als op de variabele kosten. Voor een twee maal zo grote luchtstroom is namelijk in principe een twee maal zo grote luchtwasser nodig.

In principe is het mogelijk een combinatie na te streven van een hoog natuurlijk ventilatiedebiet en een hoog debiet door de luchtwasser. Wanneer bijvoorbeeld het maximale debiet 4.000 m³/uur/koe bedraagt (zoals incidenteel wel is vastgesteld bij natuurlijk geventileerde open melkveestallen), zou bijvoorbeeld de helft daarvan door de ventilatieopeningen en de helft daarvan door de luchtwasser kunnen worden geventileerd. Als de luchtwasser een NH₃-rendement van 90% zou hebben, wordt op deze manier dus een netto-emissiereductie van 50% x 90% = 45% bereikt. Hiervoor is dan wel een luchtwasser met mechanisch ventilatiesysteem nodig met een capaciteit van 2.000 m³/uur/koe. Uitgaand van een stal met 100 melkkoeien betekent dit dus een te reinigen debiet van maximaal 200.000 m³/uur.

In de praktijk zal het echter de vraag zijn wat de werkelijke verdeling tussen de luchtstromen is en zal een 50/50 verdeling waarschijnlijk niet aan de orde zijn. De luchthoeveelheid die door de wasser gaat is wel goed te bepalen, maar de hoeveelheid stallucht die de stal via andere luchtuitlaatopeningen verlaat is namelijk meestal onbekend.

Een andere mogelijkheid is om de oplossing te zoeken in een meer gesloten stal. Stel dat we uitgaan van een stal met een gecontroleerd debiet van 700 m³/uur/koe²¹. Uitgaand van een stal met 100 melkkoeien waarbij alle lucht door de luchtwasser gaat, betekent dit dus een te reinigen debiet van 70.000 m³/uur. Als we ook hier aannemen dat de luchtwasser een NH₃-rendement van 90% zou hebben, wordt in dit geval dus een netto-emissiereductie van 90% bereikt. Wel is het zo dat deze luchtwasser 3 maal zo klein kan zijn als voor de (deels) open stal die voor 50% natuurlijk wordt geventileerd (capaciteit van de luchtwasser is in het ene geval 70.000 m³/uur en in het andere geval 200.000 m³/uur).

Hieruit volgt dat de kosten van emissiereductie bij een mechanische geventileerde stal (ventilatie stal is 700 m³/koe/uur) ongeveer 6 maal zo laag zijn, want 2 x zo hoog rendement en 3 x zo kleine wasser, dan bij een stal die voor de helft mechanisch wordt geventileerd (ventilatie stal is 700 m³/koe/uur).

3. Conventionele luchtwasser

Een conventionele enkelvoudige luchtwasser heeft een "gepakt bed", dat wil zeggen dat hij bestaat uit een volume pakkingsmateriaal dat bevochtigd wordt. Het pakkingsmateriaal heeft tot doel om het contactoppervlak tussen lucht en waswater te vergroten (dus een groot specifiek oppervlak) en heeft tevens als gevolg dat de contacttijd tussen waswater en lucht langer is, waardoor er minder waswater behoeft te worden rondgepompt (energiebesparing). In de regel heeft een dergelijk systeem een minimum luchtverblijftijd van 0,5 seconde, dus bij een debiet van 70.000 m³/uur = 19 m³ lucht/s zou dit 19 x 0,5 = 10 m³ pakkingsmateriaal betekenen. Dit kan een chemische of een biologische

²¹ Deze 700 m³/uur/koe is als uitgangspunt genomen op grond van de notitie 'Verkenning klimatisering bij beperking debiet' (Aarnink & Bokma, 12-4-2016) ("Wanneer er op een warme zomerse dag een maximale temperatuurstijging in de stal wordt geaccepteerd van 3°C dan moet het debiet min. 700 m³/uur/koe bedragen.")

luchtwasser zijn, waarbij de recirculerende vloeistof de ammoniak uit de lucht opneemt. Een zogenaamde 'waterwasser' (waarbij water wordt gerecirculeerd, zonder dat zuur of bacteriën aanwezig zijn) heeft geen noemenswaardige ammoniakreductie tot gevolg en wordt daarom niet geschikt geacht om de beoogde ammoniakreductie te bereiken.

Bij een mechanische geventileerde stal zal bij het maximale ventilatiedebiet een forse tegendruk optreden in de luchtwasser van maximaal ongeveer 100 Pa, als gevolg van de aanwezigheid van het pakkingsmateriaal én ervan uitgaande dat het pakkingsmateriaal ook nog eens vervuild raakt. Uitgaand van een pakketdikte van 50 cm dikte (dus 20 m² luchtaanvoer oppervlak) is de luchtsnelheid (op basis van een lege ruimte) door het pakket dan ca. 1 m/s. Deze tegendruk wordt bij een reguliere varkens- of kippenstal opgebracht door hoge-druk ventilatoren die verantwoordelijk zijn voor ventilatie van de stal. Aangezien dit bij een natuurlijk geventileerde stal niet mogelijk is, zal moeten gezocht worden naar een ander ventilatie- en/of wasser ontwerp.

4. Mechanische en natuurlijke ventilatie

In een eerder stadium is door ons reeds gekeken naar de mogelijkheid om gebruik te maken van 'natuurlijke trek' (zie EDD20 - Evaluatie van ontwerpen en oplossingen & uitwerking onderzoeksvragen, Puente Rodríguez et al., 20 april 2016). Dat wil zeggen dat de drijvende kracht voor de luchtverplaatsing door de luchtwasser wordt veroorzaakt door windzuiging, windstuwing en het schoorsteeneffect. In de eerdere studie werd echter geconcludeerd dat er (gemiddeld gezien) maar een beperkte opbouw van opwaartse druk door de luchtwasser te verwachten is en dat deze drukopbouw in het algemeen te laag zal zijn om een groot ventilatiedebiet door de luchtwasser te creëren. Bovendien geldt dat op zeer warme dagen, wanneer de behoefte om maximaal te ventileren het grootst is, we veelal te maken hebben met (nagenoeg) windstil weer waardoor de zuigende kracht laag is. Dus geldt in de regel dat op het moment van de grootste ventilatiebehoefte de kleinste 'natuurlijke ventilatie' door de luchtwasser kan worden verwacht.

5. Uitgangspunt voor ontwerp

Op basis van bovenstaande analyse concluderen wij dat luchtwassing alleen haalbaar lijkt wanneer (bijna) alle ventilatielucht de stal via de luchtwasser verlaat. Verder zijn de mogelijkheden van een natuurlijk geventileerde luchtwasser, zoals hiervoor geschetst, beperkt. Het ligt daarom voor de hand om te zoeken naar een combinatie van een mechanisch ventilatiesysteem en een luchtwassysteem met een lage drukopbouw. Deze lage drukopbouw is gewenst om de kosten te beperken. De natuurlijke zuigkracht kan dit proces eventueel ondersteunen. Onderstaand wordt hiervoor een ontwerp beschreven van zowel een ventilatiesysteem als een luchtwasser.

6. Ontwerp ventilatiesysteem

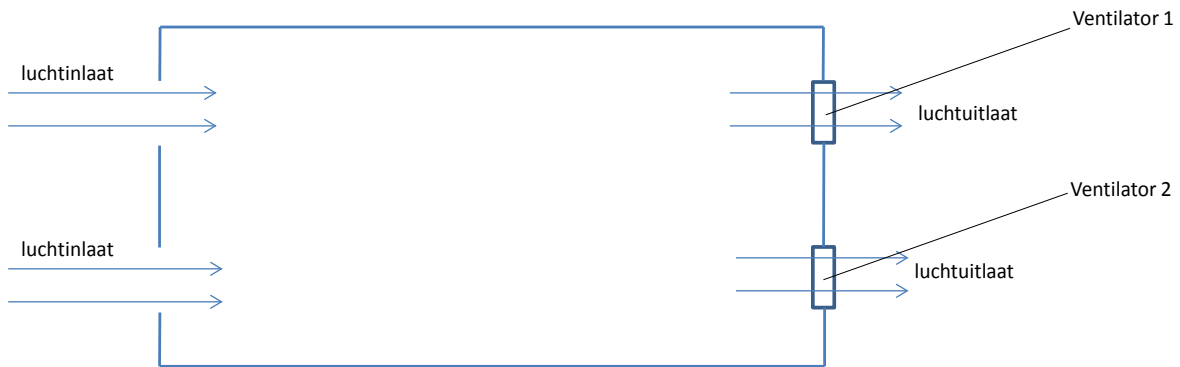
Voorgesteld wordt om aan één zijde van de stal luchtinlaten te maken en aan de andere kant van de stal een luchtuitlaat, een ventilator en een lage-druk luchtwasser. In principe is het ook mogelijk om een (zuigende) ventilator na de wasser te plaatsen, maar dit wordt meestal niet gedaan om contact tussen ventilator en waswater te voorkomen (corrosie).

De oriëntatie van de stal en luchtinlaten wordt zo gekozen dat de overwegende windrichting via de luchtinlaten de stal zal inblazen (zuidoost). Aan de uitstroomzijde van de stal, tegenover de luchtinlaten, bevinden zich een of meerdere ventilatoren met een groot oppervlak en lage luchtsnelheid, bijv. twee ventilatoren met een diameter van 1,3 m ($A = 1,3 \text{ m}^2$). Dit betekent dat de luchtsnelheid door de ventilatoren ca. 3,7 m/s zal zijn bij een ingesteld debiet van 35.000 m³/uur per ventilator. Uitgangspunt hierbij is dat alle ventilatielucht de stal via de ventilatoren en luchtwasser verlaat.

Omdat het ventilatiedebiet ingesteld is op continu debiet van 700 m³/uur/dier is het in principe niet noodzakelijk om de temperatuur en/of CO₂ concentratie in de stal te meten om deze te gebruiken als regelparameter voor het ventilatiesysteem.

De ventilatoren zijn frequentiegeregeld en uitgerust met meetwaaiers om de luchtsnelheid te meten. Wanneer de wind in de juiste richting staat en buitenlucht de inlaatopeningen van de stal inblaast, zal de motor van de ventilatoren zo ver worden terug geregeld dat nog juist het ingestelde debiet van

35.000 m³/uur per ventilator bereikt wordt. Het mechanische ventilatiesysteem wordt op deze manier dus ondersteund door de wind. Wanneer het windstil is of wanneer de wind in de andere richting blaast, zullen de ventilatoren harder moeten werken om het ingestelde debiet te bereiken. In Figuur 15 wordt het hierboven beschreven systeem schematisch weergegeven.



Figuur 15 Schematische weergave ventilatie systeem mechanische geventileerde melkvee stal (bovenaanzicht).

7. Ontwerp nieuw type 'lage-druk luchtwasser'

Geen pakkingsmateriaal

Door de luchtwasser anders op te bouwen dan de conventionele luchtwasser (zie boven: maximale drukval is in ordegrrootte van 100 Pa) is de verwachting dat de drukval drastisch verlaagd kan worden, vandaar de term 'lage druk luchtwasser'. De oorzaak van de hoge luchtweerstand in een conventionele luchtwasser is de aanwezigheid van het pakkingsmateriaal: de lucht moet zich door dit pakket heen bewegen en moet daardoor een weerstand overwinnen. Bij de opstart van een conventionele luchtwasser zal deze druk nog relatief laag zijn, maar wanneer zich stof e.d. gaat ophopen en het pakkingsmateriaal enigszins verstopt raakt, kan de tegendruk sterk toenemen.

De reden dat pakkingsmateriaal wordt toegepast in een conventionele luchtwasser is het vergroten van het contactoppervlak tussen lucht en water. Het pakkingsmateriaal (wat een groot specifiek oppervlak heeft) wordt namelijk bevochtigd met het waswater, waardoor het contactoppervlak van het water en de te reinigen lucht veel groter is dan wanneer er sprake is van lucht die door een lege ruimte heen stroomt waarin alleen waterdruppeltjes aanwezig zijn. Daarnaast heeft toepassing van pakkingsmateriaal tot gevolg dat het water gedurende een langer tijd in contact is met de lucht. Desalniettemin wordt in het nieuwe ontwerp voorgesteld het pakket uit de luchtwasser te verwijderen om op deze wijze de drukval in het systeem drastisch te verminderen. Het resultaat is dan dus een open ruimte waar de lucht doorheen stroomt, van onder naar boven, en die van bovenaf met nevelsproeiers wordt bevochtigd. Vanwege het lagere contactoppervlak zal een langere verblijftijd nodig zijn dan bij een conventionele luchtwasser.

Een dergelijke luchtwasser zonder pakkingsmateriaal wordt sinds kort aangeboden in Denemarken voor de reiniging van stallucht van varkens- en kippenstallen (firma Munters, type MAC Air cleaner, liggend model in 20-voets zeecontainer). Een dergelijk systeem is voor zover bekend nog nooit toegepast in een melkveestal.

Bij dit systeem is sprake van een minimale luchtverblijftijd van ca. 2 s in de sproeiruimte. Wanneer dit ook in voorliggend ontwerp wordt gehanteerd, is dus een vier maal zo lange verblijftijd nodig dan bij een conventionele luchtwasser. Bij een luchtdebiet door de luchtwasser van maximaal 70.000 m³/uur (= 19 m³ lucht/s) betekent dit dus een benodigd wasser volume van 38 m³. Ingeschat wordt dat de drukval op deze manier met een factor 10 verlaagd kan worden ten opzichte van een conventionele luchtwasser, tot ca. 10 Pa. Bedacht moet worden dat daarnaast enige onderdruk zal moeten opgebouwd worden in de stal (stel: 15 Pa) om er zeker van te zijn dat de stallucht inderdaad volledig via de luchtwasser wordt geventileerd, in plaats van dat een deel van de stallucht de stal onbedoeld via de luchtinlaatopeningen verlaat (afhankelijk van de windsterkte en -richting). De totale druk komt dan uit op 25 Pa. Bij toepassing van een dergelijke luchtwasser kan de energiebehoefte voor ventilatie veel lager zijn dan bij een 'conventionele luchtwasser' die gevuld is met pakkingsmateriaal.

Aangezien sproeiers worden toegepast die een fijne nevel produceren zal het waarschijnlijk niet mogelijk zijn om een biologische wassysteem toe te passen, teneinde verstopping van de sproeiers ('spray nozzles') te voorkomen. Daarnaast speelt bij een biologische luchtwasser de biofilm op het pakkingsmateriaal een belangrijke rol, terwijl het pakkingsmateriaal in het voorgestelde ontwerp ontbreekt. Tenslotte is het zo dat een biologische luchtwasser (die voornamelijk toegepast wordt bij varkensstallen) minder geschikt is voor behandeling van lucht met relatief lage NH_3 concentraties (bij een melkveestal zal de NH_3 concentratie naar verwachting 10 tot 100 maal zo laag zijn als bijv. bij een varkensstal) zodat toepassing van een biologische luchtwasser ook om deze reden minder geschikt is. Geconcludeerd wordt dan ook dat de te ontwerpen wasser van het type 'chemische luchtwasser' moet zijn.

Ingeschat wordt dat een effectieve NH_3 -reductie van 80% haalbaar is bij een 'lage druk' chemische luchtwasser.

Dimensionering luchtwasser en globale inschatting kosten

In Tabel 2a en 2b wordt het ontwerp nader gespecificeerd en in Figuur 16 wordt een schematische weergave van de luchtwasser gegeven.

De verwachting is dat de investeringskosten (uitgedrukt als EUR per m^3 /uur ventilatiecapaciteit) van een dergelijke luchtwasser vergelijkbaar zullen zijn met een reguliere luchtwasser. Als vuistregel wordt in veehouderij aangehouden dat de investeringskosten van een luchtwasser EUR 0,5 - 1,0 per m^3 /uur ventilatiecapaciteit bedragen, dus dat zou voor een luchtwasser van 70.000 m^3 /uur een investering van 35 - 70 kEUR betekenen. N.B.: dit zijn de kosten van alleen de luchtwasser, de investeringskosten van het mechanisch ventilatiesysteem moeten hierbij nog worden opgeteld.

De verbruikskosten van het ventilatiesysteem (uitgedrukt als EUR per m^3 /uur ventilatiecapaciteit) zullen vanwege de veel lagere drukval naar verwachting 2 - 4 maal zo laag zijn dan bij een conventionele luchtwasser. De totale energiekosten van ventilatiesysteem en luchtwasser worden ingeschat op 7 - 10 kW (zie Tabel 2b), zodat de jaarlijkse energiekosten dan 6 - 9 kEUR bedragen (uitgaand van EUR 0,10 per kWh).

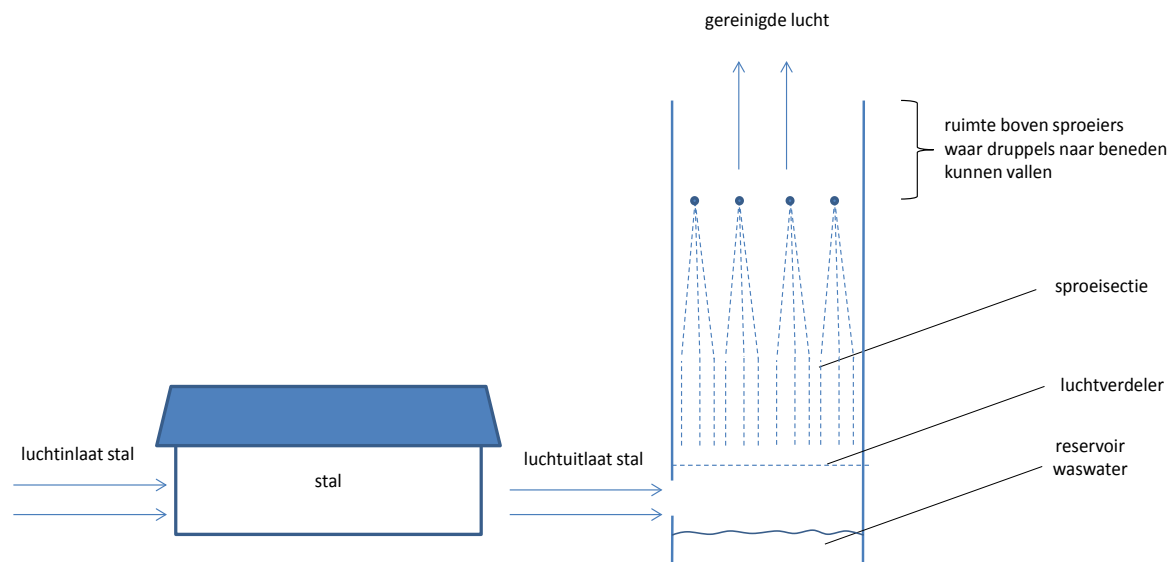
Het waswater wordt gerecirculeerd (niet in Figuur 16 aangegeven) door continu water op te pompen uit het reservoir en dit te versproeien aan de bovenzijde van de luchtwasser. Het waterniveau in het reservoir wordt continu aangevuld met vers water om te compenseren voor verdamping en afvoer van spuiwater. Met behulp van een pomp wordt zuur gedoseerd om de pH van het waswater in de gewenste range van 2 - 4 te houden. Wanneer het water een stikstofgehalte heeft van ca. 40 g N/l wordt het afgevoerd. Dit water kan gebruikt worden als een direct werkende stikstofmeststof (voor aanwending op gras- of bouwland zal de pH nog iets verhoogd dienen te worden (tot een pH van maximaal 6)).

Tabel 2a Algemene ontwerpkenmerken 'lage druk' chemische luchtwasser met mechanische ventilatie. ⁽¹⁾ Op basis van een lege ruimte ('empty bed residence time').

Type luchtwasser	chemische luchtwasser
Stroomrichting	tegenstroom
Type wassectie	open ruimte met verneveling van waswater met sproeiers
Type zuur	geconcentreerd zwavelzuur (H ₂ SO ₄)
pH waswater	2 - 4
Rendement	NH ₃ : 80% geur: 30% PM ₁₀ : 35%
Minimale luchtverblijftijd	2,0 seconde ⁽¹⁾
Maximale drukval over de wasser	10 Pa
Spuiwatercondities	maximale concentratie (NH ₄) ₂ SO ₄ : ca. 40 g N/l maximale EC: ca. 200 mS/cm
Spuiwaterregeling	wanneer maximale EC is bereikt, wordt deel waswater gespuid en aangevuld met vers water

Tabel 2b Specifieke dimensionering van 'lage druk' chemische luchtwasser met mechanische ventilatie voor stal met 100 melkkoeien en 80% NH₃ verwijdering. ⁽¹⁾ Gebaseerd op 700 m³/dier/uur en een lege ruimte ('empty bed residence time'); ⁽²⁾ komt overeen met conventionele chemische luchtwasser en met Munters MAC wasser; ⁽³⁾ gebaseerd op 12,2 kg NH₃/dpl/jaar; ⁽⁴⁾ Gebaseerd op een toename van de relatieve vochtigheid van 60% naar 100%.

Ventilatiedebiet	70.000 m ³ /uur ⁽¹⁾ = 20 m ³ /s
Volume wassectie	40 m ³
Luchtsnelheid in wassectie	2 m/s ⁽²⁾
Doorsnede wassectie (rechthoekig)	4 m x 5 m = 20 m ²
Hoogte wassectie	2 m
Ammoniakvracht	ca. 1.000 kg N/jaar ⁽³⁾ ; bij 70.000 m ³ /uur is dat gelijk aan gemiddeld 2,0 mg NH ₃ /m ³ = 2,9 ppm NH ₃
Zuurverbruik	ca. 1,6 m ³ H ₂ SO ₄ /jaar = 2,9 ton H ₂ SO ₄ /jaar
Waterverbruik	ca. 1.500 m ³ /jaar ⁽⁴⁾
Spuiwaterproductie	ca. 200 m ³ /jaar
Elektragebruik recirculatiepompen (inschatting)	17.500 - 35.000 kWh/jaar (2 - 4 kW)
Elektragebruik ventilatiesysteem (inschatting)	44.000 - 53.000 kWh/jaar (5 - 6 kW)



Figuur 16 Schematische weergave luchtwasser met sproeisectie, zonder pakkingsmateriaal (zijaanzicht).

Druppeldynamiek

In het ontwerp van de luchtwasser, zoals geschetst in Figuur 16, moet er boven de sproeisectie voldoende ruimte zijn om eventuele waterdruppeltjes (met lage pH waarde) terug te laten vallen naar beneden, omdat het ongewenst is dat deze druppeltjes de wasser zouden verlaten. De druppeltjes bevatten opgelost zout (ammoniumsulfaat) en een hoeveelheid zwavelzuur.

Hierbij is sprake van een samenspel met verschillende factoren, waaronder:

- druppelgrootte op het moment dat deze gemaakt worden (specificatie van de toegepaste sproeiers: druppelgrootte in relatie tot pompdruk, oriëntatie van de sproeiers);
- opwaartse lichtsnelheid (waardoor druppeltjes kunnen worden meegenomen);
- snelheid van verdampen (= kleiner worden van druppels); kleinere druppels worden gemakkelijker meegenomen met de luchtstroom waardoor deze terecht kunnen komen buiten de wasser;
- mate van samenklonteren van druppels (= groter worden van druppels; grotere druppels vallen gemakkelijker naar beneden).

Deze zaken zullen tezamen bepalen of er al dan niet sprake is van waterdruppels die de wasser verlaten.

Aanbevolen wordt om het ontwerp in detail vast te stellen in samenspraak met een leverancier van sproeiers/spray nozzles en een bedrijf wat luchtwassers ontwerpt en bouwt.

Indien nodig kan aan de bovenzijde van de luchtwasser een druppelvanger of filter worden geplaatst om uitstoot van druppeltjes waswater te voorkomen, zoals ook bij de eerder genoemde luchtwasser van Munters wordt toegepast; hierdoor zal de drukval iets toenemen.

Een andere mogelijkheid is bijvoorbeeld om boven de sproeiers die het zure water recirculeren, een tweede laag van sproeiers te monteren waarmee schoon water aan het systeem wordt toegevoegd (het toevoegen van schoon water moet sowieso continu gebeuren om het waterniveau in het systeem aan te vullen omdat een deel van het water verdampt en het andere deel als spuiwater wordt afgevoerd). Op deze wijze wordt de lucht, die mogelijk nog druppeltjes zuur waswater bevat, gewassen met schoon water met als doel de zure druppels weg te spoelen. Eventueel kan de pH van het schone water nog enigszins verhoogd worden (bijv. tot 9) om de efficiëntie van het uitwassen van de zure druppels nog te verhogen.

Literatuur

- Melse, R.W. en H.C. Willers (2004). Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Fase 1: Techniek en kosten. Rapport 029. Agrotechnology & Food Innovations (A&F), Wageningen.
- Melse, R.W. en N.W.M. Ogink (2004). Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Fase 2: Mogelijkheden tot kostenverlaging van wassers. Rapport 271. Agrotechnology & Food Innovations (A&F).
- Melse, R.W.; N.W.M. Ogink (2005) Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. T. ASAE. Vol 48 No 6 pp 2303-2313.
- Melse, R.W.; N.W.M. Ogink; B.J.J. Bosma (2008). Multi-pollutant scrubbers for removal of ammonia, odor, and particulate matter from animal house exhaust air. Proceedings of the Mitigating Air Emissions from Animal Feeding Operations Conference, May 19 - 21, 2008, Des Moines, Iowa (IA), USA.

5.3 Optimaal stalklimaat voor lage ammoniakemissies in melkveestallen.

A.J.A. Aarnink & S. Bokma

Deze paragraaf is een samenvatting van het Wageningen Livestock Research rapport Aarnink & Bokma, *in press*. Optimaal stalklimaat voor lage ammoniakemissies in melkveestallen. Wageningen Livestock Research rapport.

In het kader van het EDD20 project was er behoefte om beter aan te kunnen geven wat de effecten zijn van bepaalde ammoniak-reductiemaatregelen op het stalklimaat. Specifiek, was de vraag vanuit dat project om, modelmatig, de effecten van een meer gecontroleerde ventilatie van stallen te kunnen berekenen op de temperatuur, RV en concentratie van verschillende gassen. Wageningen Livestock Research heeft modellen ontwikkeld om het klimaat in mechanisch geventileerde varkens- en pluimveestallen te simuleren. Het doel van dit onderzoek is tweeledig:

1. Het doorontwikkelen van een rekenmodel voor het bepalen van het klimaat (T/RV, concentratie gassen) in melkveestallen onder verschillende weersomstandigheden en bij verschillende ventilatiehoeveelheden en mogelijkheden/eisen voor conditionering van de lucht (Stalmodel).
2. Het bepalen van de ontwerpisen voor een nieuw concept (AirCO-W) en bepalen welke klimaatvoordelen dit biedt ten opzichte van een traditionele klimatisering van melkveestallen.

Binnen dit project is het rekenmodel ontwikkeld voor melkvee, vanuit de basismodellen die al ontwikkeld waren voor varkens en pluimvee. Met behulp van dit model zijn een aantal vragen beantwoord die in de ontwerpessies naar voren kwamen en is het stalklimaat doorgerekend voor de AirCO-W stal: een specifiek concept-ontwerp voor een stal die in één van de ontwerpessies is ontwikkeld (zie sectie 4.3.2). De belangrijkste conclusies uit deze berekeningen zijn de volgende:

- Als een maximum CO₂-concentratie van 0,30 vol% wordt aangehouden, dan zou er minimaal 100 m³/uur per melkkoe moeten worden geventileerd.
- Wanneer er een maximaal temperatuurverschil wordt geaccepteerd van 3°C tussen stallucht en buitenlucht (in de zomer, uitgaand van een geïsoleerd dak) dan moet het maximum te installeren debiet tenminste 700 m³/uur per koe bedragen.
- Er is minimaal 1500 Watt per melkkoe aan koelcapaciteit nodig om een melkveestal gedurende meer dan 95% van de tijd binnen de gewenste thermocomfort zone (0 – 20°C) te houden.
- Bij een constant debiet van 200 m³/uur of minder is er vrijwel geen verwarmingscapaciteit nodig om aan de ondergrens van een ruimtetemperatuur van 0°C te voldoen.
- Bij conditionering van de inkomende lucht met een grondwater-warmtewisselaar, zal er in de winter ruim boven de minimumventilatie van 100 m³/h moeten worden geventileerd om in de zomer voldoende afgekoeld grondwater ter beschikking te hebben.

-
- Wanneer de maximale koelcapaciteit al wordt benut is het bij hoge temperaturen efficiënter om minder te ventileren (bij $T_{\text{buiten}} > T_{\text{stal}}$).
 - Extra verdampingskoeling, b.v. met behulp van een vernevelaar in de ingaande lucht, is in het algemeen niet zinvol als de lucht al wordt voorgekoeld met bijvoorbeeld een grondwater-warmtewisselaar

6 Burgers en dichte stallen: Een verkenning naar het maatschappelijk belang van openheid van melkveestallen

B. Bremmer

In EDD2020 heeft men zich tot doel gesteld integraal duurzame melkveestallen te ontwerpen die klaar zijn voor de toekomst. Naast technische eisen (vanuit productie, maar ook vanuit milieu en dier) en economische eisen zit er aan die duurzame toekomst ook een maatschappelijke component. Die wordt vooral zichtbaar als het gaat om het reduceren van ammoniak. Om tot een maximale ammoniakreductie te komen worden naast bronmaatregelen ook end-of-pipe oplossingen (klimaatbeheersing, ventilatie en luchtwassing) voorgesteld. Die laatste hebben het meeste effect in dichte stallen. Maar dichte stallen in de melkveehouderij roepen negatieve associaties op. Ze zouden gezien kunnen worden als een beweging in de richting van de intensieve veehouderij, ze kunnen de suggestie oproepen van een verminderd dierenwelzijn, en ze kunnen het vertrouwen in verantwoorde productie schaden. Kortom: gesloten stallen zijn slecht voor het imago van de sector. Daarom is binnen EDD2020 gekozen voor het ontwerpen van open stallen.

Onderzoek naar 'open stallen'

Maar met de keuze voor open stallen is het spanningsveld tussen ammoniakreductie enerzijds en behoeften vanuit de maatschappij anderzijds nog niet weggenomen. Want wat houdt die keuze voor open stallen eigenlijk in? Het is niet duidelijk wat dichte stallen nu precies ongewenst maakt, en welke aspecten een stal open maken: gaat dat om zichtbaarheid, toegankelijkheid en transparantie, klimatologische openheid, of een combinatie daarvan? Spelen er nog andere elementen een rol, en welke invloed heeft de bredere context van de stal, het management, de bedrijfsvoering? Is openheid van de stal überhaupt een issue op het moment dat er sprake is van weidegang?

De ontwerpeisen op het gebied van openheid zijn niet helder en vragen aandacht. Deze ontwerpeisen zijn van belang, omdat ze de oplossingsruimte beperken die er bestaat voor de reductie van ammoniak. Om deze ontwerpeisen inzichtelijk te maken is een verkennend onderzoek gestart naar de maatschappelijke betekenis van de openheid van melkveestallen. In deze verkenning stonden twee onderzoeksvragen centraal:

- Welke eigenschappen maken dat een stal open genoemd kan worden?
- Wat zijn de belangrijkste argumenten (achterliggende motieven) die worden gebruikt om voor 'open stallen' te pleiten?

Met deze vragen is een onderzoek gestart naar de maatschappelijke betekenis van de openheid van melkveestallen. Met behulp van uitgebreid literatuuronderzoek is de burgerperceptie in relatie tot de openheid van stallen in kaart gebracht. En aan de hand van interviews met sectorpartijen, sectordeskundigen, NGO's en landschapsexperts is deze burgerperceptie in een breder maatschappelijk kader geplaatst.

Dé burger bestaat niet

Om rekening te houden met de perceptie van burgers zou het voor de melkveehouderij – of welke partij dan ook – het eenvoudigst zijn als die perceptie gelijk zou zijn voor alle burgers. Dat is helaas niet het geval. Elke burger is anders, en verschillende groepen in de samenleving houden er verschillende waardenpatronen op na, zodat ze heel verschillend aankijken tegen bijvoorbeeld de melkveehouderij (De Jonge et al., 2000; Te Velde et al., 2001; Boogaard, 2009).

Uitgaan van de 'gemiddelde burger' heeft daarom weinig zin, omdat dat geen recht doet aan de variatie die er bestaat onder burgers. Wel tonen diverse onderzoeken aan dat het mogelijk is om een zinvolle indeling in groepen burgers te maken, die er gedeelde waardenpatronen op nahouden (zie bijvoorbeeld Hessing-Couvret et al., 2003; Beckers et al., 2004; Verheggen et al., 2007). In deze verkenning is ervoor gekozen om uit te gaan van deze variatie, en daaruit de aspecten te halen die er

toe doen voor de melkveehouderij. Daarbij is niet alleen gekeken naar de burgers die zich op dit moment laten horen (een relatief kleine groep), maar juist ook naar de burgers die zich interesseren voor de (melk)veehouderij, maar die zich daar zelden over uitspreken (een veel grotere groep).

Laag kennisniveau bij de burger over de melkveehouderij

Uit diverse onderzoeken blijkt dat het overgrote deel van de Nederlanders vrijwel niets weet over de melkveehouderij (Te Velde et al., 2001). Burgers weten dit ook van zichzelf en verbinden daar vaak de conclusie aan dat zij ook niet in de positie zijn om te oordelen over de melkveehouderij. De meeste burgers hebben dan ook geen uitgesproken mening over de melkveehouderij, en voelen zich niet geroepen om eisen te stellen aan hoe het er in de sector aan toe gaat (Verhue et al., 2011; Verheggen et al., 2007).

Dat betekent echter niet dat de burger onverschillig is over de melkveehouderij; zeker niet! Alleen zien de burgers het in de eerste plaats als taak voor de veehouder om te zorgen voor een verantwoorde productie. En als dat te wensen overlaat, gaan ze ervan uit dat de overheid ingrijpt (Consumentenplatform, 2010).

Maar op het moment dat er echt iets aan de hand is, is er wel degelijk een grote groep burgers die zich hier een mening over vormt, en die mogelijk zelfs in actie komt. Maar door het lage kennisniveau en het incidentele contact met de sector is het voor de burger niet van tevoren uitgemaakt hoe de melkveehouderij beoordeeld moet worden. Die invulling ontstaat pas op het moment dat de nieuwe informatie wordt aangeboden; waarden spelen bij die invulling een grote rol.

Waarden van burgers

Wanneer mensen geconfronteerd worden met nieuwe informatie – bijvoorbeeld in de vorm van nieuwe beelden of verhalen over de melkveehouderij – gebruiken zij hun referentiekader om die informatie te interpreteren; zij geven er betekenis aan, zodat het past in de manier waarop zij naar de wereld kijken (Aarts & Van Woerkom, 1994).

De kern van het referentiekader zit in waarden. Waarden kun je zien als 'leidende principes' om te bepalen wat goed of slecht is, en op basis waarvan mensen tot oordelen komen en keuzes maken (Schwartz, 2006; Boogaard, 2009). Onderzoek naar waarden levert een dieper inzicht op in de beweegredenen achter voorkeuren en keuzes van mensen (Oppenhuisen, 2000).

Omdat burgers niet regelmatig in aanraking komen met de melkveehouderij en hun kennisniveau laag is, is er bij veel burgers geen vast patroon waarop de sector beoordeeld wordt. Er is als het ware nog ruimte om waarden te koppelen aan de melkveehouderij (Bergstra et al., 2013; Boogaard et al., 2011). Juist daarom is het moeilijk om te bepalen hoe de burger oordeelt over de sector en over de openheid van stallen.

Er zijn echter wel een aantal waarden die vrijwel alle burgers in meer of mindere mate bezitten, en die een belangrijke rol spelen in de oordeelsvorming rondom de melkveehouderij. Wanneer burgers geconfronteerd worden met nieuwe (verrassende, schokkende) informatie over de melkveehouderij, dan wordt er aan deze waarden geappelleerd en komt de burger tot een oordeel. Het gaat om (grotendeels gebaseerd op Boogaard, 2009):

- Tradities & identiteit
- Natuurlijkheid & dierenwelzijn
- Moderniteit, technologie & innovatie
- Goed doen

Het feit dat burgers weinig weten over de melkveehouderij en dat niet uitgemaakt is hoe de melkveehouderij beoordeeld moet worden, maakt de houding van de burger erg plooibaar. De beelden en verhalen die burgers voorgeschoteld krijgen, bepalen in belangrijke mate hoe zij over de melkveehouderij denken (Beckers et al., 2004) – dit in tegenstelling tot andere issues, waarbij de houding van de burger grotendeels van tevoren bepaald is.

Voor de sector kan dit een gevaar betekenen, omdat de publieke opinie zich – door toedoen van NGO's en media (Beekman et al., 2002; Boogaard et al., 2011) – makkelijk tegen de melkveehouderij kan keren. Tegelijkertijd biedt dit ook kansen voor de sector om zelf de houding van de burger te beïnvloeden, hoewel positieve beeldvorming vaak moeilijker te bewerkstelligen is dan negatieve beeldvorming.

a. Tradities: de melkveehouderij als leverancier van identiteit

Melkveebedrijven staan voor burgers in verbinding met de geschiedenis en met tradities. In de ogen van de burger moet de melkveehouderij een bijdrage leveren aan de identiteit van het Nederlandse platteland, of van een specifieke regio (Bokma et al., 2011). Voor individuele bedrijven betekent dit dat zij op de één of andere manier in verbinding moeten staan met hun omgeving (Horlings & Hinssen, 2010). Concreet betekent dat bijvoorbeeld: grazende koeien, gezinsbedrijven, intensief boer-dier contact, variatie in diersoorten, en dier- en tractorgeluiden (Boogaard, 2009).

Burgers snappen overigens heel goed dat melkveehouders in de eerste plaats moeten produceren; dat er gewoon geld verdiend moet worden. Maar daarbij is het voor de burger wel essentieel dat de elementen die bijdragen aan identiteit niet onnodig opgegeven worden.

Of dat het geval is wanneer melkveestallen dichtgemaakt worden is op basis van de gebruikte literatuur niet te zeggen. Een aantal respondenten geeft in interviews die gedaan zijn voor de huidige verkenning wel aan dat sommige burgers vinden dat stallen open horen te zijn, omdat ze dat altijd geweest zijn (ook als dat niet het geval is).

b. Natuurlijkheid: de essentie van dierenwelzijn voor de burger

Voor de meeste melkveehouders en andere partijen die dagelijks in de melkveehouderij werken is dierenwelzijn af te leiden van de fysieke gesteldheid van het dier. Voor de sector staat dierenwelzijn daarmee gelijk aan diergezondheid en een goede productie en groei. De burger erkent het belang van diergezondheid, maar voegt daar nog iets aan toe: natuurlijkheid (Bergstra et al., 2013).

Bij natuurlijkheid gaat het om een zo natuurlijk mogelijke omgeving, en de mogelijkheid voor het dier om natuurlijk gedrag te vertonen. Bij dieren die worden gehouden voor menselijke consumptie levert dat per definitie een spanningsveld op. Wat centraal lijkt te staan voor de burger is dat er niet te veel gevraagd wordt van het dier. De melkveehouderij moet zo in elkaar zitten dat de koe zich niet op alle punten moet aanpassen aan het systeem, maar dat het systeem ook in dienst staat van de koe.

Nauw daaraan verbonden is de afkeer van de burger van industrialisering: het tegenovergestelde van natuurlijkheid. De koe mag niet gedegradeerd worden tot een gebruiksvoorwerp, maar moet haar integriteit behouden (Te Velde et al., 2001).

In verschillende onderzoeken komt natuurlijkheid naar voren als een essentieel punt in de perceptie van de burger ten aanzien van de (melk)veehouderij, maar het wordt niet op veel plaatsen echt concreet gemaakt. Bos & Van Eijk (2009) komen met de meest concrete statements die te verbinden zijn aan openheid. Wat burgers volgens hen in ieder geval niet willen is: dieren gevangen zetten; dieren de hele dag binnen houden; en volledig kunstmatige omstandigheden.

Voor veel burgers is natuurlijkheid de zwaarstwegende waarde in het beoordelen van de melkveehouderij. De houding en standpunten die daaruit voortkomen worden op diverse punten bekrachtigd en versterkt door het denken over tradities en identiteit.

c. Moderniteit: technologie in dienst van boer, burger, koe en milieu

Veel burgers dragen een ideaalbeeld van een Ot en Sien-achtige veehouderij met zich mee. Maar diezelfde burgers hebben ook begrip voor vooruitgang en efficiëntie in de veehouderij (Boogaard & Dubbeldam, 2010). Een afkeer van industrialisering betekent voor de meeste burgers dan ook niet een afkeer van technologie en innovatie.

Veel burgers hebben waardering voor innovaties die een bijdrage leveren aan dierenwelzijn, diergezondheid en milieu. Maar ook voor innovaties die zorgen voor efficiënte productie, goede controlemogelijkheden, hygiënische voedselproductie, hoge productkwaliteit en verminderde fysieke arbeid voor de veehouder (Boogaard, 2009). Een boerenbestuurder licht toe: *'Met techniek moeten we niet te terughoudend zijn. Je moet het kunnen uitleggen, dan is het goed. melkrobot is een mooi voorbeeld. Door de techniek krijgt de koe keuzevrijheid. Ik heb op mijn bedrijf excursies gehad van scholen, ook de fractie van Groen Links; die hebben dat zelf gezien, en beamen dat ook. Techniek is dus niet iets waar we bang voor moeten zijn.'*

De afweging die gemaakt wordt tussen natuurlijkheid, traditie en moderniteit is elke keer anders, en hangt sterk af van de belangen die ermee gemoeid zijn. Zeker wanneer de concurrentiepositie of het voortbestaan van bedrijven op het spel staat, mag moderniteit zwaar wegen. Maar er mogen niet teveel issues zijn waarop ingeleverd wordt op het gebied van natuurlijkheid en tradities. Als dat wel het geval is, kunnen burgers een systeem als geheel gaan afkeuren (Boogaard et al., 2008). Een beleidsmedewerker bij een NGO illustreert dat de burger genuanceerd oordeelt, maar ook kritisch is wanneer natuurlijkheid in de knel komt: *'Je ziet op open dagen dat burgers vaak geschokt zijn dat kalfjes ook op biologische bedrijven binnen een dag bij de moeder worden weggehaald. Wanneer de*

boer uitlegt waarom hij dat doet, is de burger vaak wel iets milder. Maar het is wel iets dat veel burgers mee naar huis nemen: verontwaardiging blijft.'

Vanuit dit gezichtspunt zijn dichte stallen niet per definitie 'fout' in de ogen van de burger; het is typisch een kwestie waarbij burgers verschillende waarden tegen elkaar afwegen. Dat een dichte – of minder open – stal beter is voor het milieu, is voor de burger vrij makkelijk te begrijpen, en dat zal de burger ook waarderen. Tegelijkertijd zal de burger voelen dat er ingeleverd wordt op het gebied van natuurlijkheid en traditie. Maar het hangt sterk af van de manier *waarop* de stal dicht gemaakt is, hoe deze waarden tegen elkaar worden afgewogen. Bij deze afweging speelt de vierde waarde vaak een belangrijke rol: 'goed doen'. Welke intenties ziet de burger terug in de keuzes die gemaakt worden, bijvoorbeeld bij het ontwerpen van een stal?

d. Goed doen: de intenties en het verhaal

Bij afwegingen die worden gemaakt in het ontwerpen van stallen of bij agrarische bedrijfsvoering in het algemeen gaat het de burger niet alleen om het eindresultaat, maar ook om de intenties die schuilgaan achter de keuzes. De burger kijkt niet alleen naar de uitkomsten, maar ook naar de context, en de alternatieven die er zijn. De melkveehouder moet in zijn keuzes wel voldoende rekening houden met de koe. En de burger wil erop kunnen vertrouwen dat hij dat doet (Bos & Van Eijk, 2009).

Hierbij gaat het dus niet alleen om de daadwerkelijke keuzes die worden gemaakt, maar ook om de onderbouwing daarbij. Het verhaal is belangrijk. Eén van de geïnterviewde sectordeskundigen geeft aan: *'Als je stallen helemaal dicht maakt gaat de burger zich afvragen: wat zou daarbinnen eigenlijk gebeuren?'* En dat soort verhalen wordt niet alleen door de sector zelf verteld. Sterker nog: wanneer de sector nalaat om rekening te houden met de burger – zowel feitelijk de zaken goed regelen als inspelen op 'de emotie' van de burger – kan er eenvoudig een verhaal worden verteld door andere partijen.

Bij het construeren van het verhaal is het belangrijk om te beseffen dat de burger uiteindelijk voor zichzelf bepaalt hoe een verhaal werkelijk in elkaar zit. De redenering vanuit de sector kan nog zo steekhoudend en goed onderbouwd zijn voor betrokkenen; voor de burger kunnen deze zaken heel anders liggen. Die bepaalt zijn eigen vergelijkingen en afwegingen.

Op die manier is een dichte varkensstal bijvoorbeeld minder snel een probleem dan een dichte melkveestal. Bij varkens wordt 'dicht' als de standaardoptie gezien, terwijl de burger bij een dichte melkveestal veel eerder twijfelt aan de intenties van de ondernemer. Want als zijn collega's wel vooruit kunnen met een open stal, waarom deze ondernemer dan niet? Zit daar persoonlijk gewin achter? Wordt er wel voldoende rekening gehouden met het dier? Dat maakt een dichte stal niet per definitie fout, maar door af te wijken van collega's trekt een melkveehouder wel de aandacht. Een sectordeskundige redeneert: *'Wat de burger niet mag weten, zal hij ook niet vertrouwen. Je moet dus alles laten zien.'* Dat lijkt in ieder geval wel de meest veilige optie. Of de melkveehouder daadwerkelijk een verkeerde beslissing neemt in de ogen van de burger, hangt sterk af van de intenties die de burger ziet in de keuze van de ondernemer voor een dichte stal.

Wanneer een ondernemer kiest voor een (semi-)dichte stal om daarmee ammoniak te reduceren, is het voor de burger van essentieel belang of dat vanwege het milieu en omwonenden is, of vanwege mogelijkheden die dit biedt om maximaal uit te breiden. Omgekeerd is een open stal geen garantie voor een goed imago. Een beleidsmedewerker van een NGO beweert: *'Als je een open stal alleen als gelegenheidsargument gebruikt, maakt dat je heel kwetsbaar. Als je het alleen doet vanuit (...) imago, en niet werkelijk kijkt naar de wensen vanuit het dier, dan kan dat makkelijk doorzien worden.'* Een kanttekening daarbij is dat de burger zich hierbij niet enkel baseert op feiten, maar dat interpretatie een grote rol speelt.

Het belang van weidegang

Door weidegang toe te passen geeft de melkveehouderij invulling aan alle vier de hier besproken waarden. Weidegang is voor de burger de meest concrete en krachtige invulling die gegeven kan worden aan natuurlijkheid en dierenwelzijn. Daarnaast draagt weidegang bij aan de identiteit van het Nederlandse platteland, gaat het goed samen met moderniteit, en is het een signaal dat de melkveehouder geeft om zijn koeien en zijn omgeving. Daar komt bij dat weidegang ook nog een landschappelijke en esthetische waarde heeft (Sijtsema et al., 2009; Frerichs & De Wijs, 2001; De Graaf et al., 2016; De Lauwere & De Rooij, 2010).

Weidegang is daarom essentieel als de melkveehouderij rekening wil houden met de perceptie van burgers, en wanneer ze het open karakter wil behouden. Weidegang kan echter niet alles goed

maken. Eén van de geïnterviewde sectordeskundigen zegt: *'Weidegang is niet de oplossing voor alles. 7 maanden van het jaar is er namelijk géén weidegang. En de dagen dat er geweid wordt is dat vaak 6 tot 7 uur per dag. Het is dus niet zo dat als de koeien weidegang hebben, de stal wel gewoon dicht mag zijn. Je wilt sowieso geen dichte industriële loods.'*

De stal is dus wel degelijk nog van belang als het gaat om openheid, en tot op zekere hoogte is weidegang te vertalen naar eigenschappen van de stal. Zo is weidegang volgens de burger van belang vanwege voldoende ruimte en bewegingsvrijheid, daglicht, frisse lucht en een natuurlijk leefklimaat, waarop dieren op natuurlijke wijze in aanraking komen met het weer en de seizoenen (Beekman et al., 2002; Sijtsma et al., 2009; Boogaard et al., 2011). Door deze kenmerken te vertalen naar de stal, kan de stal weidegang niet vervangen, maar het maakt wel dat het (gedeeltelijk) opstallen van dieren voor de burger een stuk acceptabeler wordt. Koeien in de stal worden geassocieerd met weinig ruimte, gebruik van hormonen, dieren die slechts een object zijn, en een eenzijdige nadruk op lage prijzen (Bos & Van Eijk, 2009). In de interviews komt naar voren dat deze associaties zwakker worden naarmate de stal meer buitenelementen in zich draagt. Een boerenbestuurder zegt hierover: *'Koeien horen buiten. Die moet je niet afsluiten van de buitenwereld. (...) En dat als de koe niet buiten loopt, dat hij bijna buiten loopt.'*

Tegelijkertijd wordt in de interviews opgemerkt dat de stal ook een tegenhanger moet zijn van de weide. Een koe heeft een plek nodig waar zij kan schuilen tegen regen, wind en hitte. Een beleidsmedewerker van een NGO geeft aan: *'Een koe leeft in het veld, vaak bij een bosrand, zoekt beschutting op. Die functie van beschutting heeft de stal voor het dier.'* De stal moet dus een balans vertegenwoordigen tussen het nabootsen van buiten, en het beschermen van het dier tegen de elementen.

In de volgende paragrafen is openheid van melkveestallen verder ontleed en worden 4 aspecten van openheid besproken: zichtbaarheid, transparantie, klimatologische openheid en landschap.

Zichtbaarheid van koeien

Zichtbaarheid van koeien is van groot belang voor de burger, maar enkel in de vorm van weidegang. Zichtbaarheid van dieren in de stal komt op geen enkele manier terug in de literatuur over burgerperceptie. Dit beeld wordt versterkt door het feit dat de zichtbaarheid van dieren in de stal ook geen issue is in de intensieve veehouderij. Daar zoekt de burger verbetering van dierenwelzijn bijvoorbeeld in de uitloop voor dieren (Boogaard et al., 2011). Zichtbaarheid van dieren die binnen lopen wordt daarbij op geen enkele manier benoemd als alternatief of 'stap in de goede richting'. In 2013 brachten NZO en LTO een toekomstvisie naar buiten waarin zij zich uitspreken tegen dichte stallen (NZO & LTO Nederland, 2013). Zij zien de komst van dichte stallen in de melkveehouderij als een ongewenste ontwikkeling en willen actief beleid voeren om die ontwikkeling tegen te gaan. Op de website van NZO wordt een dichte stal gedefinieerd als een stal waar de zichtbaarheid beperkt wordt: *Een melkveebedrijf wordt als ongewenst beschouwd als minder dan 50% van de veestapel aanwezig in de stal van buitenaf zichtbaar is* (<https://www.nzo.nl/nl/documenten/#toggle-id-4>).

Het maatschappelijke belang van zichtbaarheid lijkt echter een hardnekkige misvatting. Aangezien dit belang nergens terug te vinden is in de literatuur over burgerpercepties. Het lijkt erop dat partijen in en rondom de sector elkaar op dit punt blijven napraten, en daarmee elkaar blijven bevestigen in hun onderbuikgevoel. Op zichzelf heeft zichtbaarheid dus weinig waarde. Dat wil echter niet zeggen dat stallen visueel helemaal dicht gemaakt kunnen worden. Integendeel, als dat zou gebeuren zou de transparantie in het geding komen.

Transparantie en het idee van openheid

Wel van belang is dat melkveestallen geen dichte dozen zijn. Een melkveehouder moet niet de indruk wekken dat hij iets te verbergen heeft en wat achter gesloten deuren plaatsvindt is automatisch verdacht (Veenenklaas, 2010). Een agrarisch adviseur noemt in dit verband: *'De mogelijkheid om naar binnen te kunnen kijken wanneer je wilt. Als dat niet kan ontstaat er toch snel iets van schimmigheid; alsof je iets te verbergen hebt.'* Daarmee krijgt zichtbaarheid dus alsnog een rol, maar dan als oplossing. De essentie zit niet in zichtbaarheid, maar in transparantie en het idee van openheid. Het is voor de burger belangrijker om te weten dat hij *kan* controleren wat er in de stal gebeurt, dan dat hij daadwerkelijk koeien kan zien.

Juist de kwetsbaarheid die transparantie met zich meebrengt maakt dat de melkveehouderij sterker staat: *'kom maar kijken, wij hebben niets te verbergen'*. Zeker wanneer de burgerperceptie ten

aanzien van de melkveehouderij negatief beïnvloed wordt, is dit uitermate belangrijk om weerstand te bieden.

Klimatologische openheid: de verbinding met buiten

In de ogen van de burger heeft de koe behoefte aan frisse lucht, het beleven van de seizoenen en het weer (Sijtsema et al., 2009; Boogaard et al., 2011). Door klimatologische openheid wordt er heel concreet invulling gegeven aan de waarde natuurlijkheid. Dit lijken misschien marginale punten, maar door burgers kan het ontbreken van deze elementen geassocieerd worden met de industrialisering van de melkveehouderij. Een reclamespot van Wakker Dier (najaar van 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=7SvW2T-8tBQ>) waarin een kip centraal staat die zijn hele leven niet buiten de stal komt, is een voorbeeld van hoe dit gebruikt kan worden in de beeldvorming. Dieren achter glas maken het bedrijf transparanter, en zijn een verbetering ten opzichte van een volledig dichte stal. Maar de burger kijkt naar het totaalplaatje en merkt vermoedelijk op dat de ervaring van 'buiten' ontbreekt, wat een negatieve uitwerking heeft op het eindoordeel. Een boerenbestuurder geeft aan: *'Bij plexiglas kun je wel kijken, maar dan ervaren de koeien en de ondernemer geen buiten. Een echte open stal geeft de burger het idee dat je de dieren aan kunt raken.'*

Wanneer je met het ontwerpen van een nieuwe stal werkelijk aan de wensen van de burger wilt voldoen, dan is het dus zaak om in die stal ruimte te creëren voor klimatologische openheid. Doe je dat niet, dan levert dat misschien niet direct problemen op, maar de stal begeeft zich daarmee wel in een gevaarzone. En wanneer er eenmaal negatieve beelden circuleren over een stal, is dat vaak niet zomaar meer om te buigen (Pot & Termeer, 2010). Hierop door redenerend zegt een landschapsdeskundige: *'Denk bij het ontwerpen van de stal hoe je dit moet verkopen aan boeren én burgers! Wat doet de stal zelf aan communicatie?'*

Open en dichte stallen in het landschap

Burgers hechten groot belang aan het landschap op het platteland en de bijdrage die de melkveehouderij daaraan levert (Van der Ziel, 2006; Boogaard et al., 2008). Daarin staat weidegang centraal. Daarnaast is landschappelijke inpassing van belang: de stal moet niet als een blok in het landschap staan, maar door de juiste locatie en met behulp van beplanting moet gezorgd worden voor geleidelijke overgangen. Door landschapsexperts wordt streekeigenheid daar als vereiste aan toegevoegd: vormen, kleuren en materialen gebruiken die verband houden met de manier van bouwen in de regio.

Echter, of een stal open of dicht is, blijkt landschappelijk niet veel verschil te maken. Een landschapsdeskundige: *'Als je van een kilometer afstand kijkt, is helemaal niet te zien of een stal open of dicht is. Zelfs als je dwars door de stal heen kunt kijken, doet dat van een afstand erg weinig.* Hoewel een andere landschapsdeskundige opmerkt dat een serrestal ook van een afstand een open indruk maakt.

Waar men zich vanuit landschappelijk oogpunt meer zorgen om maakt is lichtvervuiling. Open stallen waar in de winter 'gespeeld' wordt met licht, kunnen overlast veroorzaken. Om dat tegen te gaan hoeft een stal echter niet dicht gemaakt te worden; het toepassen van de juiste belichtingsadviezen kan de overlast sterk verminderen (LTO Noord, 2011; LTO Noord et al., 2011).

NGO's over open en dichte stallen

NGO's zijn desgevraagd voorstander van open stallen. Maar ze hebben hier geen uitgesproken standpunt over, en zijn ook niet per definitie tegen dichte stallen. Als er in dichte stallen beter gezorgd kan worden voor dierenwelzijn, milieu en natuur, dan is dat voor verschillende NGO's bespreekbaar. Standpunten liggen genuanceerd en NGO's kijken, net als de burger, naar het totaalplaatje: *'Je moet naar het grotere verhaal kijken. Je kunt niet simpelweg zeggen: wil je een open stal met meer of een dichte stal minder emissies? Zo simpel is het niet.'* Het vraagstuk waar NGO's voor staan is veel meer omvattend dan deze platte tegenstelling.

Wat wel duidelijk wordt is dat, hoewel dichte stallen op zichzelf niet problematisch zijn, de associaties met dichte stallen dat wel kunnen zijn: (aanzienlijke) schaalvergroting, permanent binnen houden van dieren, minder aandacht voor dierenwelzijn. Deze associaties worden versterkt wanneer stallen dicht worden gemaakt om binnen dezelfde milieuruimte (veel) meer dieren te houden (Fransen, 2014). In die associatie schuilt het grootste gevaar van dichte stallen. Een beleidsmedewerker van een NGO

geeft aan: 'Wij zijn niet bij voorbaat voor of tegen dichte stallen. (...) [Maar] dicht maken van een stal en dan technisch alles goed regelen: ik vertrouw dat niet zo.'

Het gevaar van dichte stallen

Geredeneerd vanuit de burgerperceptie gaat het bij de openheid van stallen vooral om transparantie en klimatologische openheid. Maar wanneer de melkveehouderij op die gebieden in gebreke blijft, levert dat niet direct problemen op. Burgers hebben immers weinig kennis van de melkveehouderij en voelen zich niet geroepen om eisen op te leggen aan de wijze van produceren. Daarvoor moeten zij eerst gevoed worden met beelden, issues en verhalen. Dichte stallen gaan een probleem vormen wanneer zij onderdeel worden gemaakt van een breder negatief beeld, bijvoorbeeld van industrialisering van de melkveehouderij. Het beeld van een 'dichte doos' kan daarbij sterk appelleren aan verschillende waarden van burgers. En hoewel de dichtheid noch voor burgers noch voor NGO's de kern van het probleem vormt, levert het wel een sterk beeld op met sterke associaties: opgesloten dieren, weinig daglicht, geen frisse lucht, en het dier als een object. Daarmee kan de dichtheid een belangrijk onderdeel uitmaken van negatieve beeldvorming. Een sectordeskundige zegt: *'De afgelopen tijd is de melkveehouderij behoorlijk negatief in het nieuws geweest: mestbeleid, grondgebondenheid, fosfaat, Brabantse boeren. Daar hoort dit bij: met dichte stallen maak je het jezelf moeilijker.'* Hetzelfde geldt overigens voor luchtwassers. Luchtwassers zijn op zichzelf niet 'fout', maar ze kunnen wel allerlei negatieve associaties oproepen, en worden vaak toegepast in systemen die in de ogen van burgers en NGO's minder wenselijk zijn (Wakker Dier, 2016; Fransen, 2014).

De vraag is of er in de discussie over open of dichte stallen, en over wel of geen luchtwassers, ruimte is voor 'goede' dichte stallen en 'goede' luchtwassers. De sector is geneigd om cijfers en feiten aan te dragen om aan te tonen dat een vermeende negatieve ontwikkeling juist heel positief kan uitpakken. Of dat helpt is maar de vraag. Een veel betere garantie is een samenwerkingsverband met een NGO die een staltype of een specifieke ontwikkeling omarmt.

Literatuur

- Aarts, M.N.C. & C.M.J. van Woerkom (1994). Wat heet natuur? De communicatie tussen overheid en boeren over natuur en natuurbeleid. Landbouwniversiteit: Wageningen.
- Beckers, T.A.M., E.W.F.P.M. Harkink, E.J. van Ingen, M.A. Lampert, B. van der Lelij, R. van Ossenbruggen (2004). Maatschappelijke waardering van duurzame ontwikkelingen: Achtergrondrapport bij de Duurzaamheidsverkenning. RIVM: Bilthoven.
- Beekman V., M. Bracke, T. van Gaasbeek, S. van der Kroon (2002). Begint een beter dierenwelzijn bij onszelf? Een verkenning van de mogelijkheden voor verbetering van dierenwelzijn door marktwerking. LEI Wageningen UR: Den Haag.
- Bergstra, T.J., H. Hogeveen & E.N. Stassen (2013). Zorgen over zorg: Maatschappelijke zorgen over de varkenshouderij in Nederland. Wageningen Universiteit: Wageningen.
- Boogaard, B.K. (2009). The socio-cultural sustainability of animal farming: An inquiry into social perceptions of dairy farming in the Netherlands and Norway. PhD-thesis, Wageningen Universiteit: Wageningen.
- Boogaard, B.K., S.J. Oosting & B.B. Bock (2008). Defining sustainability as a socio-cultural concept: Citizen panels visiting farms in the Netherlands. *Livestock Science* 117: 24-33.
- Boogaard, B.K., L.J.S. Boekhorst, S.J. Oosting & J.T. Sorensen (2011). Socio-cultural sustainability of pig production: Citizen perceptions in the Netherlands and Denmark. *Livestock Science* 140: 189-200.
- Bos, B. & O. van Eijk (2009). Programma van Eisen van de burger/consument met betrekking tot de melkveehouderij. Wageningen UR Livestock Research: Lelystad.
- Consumentenplatform (2010). Schaalvergroting een waarde(n)volle ontwikkeling? Het wegen van waarden bij schaalvergroting in de veehouderij. Consumentenplatform: Den Haag.
- Fransen, E. (2014). Een luchtwasser op een melkveestal: Een duurzame toekomst? The Milk Story <http://www.milkstory.nl/artikel/een-luchtwasser-op-een-melkveestal-%E2%80%93-een-duurzame-toekomst> (inmiddels niet meer toegankelijk)
- Frerichs, R. & J. de Wijs (2001). Opvattingen en meningen over het Nederlandse platteland. TNS-NIPO: Amsterdam.
- Graaf, S. de, F. Vanhonacker, E.J. van Loo, J. Bijttebier, L. Lauwers, F.A.M. Tuytens & W. Verbeke (2016). Market opportunities for animal-friendly milk in different consumer segments. *Sustainability* 8: 1302.

-
- Hessing-Couvret, E., A. Reuling & S. Mulder (2003). Het WIN-model: Een segmentatie van de Nederlandse bevolking. TNS-NIPO: Amsterdam.
- Horlings, L.G., J.P.P. Hinssen, 2010. Sustainable innovation in intensive animal husbandry in the Netherlands: Putting your money where your mouth is. Conference Paper Scaling and Governance, Wageningen.
- Jonge, F.H. de, E.A. Hoewie, H.J. Blokhuis & E.D. Ekkel (2000). In het belang van het dier: Over het welzijn van dieren in de veehouderij. WUR: Wageningen.
- Lauwere, C.C. de, S.J.G. de Rooij, 2010. Dé ondernemer bestaat niet: melkveehouders en varkenshouders over hun visie op dierenwelzijn en andere duurzaamheidsaspecten. LEI Wageningen UR: Den Haag.
- LTO Noord (2011). Optimale verlichting van melkveestallen: Adviesdocument voor agrariërs en overheid. LTO Noord: Drachten
- LTO Noord, Natuur en Milieu Federatie Groningen & Projecten LTO Noord (2011). Adviesdocument naar aanleiding van het belevingsonderzoek lichtemissie melkveestallen Groningen. LTO Noord.
- NZO & LTO Nederland (2013). Verantwoorde ontwikkeling Nederlandse melkveehouderij. Perspresentatie
- Oppenhuisen, J.D.K.I.A. (2000). Een schaap in de bus? Een onderzoek naar waarden van de Nederlander. PhD thesis, Swocc Amsterdam: Amsterdam.
- Pot, W.D. & C.J.A.M. Termeer (2010). Op eieren lopen? De grillige dynamiek van de maatschappelijke aandacht voor innovatieve veehouderijsystemen in kaart gebracht. Wageningen UR: Wageningen.
- Schwartz, S.H. (2006). A theory of cultural value orientation: Explication and applications. *Comparative Sociology* 5: 137-182.
- Sijtsema, S.J., S.T. Goddijn, C.W.G. Wolf, N.A. Aarts, G.M.L. Tacken & J.A.A.M. Verstegen (2009). Groter, groter, Duurzaamst!? Percepties van burgers ten aanzien van schaalgrootte en schaalvergroting in de agrarische sector. LEI Wageningen UR: Den Haag.
- Veenenklaas, F.R. (2010). Anticiperend landschapsbeleid. Alterra Wageningen UR: Wageningen.
- Velde, H.M. te, C. Hanning et al. (2001). Hoe oordelen we over de veehouderij? Rathenau Instituut: Den Haag.
- Verheggen, P.P., H. Boerboom en C. Gomes (2007). Welke perceptie heeft de Nederlandse consument van de melkveehouderij? Motivaction BV: Amsterdam.
- Verhue, D., V. Vieira, B. Koenen & R. van Kalmthout (2011). Opvattingen over megastallen: Een onderzoek naar het maatschappelijk draagvlak voor megastallen en de opvattingen hierover. Bureau Veldkamp: Amsterdam.
- Wakker Dier (2016). De nadelen van luchtwassers: Miljoenen subsidie voor dierenleed. Wakker Dier: Amsterdam.
- Ziel, T. van der (2006). Leven in drukte: Wat stedelingen waarderen in het platteland. Sociaal en Cultureel Planbureau: Den Haag.

7 Ontwerp alternatieve lagedruk luchtwasser

A. van 't Ooster, R. Melse, M. Derks, S. Bokma, J.A.A. Verstegen & Y. Andela

Op basis van de voorstellen gedaan in het hoofdstuk ontwerp alternatieve luchtwasser (5.2) is verder nagedacht over de toepassing van lage druk luchtwassers in melkveestallen. Het idee daarbij was het concept zoveel mogelijk te laten aansluiten bij huidige 'open' melkveestallen met natuurlijke ventilatie. Het doel was natuurlijke ventilatie te handhaven en toch alle uitgaande lucht te behandelen met een lagedruk luchtwasser en daarbij vooral gebruik te maken van dwarsventilatie en een eventuele nok minimaal te benutten. In de luchtuitlaatopeningen wordt een watergordijn geactiveerd zonder pakkingsmateriaal met als doel ammoniak uit te wassen. Sensoren en/of een (bestaand) ventilatiemodel sturen de watergordijnen aan op basis van de status van de ventilatieopening (1: inlaat, 2: uitlaat of 3: in- en uitlaat). Dit is een niet eerder uitgewerkt concept van luchtwassing. De vereiste eigenschappen van het watergordijn en effectiviteit van een dergelijke oplossing is onbekend. Om die reden is dit concept verder verkend. Twee studenten in de master Biosystems Engineering, Jeroen Verstegen en Yeb Andela, hebben in een verkennend MSc-thesis onderzoek dit concept middels kleine experimenten en modelberekeningen geëvalueerd. Doel van beide studies was aan te tonen of het theoretisch zinvol is dit concept verder te ontwikkelen. De studie van Jeroen richtte zich op de eigenschappen van het watergordijn zelf in experiment en simulatie. Deze thesis is inmiddels afgerond en is samengevat in 7.1. De studie van Yeb richtte zich op de effectiviteit van deze oplossing. Hij heeft de emissiereductie van een aantal watergordijnontwerpen geschat voor laag en hoog emitterende melkveestallen middels simulatie. Hij heeft daarvoor het bestaande natuurlijk ventilatie model CLIMSIM van de leerstoelgroep Farm Technology uitgebreid met een model van het watergordijn en daarmee simulaties van telkens een jaar verricht. Van deze studie is het rapport begin 2019 beschikbaar. De paragrafen 7.1 en 7.2 geven een korte samenvatting van beide studies.

7.1 Beoordeling van de haalbaarheid van watergordijnen in natuurlijk geventileerde melkveestallen voor de reductie van ammoniak emissie

J.A.A. Verstegen, A. van 't Ooster

Binnen het EDD20 project is het doel gesteld om concepten te generen waarin de emissie van ammoniak drastisch gereduceerd wordt, zonder toe te geven op andere duurzaamheidsvlakken. Het doel is gesteld op minder dan 3 kg ammoniak per koe per jaar. Huidige innovatieve maatregelen, zoals emissiearme vloeren en mestschuiven, zijn (nog) niet in staat om te voldoen aan de ammoniakemissie-eis van minder dan 3 kg per koe per jaar. Binnen het EDD20 was het idee van een lagedruklucltwasser ontstaan, om op deze manier de ammoniak uit de lucht te wassen en daarmee de emissie te reduceren. Deze zou idealiter gecombineerd worden met natuurlijke ventilatie, om dichte stallen te voorkomen. Het idee van een watergordijn in de ventilatie openingen van de stal was geboren in het project. Het doel van deze thesis was daarom om te onderzoeken of een watergordijn, in combinatie met natuurlijke ventilatie, kan dienen als maatregel tegen de emissie van ammoniak uit een melkveestal.

In de literatuur is geen vermelding van een watergordijn of een luchtwasser in combinatie met natuurlijke ventilatie gevonden. Van de drie types luchtwasser, een chemische luchtwasser, een biologische luchtwasser en een spray tower, lijkt het watergordijn het meest op de laatste. Zowel de chemische als biologische luchtwasser zijn uitgerust met een gepakt bed, die niet alleen zorgt voor een groot contactoppervlak tussen de lucht en het waswater, maar ook voor een tegendruk die te hoog is voor natuurlijke ventilatie. In biologische luchtwassers wordt de opgeloste ammoniak omgezet door bacteriën tot nitraat of nitriet. In de chemische luchtwasser en spray tower, wordt aangezuurd waswater met pH <4 gebruikt om de ammoniak te binden aan het zuur. Spray towers hebben geen gepakt bed, het contactoppervlak wordt gegenereerd door hele fijne druppels die door sproeiers in een ruimte gespoten worden. De tegendruk in de spray tower is erg laag. Er is gekozen voor een

watergordijn gebaseerd op het chemische wasprincipe zonder gepakt bed omdat een gepakt bed te veel tegendruk genereert en een biologische wasser veel contact oppervlak en een substraat voor bacteriegroei nodig heeft wat ook teveel tegendruk veroorzaakt.

Er is een kort designproces doorlopen om tot dit werkingsprincipe voor het watergordijn te komen. Eisen aan het design waren dat de tegendruk over het systeem niet groter mag zijn dan de statische druk die natuurlijke ventilatie kan genereren, er mag geen waswater naar de omgeving verdwijnen, het contactoppervlak moet minimaal 8 m² per meter lengte van het watergordijn zijn, de minimale contacttijd tussen het waswater en de lucht is 0.4 s, en de theoretische uitwasefficiëntie moet hoger zijn dan 60%. Uiteindelijk zijn er twee werkingsprincipes gekozen voor het watergordijn, het hoge waterdruk (2 bar) spuitdop-ontwerp (nozzle-design gebaseerd op de Teejet 8015 spuitdop) en het lage waterdruk buis-ontwerp (tube-design). Het nozzle design wordt gekarakteriseerd door een geschatte druppelgrootte van 500 µm en het tube design door een geschatte druppelgrootte van 1200 µm.

Om de stabiliteit van het watergordijn te testen, zijn driftexperimenten uitgevoerd met een enkele spuitdop en een enkele buis in het spuitlab op Unifarm. Met de opstelling is de drift van water onder invloed van wind gemeten. Drift is hier gedefinieerd als het percentage van het waswater dat buiten de standaardbreedte van het watergordijn neerdaalt en daardoor uit de recirculatie verdwijnt. Om de uitwasefficiëntie van het watergordijn te bepalen is een mechanistisch simulatie model gemaakt dat de uitwisseling van ammoniak met aangezuurd druppels beschrijft. Dit model is gebaseerd op de two-film theory van Whitman en de wet van Fick. Het model berekent de uitwasefficiëntie en de verdamping water uit het watergordijn in afhankelijkheid van diverse systeem parameters.

Enkele resultaten

Beide ontwerpen bleken gevoelig te zijn voor drift. Bij het nozzle design was de drift 3.3% van het totale waterdebiet en bij het tube design 0.3% van het totale debiet. Oplossingen om deze drift te reduceren zijn denkbaar, maar nog niet getest.

De berekende efficiëntie was 81% voor het nozzle design en 56% voor het tube design. Een gevoeligheidsanalyse wees voor welke parameters de uitwasefficiëntie het meest gevoelig is: het contactoppervlak tussen de lucht en het waswater, de verblijftijd van de lucht in het systeem, de zuurgraad van het waswater en de druppelgrootte.

Het spuiwaterdebiet en zwavelzuurverbruik is berekend en kwam voor de standaard situatie uit op 184 L·d⁻¹ en 128 L·d⁻¹ voor het spuiwater, en 38 kg·d⁻¹ en 26 kg·d⁻¹ voor het zuurverbruik van respectievelijk het nozzle design en het tube design. In de berekening van het spuiwaterdebiet en zuurverbruik is geen rekening gehouden met stikstofverlies door drift, ook is een te hoge ammoniak concentratie (10 ppm) in de ventilatielucht gebruikt bij de berekeningen. Hierdoor is het zuurverbruik en spuiwaterdebiet hoger dan gemiddeld in de praktijk.

Bevindingen

Gebaseerd op de onderzochte werkprincipes van het watergordijn, de experimentele resultaten en de berekeningsresultaten kon geconcludeerd worden dat het concept watergordijn bij zou kunnen dragen aan het reduceren van de ammoniakemissie uit melkveestallen, als aangetoond kan worden dat drift effectief kan worden onderschept met behoud van de vereiste lage tegendruk en met een acceptabel ontwerp van het gordijnsysteem. Er is aanvullend onderzoek nodig om het ontwerp van het watergordijn te optimaliseren tot een stabiel systeem met verwaarloosbare drift. In dit onderzoek moet de drift als een indicatie worden gezien omdat met een openingshoogte van 65 cm is gemeten, het windsnelheid in de windtunnel mogelijk teveel afwijkt van een windprofiel in een natuurlijke ventilatieopening, en slechts met een enkele spuitdoppen en buis is gemeten.

Daarnaast is er een onzekerheid ten aanzien van de model output, welke vooral veroorzaakt wordt door de massa-overdrachtscoëfficiënt. Deze coëfficiënt is berekend met een formule gevonden in literatuur, waar deze normaal uit praktische meetdata berekend wordt. De gevonden coëfficiënten zijn daardoor 3 tot 4x zo groot als gegeven in andere literatuur. Dit kan leiden tot een overschatting van de uitwasefficiëntie die middels het model zijn berekend. Mede daardoor is het belangrijk dat als het

concept van het watergordijn verder wordt ontwikkeld, het model gevalideerd wordt op basis van experimenten waarin ammoniak daadwerkelijk wordt uitgewassen. Met experimenten kan de onzekerheid in het model in kaart worden gebracht.

Literatuur

Verstegen, J.A.A. Assessment of application of water curtains in naturally ventilated dairy cow houses to reduce ammonia emission. MSc-thesis Wageningen University, PSG Farm Technology, 56p.

7.2 Modelling the reduction of ammonia emission from a naturally ventilated cow house through usage of an acidified water curtain

Y.P. Andela, A. van 't Ooster

De tweede master thesis studie was een modelstudie met als doel de variabele momentane en de jaargemiddelde uitwasefficiëntie van diverse watergordijnontwerpen te evalueren onder wisselende realistische weersomstandigheden en regelinstellingen. Het watergordijn is toegepast in de ventilatieopeningen in de zijwanden van een melkveestal. Het oude CLIMSIM model, waarmee de natuurlijke ventilatiedebieten en toestandsgrootheden in een stal worden gemodelleerd is daartoe uitgebreid met het model van het watergordijn, welke is gemodelleerd door Jeroen Verstegen. Voor het modelleren van het watergordijn zijn een aantal vertrekpunten gekozen. Voor het stalontwerp is uitgegaan van een melkveestal van 60 bij 30 meter met twee robots en zijopeningen van 2.5 meter hoog, gelegen in Wageningen (met de bijbehorende klimaatomstandigheden). De veestapel bestaat uit 120 koeien, met een gemiddelde jaarproductie van 8701 liter melk per koe en een constante warmteproductie over het jaar. De ammoniak bronsterkte is vastgesteld op 7 of 13 kg per koe per jaar, constant verdeeld door het gehele jaar.

Er zijn simulaties uitgevoerd voor twee watergordijnen. Eén gebaseerd op spuitdoppen met een werkdruk van 2 bar over de spuitdop en één gebaseerd op een passieve uitstroming van water uit een geperforeerde goot. De laatste variant is work-in-progress. Het hier gepresenteerde watergordijn bestaat uit 15 spuitdoppen (Teejet 8015) per meter opening verdeeld over 3 spuitdoprijen achter elkaar. De totaal breedte van het watergordijn is 30 cm. Ieder spuitdop levert een debiet van 0.0741 liter per seconde bij een werkdruk van 2 bar. De geproduceerde druppeltjes hebben een totaal contactoppervlak 8 vierkante meter per meter opening. Het model berekent de bijbehorende uitwasefficiëntie per ventilatieopening in afhankelijkheid van de lokaal heersende condities in de water en lucht fractie.

Hier system is standaard uitgerust met een buffervat van 10 m³, waarin de pH constant op 3 wordt afgeregeld. De door het model berekende uitwasefficiëntie bepaalt hoeveel ammoniak wordt opgenomen in het waswater. De ammoniakmoleculen worden gebonden aan vrije H⁺ ionen, welke worden geleverd door het opgeloste zwavelzuur (in het model een 98% zwavelzuuroplossing). Het waswater wordt uit het systeem afgevoerd bij een concentratie van 58.8 g N per liter.

De verdamping van waswater werd berekend aan de hand van de Penman-formule. Dit is een formule die gebruikt wordt om de verdamping uit te rekenen van een vrij wateroppervlak, bijvoorbeeld een plas water.

Voorlopig resultaat

Met bovenstaande uitgangspunten ten aanzien van spuitdoppen, stal en klimaatomstandigheden, berekent het model de volgende voorlopige resultaten: Een jaargemiddelde uitefficiëntie van 53%, waarbij 2380 kg zwavelzuur wordt gebruikt en 896747 MJ (ofwel 251089 kWh) elektriciteit voor het rondpompen van waswater, 402 m³ verdampingswater en 20 m³ afvoerwater. De kosten worden geschat op een kleine 20000 euro, wat uitkomt op ongeveer 2 cent per liter melk.

Uit een gevoeligheidsanalyse blijkt dat de efficiëntie erg afhankelijk is van de luchtsnelheid. Onder de bovengenoemde aannames zijn er erg hoge ventilatiedebieten gehaald (boven 10000 m³ per koe). Dit wordt veroorzaakt door het ontbreken van windbreekgaas en het feit dat het model nog niet rekening houdt met afscherming van de opening door waterdruppeltjes. Het hoge ventilatiedebiet heeft tot gevolg dat de uitwasefficiëntie erg laag wordt. Door onder meer ACNV toe te passen, zou een hogere efficiëntie erg aannemelijk zijn, wat ook weer zorgt voor een beter binnenklimaat, lagere kosten per gereduceerde hoeveelheid ammoniak en mogelijk ook minder waterverdamping. Echter wordt in dit geval ook het contactoppervlak tussen water en ventilatielucht beïnvloed. Deze variant is nog niet gesimuleerd.

Het aantal spruitdoppen per opening is erg bepalend voor de uitwasefficiëntie, wanneer deze hoeveelheid wordt uitgebreid van 15 naar 30 doppen per meter watergordijn, dan wordt de uitwasefficiëntie volgens het model met een 15% verhoogd.

De hoge kosten worden vooral bepaald door de werkdruk van de spuitdop. Wanneer deze werkdruk over de spuitdop van 2 bar kan vervallen door middel van een passief druppelsysteem, zullen de kosten met ongeveer 13000 euro afnemen.

Dit onderzoek is nog te prematuur om al conclusies te trekken.

Literatuur

Andela, Y. Modelling the reduction of ammonia emission from a naturally ventilated cow house through usage of an acidified water curtain. MSc-thesis Wageningen University, PSG Farm Technology [incomplete manuscript].

8 Hoe rekening houden met rundermest in het design? De waarde van mest.

Nico Verdoes, Luuk Gollenbeek, Fridtjof de Buissonjé & Paul Galama

8.1 Inleiding

Het is belangrijk bij het ontwerpen van emissiearme huisvestingsystemen rekening te houden met de vraag welke (kwaliteit van) mestsoorten op de middellange termijn (5-10 jaar) de meeste maatschappelijke, landbouwkundige en economische waarde hebben en hoe we op deze duurzaamheidscriteria kunnen inspelen bij het ontwerp. In dit hoofdstuk worden de positie en het perspectief van verwerkte of bewerkte rundveemest op vooral de binnenlandse mestmarkt geschetst. Waar nodig wordt relevante regelgeving behandeld. Aan het eind van dit hoofdstuk worden mogelijke toekomstige ontwikkelingen weergegeven en wordt de invloed daarvan op de waarde en afzet van rundermest kwalitatief besproken. Dit hoofdstuk is – samen met andere onderzoeksgegevens – verder uitgewerkt in het rapport van Van Dijk en Galama (2019).

8.2 Feiten en cijfers melkveemest

Productie en export

In Nederland wordt ruim 70 miljoen ton drijfmest per jaar (RVO, 2016) geproduceerd. Hiervan is ongeveer 80% rundveedrijfmest. Rundveehouders hebben over het algemeen landbouwgrond in bezit ten behoeve van de productie van gras en voedergewassen. Daarom kunnen melkveehouders gemiddeld circa 80% van de geproduceerde rundermest op hun eigen land kwijt en de overige 20% wordt afgevoerd naar akkerbouwbedrijven (RVO, 2016 en Van Bruggen, CBS, 2016). Rundveedrijfmest wordt vanwege de bruikbaarheid op de Nederlandse markt nauwelijks geëxporteerd naar het buitenland.

Wet- en regelgeving

Veehouders die meer dan 80% grasland in gebruik hebben, mogen met een hogere gebruiksnorm voor stikstof uit graasdierenmest rekenen als ze voldoen aan een aantal voorwaarden. Voor Nederland is deze derogatie verleend voor stikstof uit dierlijke mest (170 kg/ha mag verhoogd worden naar 250 of 230 kg/ha). Eén van de voorwaarden vanuit de Europese Unie bij de derogatie is, dat het fosfaatplafond (totaal 172.9 M kg fosfaat, waarvan 84.9 M kg voor de melkveesector) wordt gerespecteerd. In 2014 hadden landelijk gezien 78 procent van de melkveebedrijven een fosfaatoverschot dat in totaal 19,2 miljoen kilo groot was (Van Bruggen, 2016). Bij de geldende regelgeving is de gebruiksruimte in fosfaat leidend in de hoeveelheid aan te wenden mest. In 2014 is de mestverwerkingsplicht ingevoerd. Rundveehouders kunnen die verwerkingsplicht gemakkelijk en vrij goedkoop aan varkens- en pluimveehouders overdragen, terwijl de rundermest in Nederland aangewend wordt. Wanneer voldoende verwerkingscapaciteit (lees: export van P) tot stand komt, zal dit resulteren in extra plaatsingsruimte voor rundveemest op Nederlandse landbouwgrond.

Mestmarkt

Globaal gezien zijn de door veehouders betaalde afzetprijzen voor overschotmest: varkensdrijfmest 20 euro/ton, rundveedrijfmest 5 euro/ton, dikke fractie varkensdrijfmest 25 euro/ton, en dikke fractie rundveemest 10 euro/ton, afhankelijk van regio en seizoen. Bij een overschot in de mestmarkt, is de prijs en niet zozeer de kwaliteit (nutriëntengehalten en organische stof) van de dierlijke mest leidend. Een akkerbouwer krijgt 0-5 euro/ton ter acceptatie van rundveedrijfmest. Vergeleken met mest van andere diersoorten is runddrijfmest gunstig in N:P verhouding en het gehalte organische stof. Daarom zal er voldoende ruimte voor plaatsing op de Nederlandse markt zijn. Echter, het nationale mestoverschot zorgt ervoor dat er geen evenwicht is. Het lijkt onwaarschijnlijk dat er binnen 5 tot 10 jaar een positieve prijs gecreëerd zal worden voor rundveedrijfmest op de Nederlandse markt.

Alleen in de biologische sector wordt een positieve prijs betaald voor biologische rundveedrijfmest. Dit vanwege de verplichte aanwending van minimaal 65% biologische meststoffen (A-meststoffen) op biologische landbouwgrond en het verbod op toepassing van kunstmest. Dit betreft een niche markt waar momenteel ca. 100.000 ton rundveedrijfmest naar toe gaat.

8.3 Be- en verwerking melkveemest

Mest scheiden

Circa 5% of ruim 3 miljoen ton per jaar van de Nederlandse drijfmest wordt mechanisch gescheiden, hiervan is circa 1/3 deel rundveedrijfmest. Mestscheiding op rundveebedrijven wordt voornamelijk toegepast om de dikke fractie als strooiselmateriaal in ligboxen te gebruiken of voor aanwending in de akkerbouw. De dikke fractie is ook een goede bodemverbeteraar voor de akkerbouw (hoog OS, laag P, minder snelle vervluchtiging N uit de organische stof t.o.v. minerale stikstof). Het hogere aandeel effectieve organische stof in dikke fractie rundveemest draagt bij aan het op peil houden resp. verbeteren van bodemvruchtbaarheid. De dunne fractie (met een lager fosfaatgehalte dan drijfmest) is geschikt voor aanwending als meststof op eigen grasland. De meest gebruikte mestscheider op rundveebedrijven is de vijzelpers (of schroefpersfilter).

Met primaire scheiding van urine en feces in de stal kan in principe een betere scheiding van nutriënten en OS bereikt worden dan met secundaire (mechanische) scheiding. Primaire scheiding van urine en feces heeft voordelen voor het stalklimaat en de emissies vanuit de stal, maar ook in de gehele keten (De Vries, 2014). Een strikte scheiding tussen feces en urine is echter technisch nog niet mogelijk; de bestaande systemen voor primaire scheiding met behulp van dichte betonvloeren of roostervloeren geven nog teveel vermenging van urine met feces en andersom. De fracties worden meestal niet gescheiden opgeslagen.

Mest vergisten

Via het vergisten van rundveedrijfmest kan een positieve bijdrage geleverd worden aan de vermindering van de emissie van broeikasgassen (De Vries, 2014). In een vergister wordt het makkelijk afbreekbare deel van de organische stof in rundermest afgebroken. De nutriëntengehalten blijven gelijk, hoewel de N en P voor een groter deel in minerale vorm voorkomen. Digestaat uit monovergisting levert bij emissiearme aanwending een voordeel op qua benutting van nutriënten t.o.v. drijfmest (De Boer, 2008). De afbraak van de makkelijk afbreekbare OS kan gevolgen hebben voor het bodemleven; echter nog onduidelijk is welke gevolgen dat precies zijn en hoe dat beoordeeld moet worden. De effectieve organische stof (EOS) is de hoeveelheid van het toegediende organisch materiaal die na 1 jaar nog in de grond aanwezig is (Zwart et al., 2013). De EOS neemt door vergisten niet af (Van Geel en Van Dijk, 2013).

Lopend mestonderzoek

Primaire scheiding (van urine en feces) via kunststofvloeren wordt nog onderzocht in de rundveehouderij. Dit systeem heeft voordelen voor de ammoniak-, methaan- en geuremissie vanuit de stal, maar ook in de gehele keten (De Vries, 2014). De feces en urine worden hierbij wel apart opgeslagen. Zuivere urine en feces uit primaire scheiding bieden perspectief voor verdere bewerking. Vanuit de urine zou een concentraat gemaakt kunnen worden die kan dienen als kunstmestvervanger (onder voorwaarde van erkenning door de EU) en feces kan worden vergist, gedroogd of gecomposteerd.

Kunstmestvervangers zijn N-en/of K-meststoffen gemaakt uit dierlijke mest, maar die boven de gebruiksnorm dierlijke mest aangewend mogen worden. Dit is vooral ingegeven door de wens om het mestvolume te verminderen en om die reden vooral interessant voor varkenshouderijbedrijven. Echter minder gebruik van kunstmest past ook in het beleid van circulaire economie of kringlooplandbouw, waarbij zoveel mogelijk de mest en urine regionaal wordt aangewend, dus ook de rundermest. Het NK-concentraat kan ingezet worden op gras- en bouwland, hoewel de dosering van K op kleigrond, later in het seizoen, niet te hoog mag zijn (gevaar kopziekte bij runderen). Ten aanzien van rundermest wordt ook onderzoek gedaan naar het verwijderen van fosfaat uit de organische stof en de waarde van de overblijvende organische stof in de bodemvruchtbaarheid.

Tot slot is er belangstelling voor de vezels die in de rundermest voorkomen (hemicellulose, cellulose) om ze te gebruiken bij de fabricage van kleding (Essaïdi, 2016), als grondstof voor de chemische industrie, en als veenvervanger in de tuinbouw (Jiffy, 2016).

8.4 Sturen op mestkwaliteit

Op eigen bedrijf

Een gemechaniseerd drijfmestsysteem op een rundveebedrijf met voldoende grond is bedrijfsmatig en economisch het meest aantrekkelijk. Op die wijze zijn de arbeidsinzet en de kosten van opslag en aanwending zo laag mogelijk. De stikstofverliezen bij emissiearme opslag en aanwending zijn relatief laag. Melkveehouders hebben veelal een stikstofrijke bemesting nodig voor hun gras- en maislanden, aangevuld met een organische stof leverancier/bodemverbeteraar voor voedergewassen als mais. De stikstofbehoefte van gewassen is niet volledig in te vullen met dierlijke mest. Het verschil wordt aangevuld met stikstofkunstmest. De fosfaatbehoefte van gewassen kan wel geheel met dierlijke mest worden ingevuld. Beïnvloeding van de kwaliteit kan bijvoorbeeld door: keuze van het stalsysteem, sturen in het rantsoen, bewerking van mest in stal en/of op erf, het produceren van kunstmestvervangers of het mengen van mestsoorten. De veehouder kan de mestkwaliteit op verschillende manieren sturen. Dit is zeker van belang als niet alle mest op het eigen bedrijf geplaatst kan worden.

Naar Nederlandse akkerbouw

Uit een studie van Van Dijk et al. (2019) blijkt dat de voor- en nadelen van mestscheiding door melkveehouders en akkerbouwers verschillend kunnen worden beleefd. Voor de melkveehouder geeft mestscheiding vaak meer kosten en is daarom economisch niet aantrekkelijk. Voor de akkerbouwer is ongescheiden drijfmest aantrekkelijker dan de vaste fractie, als alleen rekening wordt gehouden met de bemestende waarde. Als echter rekening wordt gehouden met de waarde als bodemverbeteraar dan zijn organische stofrijke producten als de vaste fractie of stromest (b.v. uit potstallen) of mestcompost (uit vrijloopstallen) aantrekkelijk. Bovendien kan met stro veel kali-kunstmest bespaard worden, echter stro is voor de melkveehouder duur. Mestscheiding via mechanische scheiders of via stalvloeren biedt de mogelijkheid NPK en C (organische stof) beter te verdelen tussen de gewassen / grondsoorten op een melkvee- en akkerbouwbedrijf. Samenwerking tussen veehouders en akkerbouwers kan nog duidelijk verbeterd worden (Galama et al., 2019). Veelal geven akkerbouwers niet duidelijk aan welke mestkwaliteit men behoeft en melkveehouders beschouwen de kwaliteit nog vaak als een niet te beïnvloeden gegeven.

Vraag naar mestproducten vanuit Duitse akkerbouw

Uit een studie van Ros et al. (2014) bleek dat Duitse akkerbouwers een voorkeur hebben voor mestproducten met een hoog drogestofgehalte en rijk aan mineralen. Dit zijn vooral pluimveemest, struviet, de gedroogde dikke fractie na co-vergisting, en de gedroogde en gekorrelde dikke fractie van varkensdrijfmest. De gewenste NP-verhouding voor de top-5 gewassen in Duitsland varieert tussen 1,8 en 2,3 bij voorjaarstoediening terwijl de gewenste PK-verhouding kan variëren tussen 0,4 en 2,1. In 2018 verloopt de afzet van Nederlandse mest naar Duitsland stroef vanwege aanpassingen in de Duitse regelgeving (Boerderij, 24-06-2018), zoals de verandering van de wettelijke status van digestaat van co-vergisting, waardoor dit digestaat nu meetelt als dierlijke mest en er minder plaatsingsruimte is voor importmest. Er zal hooguit wat bewerkte rundveemest in Duitsland afgezet worden.

8.5 Mogelijke ontwikkelingen

In het vervolg van dit hoofdstuk worden enkele scenario's geschetst (die wel in enige mate realistisch zijn voor de komende 5 tot 10 jaar) en wat er dan verandert op de markt voor rundermest. Steeds zal behandeld worden wat er gebeurt als dit werkelijkheid wordt voor de melkveehouder en hoe hij

daarop zou kunnen inspelen in de bedrijfsvoering, maar ook wat de gevolgen zouden zijn voor de eventuele afnemer van de mest. Aan het einde wordt dit in een overzicht samengevat.

Vervallen derogatie

In 2015 en 2016 werd het fosfaatplafond overschreden, wat discussie over het wegvallen van de derogatie tot gevolg had. Dat zou er toe leiden dat minder stikstof uit dierlijke mest op melkveebedrijven aangewend mag worden. Het mestoverschot wordt dan bepaald door een overschot aan N en minder of niet door een overschot aan P. De Koeijer et al. (2016) berekenden een stijging van de mestafzetkosten voor melkveehouders van 116 miljoen euro per jaar. Dit komt door het grotere overschot aan rundveemest, de waardedaling van de rundveemest, meer aankopen van kunstmest en het betalen van mestverwerkingsovereenkomsten aan de varkenssector. Bij het wegvallen van de derogatie zouden melkveehouders proberen de juiste nutriënten in de juiste verhouding voor eigen gebruik aan te wenden. Mest scheiden zou dan verdere opgang vinden. In de jaren 2017 en 2018 is de fosfaatregelgeving uitgekristalliseerd. Omdat er maatregelen zijn ingesteld om niet boven het fosfaatplafond uit te komen, wordt verwacht dat er geen extra maatregelen nodig zijn t.a.v. de P rechten en het productievolume.

Verplichte centrale verwerking van het mestoverschot

Vanuit de commissie Nijpels is het advies gegeven om te verplichten dat het volledige mestoverschot wordt verwerkt (Nijpels, 2016). Als dit advies door de overheid zou worden overgenomen, dan zal deze maatregel ervoor zorgen dat centrale mestverwerking en export naar het buitenland makkelijker op gang komt. Veehouders leveren dan het overschot tegen een poorttarief. Het grootste deel van de te verwerken mest is dan waarschijnlijk varkensmest, maar ook zal ca. 20% van de rundmest dan centraal verwerkt gaan worden. Afnemers kunnen dan alleen mest bestellen bij deze centrale. Ze bestellen dan exact de gewenste kwaliteit en die krijgen ze ook geleverd onder een certificaat. Mogelijk zal wel de mestcentrale een gedifferentieerd tarief instellen bij verschillende mestkwaliteiten. In dat geval zal de melkveehouder zijn N of P overschot in zo geconcentreerd mogelijke vorm aanleveren bij de centrale. Interessant worden dan primaire of secundaire scheiding of het produceren van een N concentraat of een P concentraat.

Wijziging regels compost

Wanneer steeds meer pluimvee- en varkensmest wordt geëxporteerd, zal de organische stof-behoefte van Nederlandse landbouwgrond in toenemende mate moeten worden gedekt vanuit de beschikbare rundveemest en andere bronnen van organische stof, zoals GFT- en groencompost, groenbemesters/vanggewassen, tijdelijk grasland en het achterlaten van gewasresten. Echter groencompost en GFT-compost hebben wel een positieve waarde (3-10 euro per ton, afzet per jaar circa 800.000 ton); rundveedrijfmest heeft niet de kwaliteiten van compost (hoog effectief organische stof gehalte) en bovendien telt fosfaat in compost volgens de Meststoffenwet slechts voor de helft mee, omdat compost voor een groot deel uit bodemeigen materiaal bestaat (Elhert, 2005). GFT compost bevat evenveel of meer minerale stikstof t.o.v. totaal stikstof als gecomposteerde mestsoorten. Als de regels voor compost en dierlijke mest (b.v. vaste mestproducten) gelijk getrokken zouden worden (wat overigens niet te verwachten is) zal de positie van rundveedrijfmest ten opzichte van compost verbeteren. Compost voldoet aan een kwaliteitssysteem. Dat zou dan ook voor mestproducten moeten worden opgezet. Dit betekent voor de melkveehouder dat hij een product moet leveren dat voldoet aan de specificaties van de akkerbouwer (hiermee kunnen ze de kosten voor afzet drukken). En dat de akkerbouwer moet aangeven welke specificaties voor hem van belang zijn.

Stimulans van kunstmestvervangers

Ervan uitgaande dat de ruimte die ontstaat door het wegvallen of ontmoedigen van stikstofkunstmest ingevuld mag worden met producten uit dierlijke mest, zal de vraag naar dierlijke mest zeer sterk toenemen. Om de gewasopbrengsten optimaal te laten zijn, zal de vraag naar precisie producten gemaakt uit dierlijke mest toenemen. Gedacht wordt dan aan producten die net als kunstmest een voorspelbare werking hebben en snel opneembaar zijn voor het gewas. Om de kringloop van nutriënten te bevorderen, zou er ook een bijmengverplichting kunnen komen van mineralen uit mest in de kunstmest. Vanuit klimaat oogpunt ligt een verbod op of belasten van N-kunstmest voor de hand (kost veel energie bij de productie). Het verminderen van kunstmestgebruik biedt kansen voor mestbewerkingstechnieken. Niet alleen centrale mestbewerking zal een boost krijgen maar ook de

producten na mestbewerking op de boerderij worden belangrijker. Gedacht wordt dan aan primaire scheiding en de productie van mineralen (NK) en stikstof concentraten. De toepassing van deze vloeibare kunstmestvervangers op grasland wordt echter beperkt door een hoog K-gehalte.

Samenwerking tussen akkerbouwer en melkveehouder

Hierbij wordt aangenomen dat de akkerbouw (bijvoorbeeld door het vaker voorkomen van extreme weertypen) gaat aansturen op hogere kwaliteit van vooral organische stof in dierlijke mest. Dit vergt een andere mindset van zowel akkerbouwers als melkveehouders waarbij onderling afspraken worden gemaakt over de mogelijkheden als leverancier en als afnemer. Akkerbouwers zijn dan meer bereid om voor het gevraagde product te betalen. Het wordt dan lonend voor melkveehouders om tenminste het overschot van de mest van goede kwaliteit te laten zijn. De akkerbouwer kan bijvoorbeeld leverancier van stro zijn en de melkveehouder leverancier van stromest. Vooral mestsoorten met relatief lage gehalten aan nutriënten zullen aantrekkelijk zijn voor de akkerbouw aangezien binnen de gestelde normen een grotere hoeveelheid organische stof aangewend kan worden. Precisie-akkerbouw vraagt om precisie-mestproducten (homogeniteit, bekende gehalten), waaraan de meeste dierlijke mestproducten op dit moment niet goed voldoen. Door mestsoorten te mengen (en eventueel te verrijken met mineralen) kan mest op maat gemaakt worden en kan lastig te composteren mest beter composteerbaar worden gemaakt. Wenselijk zou zijn om een kwaliteitssysteem op te zetten. Het kwaliteitsaspect betreft dan met name de OS, waarbij een verfijnde analysemethode zou moeten worden ontwikkeld die de afbraaksnelheid van verschillende OS-fracties aangeeft.

Invoeren van voer/mest contracten en grondgebondenheid

De interactie tussen akkerbouw en melkveehouderij krijgt nog meer stimulans indien voer-mestcontracten onderdeel zouden worden van de AMvB grondgebonden melkveehouderij. Het wordt dan extra belangrijk mest te produceren met veel OS (bodemverbeteraar) of homogene mest met snelle voorspelbare werking. De mate van een overschot aan N en P op een melkveebedrijf of van de sector als geheel in de nabije toekomst zal dan afhangen in welke mate het beleid grondgebondenheid afdwingt. Des te meer grondgebonden, des te minder mestoverschot. Deze gedachte past binnen de visie "Landbouw, natuur en voedsel: waardevol verbonden" van het ministerie van LNV (september 2018).

Kringloopwijzer invoeren

Het invoeren van de Kringloopwijzer, waarbij 'goed mineralenmanagement' wordt beloond, is nog in discussie. Invoering zal gevolgen hebben voor het mest (N- en P-) overschot op rundveebedrijven. Rundveebedrijven zullen proberen te bemesten op maat en dus zal mestscheiding meer gaan plaatsvinden. Om de verliezen in de kringloop verder te beperken is het mogelijk en wenselijk dat de sector zelf de hoeveelheid P in het voer nog verlaagt. In dat geval zal ook de P inhoud van mest dalen en zal de N/P- en OS/P-verhouding nog gunstiger worden voor afzet van rundmest in de akkerbouw.

Statiegeld systeem

Verschillende malen is het scenario geopperd om een statiegeld systeem voor fosfaat te introduceren. De mengvoerbedrijven zouden dan een bijdrage leveren aan een centraal orgaan naar rato van de input aan P. Veehouders zouden dan ook moeten betalen voor het overschot van P wat op de markt wordt gebracht. Met de geïnde gelden zou mest (P) verwerkt (geëxporteerd) kunnen worden. Gevolg zal zijn dat veehouders naar zo weinig mogelijk verliezen en overschot zullen streven door mestproducten op maat te gaan maken. Er zal extra druk komen om het fosfaatgehalte in het voer nog verder te verlagen of de P verteerbaarheid te verbeteren. Het verbruik van kunstmest zal worden teruggedrongen.

Saneren varkenshouderij

Er is kabinetsbeleid om een warme sanering toe te passen in de varkenshouderij en de leefomgeving rondom varkenshouderijbedrijven te verbeteren. De opgekochte varkensrechten komen dan niet terug in de sector. Het aanbod van varkensmest op de mestmarkt neemt daarmee af. Niet duidelijk is of dan ook het % verplicht te verwerken bedrijfsoverschot zal worden verlaagd. Ook bij krimp van de varkensstapel wordt verwacht dat de varkensmest (met hoger P gehalte) vooral naar buitenland wordt geëxporteerd en dat de goede positie van rundveemest op de binnenlandse markt behouden zal blijven of zelfs verbeterd.

Klimaatbeleid

Vanwege het klimaatakkoord van Parijs, zullen maatregelen worden doorgevoerd om de emissies van broeikasgassen verder te verlagen. Ook in de landbouw staan maatregelen op stapel. Het vergisten van mest is gunstig om het methaangas nuttig te besteden. Maar ook de hoeveelheid OS in de bodem (C-fixatie) – mogelijk vanuit mest – zal dan meer aandacht krijgen. Er zal zo weinig mogelijk methaan uitgestoten dienen te worden uit de dieren zelf (adem), uit de mestkelders en mestopslagen. Het biologisch zuiveren d.m.v. het beluchten van mest (zoals vaak toegepast in België) – niet toegepast in de Nederlandse melkveehouderij, wel in de kalvergierzuiveringen – is minder gunstig: veel energiegebruik en verhoogde lachgasuitstoot. De mest zal zoveel mogelijk direct uit de stal worden afgevoerd, emissiearm opgeslagen en vergist gaan worden.

Samenvatting scenario's:

1. Vervallen derogatie
 - Afvoer van stikstof wordt belangrijker; afvoer fosfaat minder belangrijk.
 - Primaire en mechanische scheiding zorgen ervoor dat stikstof gerichter ingezet kan worden.
 - De mestafzet-prijzen voor de melkveehouderij stijgen.
2. Verplichte centrale verwerking van het mestoverschot
 - Centrale mestverwerking wordt hiermee gestimuleerd.
 - Gunstig is om zo min mogelijk volume op transport te zetten. Primaire, secundaire scheiding en scheiding onder de roosters zorgen ervoor dat producten beter aansluiten bij de centrale verwerking.
3. Wijziging regels compost
 - Rundveedrijfmest zal meer gewaardeerd worden om het organische stofgehalte.
 - Het wordt gunstiger om mest te maken met een hoog OS gehalte. Vaste stapelbare mest wordt nog interessanter.
 - Certificering van de mest en de organische stof in mest is gewenst.
4. Stimulans van kunstmestvervangers
 - De waarde van de nutriënten in mest wordt hoger.
 - Specifieke producten uit mest moeten het gat opvullen, hierdoor worden primaire scheiding en mineralen- en stikstofconcentraten interessant.
5. Samenwerking tussen akkerbouwer en melkveehouder
 - Het organische stofgehalte van rundermest speelt een grote rol voor de akkerbouwer; vaste stapelbare mest wordt interessant.
 - Een kwaliteitssysteem voor mestproducten is gewenst.
6. Invoeren van voer/mest contracten en grondgebondenheid
 - Akkerbouwers en melkveehouders gaan beter samenwerken in de afzet van mest.
 - Overschot mest op mestmarkt wordt minder.
7. Kringloopwijzer invoeren
 - Streven naar minder verliezen. Meer nadruk op mest scheiden.
 - Er komt een nog betere afzet naar akkerbouw (bij minder P in voer en dus ook minder P in mest).
8. Statiegeld systeem
 - Minder verliezen op bedrijf door sterker mineralen management.
 - Gebruik van kunstmest zal afnemen.
 - Er zullen meer mestproducten op maat geproduceerd gaan worden.
9. Saneren varkenshouderij
 - Mestmarkt wordt stabiel en mogelijk geen negatieve afzetprijs rundermest meer.
 - Extra ruimte om P overschot uit rundermest in Nederland af te zetten.
10. Klimaatbeleid
 - Nadruk op primaire scheiding en directe afvoer van mest uit stallen.
 - Maatregelen om mestopslagen luchtdicht te maken en vergisting toe te passen.

8.6 Algemene conclusie

Melkveemest zal vooral op het eigen bedrijf aangewend blijven worden. Het overschot komt op de binnenlandse markt en zal naar de akkerbouw worden afgezet, zowel onbewerkt als bewerkt. Voor de akkerbouw blijft onbewerkte rundermest aantrekkelijk, omdat het zowel waarde heeft als bodemverbeteraar als ook als meststof (Van Dijk en Galama, 2019). Akkerbouwers waarderen rundermest om de gunstiger N/P verhouding en het hogere gehalte EOS, maar accepteren op de korte termijn vooral varkensmest vanwege de negatieve prijs. Als het aanbod varkensmest daalt en er nog meer aandacht komt voor de EOS en bodemvruchtbaarheid, wordt de positie van rundermest in de akkerbouw versterkt.

Mechanische mestscheiding van rundermest zal doorzetten om dikke fracties te maken voor afzet in de akkerbouw of naar centrale vergisters. Vanwege het verminderen van emissies in de keten, het beperken van energieverbruik en de aandacht voor kringlooptlandbouw met beperking van nutriënten verliezen, zal verfijnd mineralenmanagement opgang vinden, wat ook betekent: het produceren van gescheiden mestfracties en meststoffen op maat (onder een kwaliteitssysteem).

Het klimaatbeleid is een sterke driver voor primaire scheiding van feces en urine en voor het produceren van stapelbare OS-rijke mest; het maakt vergisting kansrijk en biedt kansen de urine-fractie in te zetten als vervanger van kunstmest.

Literatuur

- Boer, H.C. de, 2008. Co-digestion of animal slurry can increase short-term nitrogen recovery by crops Journal of Environmental Quality 37 . - p. 1968 - 1973.
- Bruggen C. van, 2016, CBS, Dierlijke mest en mineralen 2015, ISBN: 978-90-357-2006-0 CBS, 12-12-2016, www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/50/fosfaatplafond-voor-tweede-keer-op-rij-overschreden.
- Dijk, W. van en P. Galama, 2019. De maat van mest. Perspectief van mestbewerking op de boerderij vanuit belang akkerbouwer en melkveehouder Rapport 547. doi.org/10.18174/472431.
- Elhert, P.A.I., 2005. Toepassing van de basisvrachtbenadering van fosfaat van compost, December 2005, WOT rapport 5.66 blz. 10.
- Essaïdi, Y., 24-06-2016. www.deondernemer.nl/nieuwsbericht/84460/een-jurk-gemaakt-uit-koeienpoep.
- Jiffy, 12-12-2016, <http://www.jiffygroup.com/nl/>.
- Galama, G., W. van Dijk, F.E de Buissonjé en N. Verdoes, 2019. Sturen op mestkwaliteit, rapport in preparation. Wageningen Livestock Research.
- Geel, W. van en W. van Dijk, 2013. Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en risico's, Deskstudie in het kader van Energierijk.
- ACRRES-Wageningen UR, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving nr. 565, mei 2013.
- Koeijer, T.J. de, H.H. Luesink en P.W. Blokland, 2016. Effecten van derogatie op de kosten van mestafzet. Wageningen, LEI Wageningen UR (University & Research centre), LEI Report 2016-024.
- Nijpels E.H.Th.M. (Commissie duurzame veehouderij), Versnelling duurzame veehouderij, Oktober 2016, ISBN: 978-94-6134-087-0.
- Ros, G.H., L. van Schöll en R. Postma, 2014. Marktmogelijkheden voor mestproducten in het oosten van Duitsland, NMI-rapport 1568.N.14.
- RVO, 2016. Mestmonitor, www.rvo.nl/sites/default/files/2016/05/Overzicht-vervoer-dierlijke-mest-per-jaar.pdf.
- Vries, J.W. de, 2014. Thesis: From animals to crops - Environmental consequences of current and future strategies for manure management, Wageningen UR, januari 2014
- Zwart, K. et al, 2013. www.kennisakker.nl/files/Kennisdocument/Tien_vragen_antwoorden_OS.pdf.

9 Ontwerprichting vloerprincipes

Onder het vraagstuk doorontwikkeling vloer-principes vallen enerzijds de verkenning van mogelijkheden rondom andere materialen en coatings, en anderzijds het verder doordenken, combineren en optimaliseren van al bestaande ontwerpprincipes. Er zijn al een aantal goed werkende en bewezen principes zoals de sleufvloer met gaatjes die urine uitstekend afvoert en de kelder dichtlegt. Kern van de goede werking zit in de breedte en diepte van de sleuven – hier liggen opties voor verdere verbetering van dit principe in vloeren; daarnaast behoeft het contact- loopoppervlak voor de koe meer aandacht. Verdere verbetering is ook te zoeken in verneveling van water in de zomer, en het toepassen van een enigszins bollende rubberen toplaag om afstromen naar de sleuven te bevorderen. In dit onderdeel willen we dus dieper doordenken waar de beperkingen van huidige vloeren zitten. Onze overtuiging bij dit traject was dat er al voldoende kennis van de processen en ook van de vele principe-oplossingen is, maar dat deze beter en slimmer moeten worden gecombineerd. Verder zijn er in de loop van het ontwerpproces nieuwe onderzoeksvragen naar voren gekomen die ons naar verrassende inzichten hebben geleid.

9.1 Ontwerp ateliers en onderzoek nieuwe vloer principes

9.1.1 (Exploratief) Ontwerp atelier nieuwe vloer principes september 2016



In september 2016 hebben we het eerste ontwerpatelier gehouden waarin de ontwerprichting nieuwe vloer principes centraal stond. De omvattende doelstelling van het atelier was om *één of twee ontwerpprincipes of -concepten te bedenken en uit te werken voor vloeren (inclusief mestverwijderingssysteem) in rundveestallen waarop (in ieder geval theoretisch) aanmerkelijk minder ammoniak ontstaat of wordt geëmitteerd dan de huidige state of the art.*

Als kennis basis voor het ontwerp atelier hebben we Snoek D. en Flipse O. uitgenodigd om de resultaten van hun onderzoek te presenteren. Deze onderzoekers hebben samen met andere vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven deelgenomen aan het atelier. Daarbij hebben we zeer recent wetenschappelijk onderzoek op dit gebied met praktijkkennis op het gebied van vloer-fabricage en

mestverwijdering verbonden. Het idee was dat de resultaten van de workshop konden worden gebruikt voor verdere doorontwikkeling van concepten en (uiteindelijk) *pilots* in de praktijk.

Om de dag te starten hebben we aan de deelnemers de volgende vraag gesteld: *'Wat is volgens jou het meest hardnekkige probleem van de huidige vloeren waardoor het zo moeilijk is om de ammoniakemissie onder de 3 kg per dierplek te brengen?'*

Antwoorden:

- De beloopbaarheid van de vloer voor het dier.
- Eén unieke oplossing is niet genoeg; er is een combinatie van maatregelen nodig.
- Wisselende voeromstandigheden en, in interactie met de koe, verschillen in de samenstelling van mest.
- Combinatie beloopbaarheid/zuiverheid in combinatie met NH3 reductie.
- Er zit een tegenstelling in de combinatie van maatregelen/eisen. Voldoende doorlaatbaar (urine/feces) naar beneden, terwijl je de vloer dicht zou willen hebben om emissies tegen te gaan.
- De volledige scheiding van dikke fractie en urine in of door de vloer is echt moeilijk (onmogelijk?), o.a. door de biologische (in het uitvoeren van haar behoeften) eigenschappen van de koe.
- Er is een tegenstrijdigheid tussen de vloer beloopbaar voor de koe te houden/maken en het nemen van efficiënte ammoniak reductie maatregelen.
- Het probleem begint met dat de plassen groot zijn en overal in de stal liggen + koeien lopen rond en maken alles weer vies + daarbij moet je ruimte bieden voor het sociale gedrag.
- Het knelpunt ligt bij de activiteit van het enzym urease. Een kleine hoeveelheid kan behoorlijke gevolgen voor de emissie hebben + de snelheid van de reactie is hoog.
- Mocht je de 3kg NH3 per dierplaats willen bereiken dan moet je primair scheiden + een schone stal (vraag: hoe definieer je schoon?) dat wil zeggen schoon-schoon en dan geen urease-activiteit. Ik denk dat de urease-activiteit naar nul moet gaan.

Gezamenlijk formuleren van ontwerpdoelen en belangrijke eisen:

- Onafhankelijk van de veehouder, c.q. eenvoudig voor de veehouder. Maar we moeten ons daarbij de volgende vragen stellen: waar gaat de praktijk naar toe? Kelder of geen kelder (Friesland Campina's plan rondom monovergisters suggereerde toen veel minder kelders)? Mestverwerking bijvoorbeeld wordt verplicht in de provincie Noord-Brabant. Daarbij moet het wel simpel voor de boer zijn, maar het vloer-systeem kan wel complex zijn.
- Primaire scheiding is niet per definitie onderdeel van het ontwerp, maar kan wel een onderdeel hiervan worden.
- Dierwelzijn. Vragen: comfortabel voor de koe, wat is dat eigenlijk? Voorstel; het moet voor 95% van de koeien comfortabel zijn. Er is een kleine groep koeien voor wie de vloer niet comfortabel genoeg kan zijn (de zwakke/zieke koeien, die vereisen een ander type aandacht/plek).
- Prijs flexibiliteit. Vragen:
 - De banken bepalen eigenlijk hoe groot een lening/investering kan worden en zo komen de boeren op een bepaald type vloer uit.
 - Een bepaald rendement gekoppeld aan een concept/management systeem – inclusief vloer.
 - Bij varkens weten we het rendement van een 'managementsysteem' (concept). Waarom is dit niet zo bij melkvee?
- Levensduur van de vloer. Business modellen met toplaag bedenken; een basis harde-vloer met mogelijkheden tot upgraden van de boven laag elke 5 à 10 jaar.
- Ownership
 - Veehouders kijken naar rendement (in 5 jaar zou in principe een investering zich terug moeten betalen)
 - Cultureel, is dat mogelijk of misschien moeilijk. Maar ik verwacht dat door beleid de situatie kan veranderen.
 - Total Cost of Ownership is goed; terugverdientijd, is dat wel goed?
 - Andere functies aan het concept koppelen, bijvoorbeeld functies voor dierwelzijn, de beloopbaarheid.
 - Kan dit een smart-vloer worden? Een onderdeel van het totale systeem dat de veehouder informeert over temperatuur, vocht, of over wanneer de mestrobot een rondje moet geven.

Presentatie Anders Beton, ERGO-Vloer

Tijdens deze workshop werd informatie gegeven over de laatste innovaties op het gebied van vloeren van Anders Beton. We namen bijvoorbeeld kennis van de ERGO-vloer, een dichte vloer met sleuven. AB faseert bijvoorbeeld de productie van beton op een andere manier dan de standaard + andere samenstelling van het beton ('onze coca cola formule'). Daarbij is er geen sprake van ontkisten, AB gebruikt een innovatieve productie methode. Deze methode maakt het mogelijk om de boven (top)laag, die minder vocht opneemt, te differentiëren van de onderlaag. De vloer blijkt in de praktijk goed beloopbaar en heeft een goede grip voor de koe. In de sleuven is een hellingspercentage van 6% om de afvoer van urine te faciliteren. Tussen elke beton plaat is er een 5mm opening die de urine doorlaat. Het vloersysteem is te combineren met verschillende andere systemen (remmers, rubber). De ERGO is goedgekeurd als emissiearme stalvloer met een emissiefactor van 9,1 kg NH₃ per koe per jaar (BWL2013.05V2).²² De deelnemers waren gecharmeerd van deze vloer en dachten dat het EDD20 hierop verder zou kunnen bouwen: wat moeten we doen om deze vloer naar 3 kg NH₃ per dierplaats per jaar te kunnen brengen?

Op basis van alle informatie, eisen, en opmerkingen werden er **drie kansrijke ontwerprichtingen** gekozen om uit te werken. Hierbij een korte samenvatting van de highlights van deze richtingen:

A. Functionele differentiatie: werken met ruimtes; kleiner oppervlak om excretie op te vangen

Dit concept werd uitgewerkt vanuit het werk van Flipse (2016). We combineren de twee ruimtes van liggen en eten (het voer komt uit de lucht via buizen), omdat 80% van de excretie plaats vindt rondom deze twee ruimtes/functies.

Bij de sociale ruimte is er een urine drainerende vloer (gras) + robots die mest opscheppen.

Dit is efficiënt want er is geen voergang en dus komt de ondernemer goedkoper uit.

Mest gaat naar mono vergisting.

B. Voortborduren op ERGO-vloer

Sleuven blijven + externe toplaag (opties zijn Nano coating, rubber) er opmonteren zodat de urine er sneller af gaat + deze toplaag is indrukbaar voor de beloopbaarheid van de koe.

Combinatie van beton en een bovenlaag kan moeilijkheden qua beloopbaarheid voor koeien betekenen.

Dit bovenstuk is vervangbaar (2 á 5 jaar). Door de continue vervanging kan je een goed, 'up to date' systeem hebben.

Andere richting is dat de vloer zoals die nu is al goed genoeg is en dan moet je gewoon met reinigingsmiddelen proberen om het oppervlak schoon te houden.

Het is ook denkbaar om een nano-coating die (ultra) glad is toe te passen.

Meer sleuven inbouwen. Meer sleuven kunnen voorkomen dat het oppervlak van de plas groot wordt.

Zonder mechanische middelen (alleen door de werking van de vloer) is het moeilijk om urine weg te krijgen/brengen. We hebben bijvoorbeeld een vinger-systeem aan de vaste schuiver gemonteerd.

Reinigen is essentieel.

Mechanische mest/urine verwijdering en reinigen zijn onlosmakelijk verbonden met een goede vloer.

²² <https://andersbeton.com/nl/ergo-vloer> (geraadpleegd, oktober 2018)

C. (Echt goede) Reiniging van de vloer. Reinigen boven en onder de vloer.



Reiniging is onlosmakelijk verbonden met (type/goede) vloeren.

Momenteel zijn we niet in staat om de vloer in melkveestallen echt schoon te krijgen.

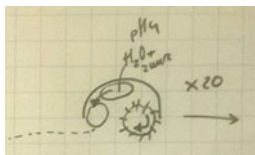
Onder de vloer kan een riool met een vacuümsysteem een optie zijn. In de openingen is er een rond-gladde bal die de urine/mest doorlaat maar dat het rioolsysteem dicht houdt.

Onder de vloer plaatsen van de mestband van de varkenshouderij kan een goede optie zijn voor het scheiden van mest en urine.

Nanotechnologie is/kan belangrijk (zijn) om een super-gladde vloer te genereren. Echter misten we de kennis en partners binnen het EDD20 project. Dit zou schoonmaken kunnen vergemakkelijken.

Openingen naar beneden moeten groot zijn om de afvoer van mest en urine te faciliteren.

Reiniging moet een continu/constant proces zijn.



Of d.m.v. een schuiver of d.m.v. een robot: Aan de voorkant maakt een borstel (kunststof, rubber) de vloer schoon en aan de achter kant sproeit vloer schoon met een zuur watermengsel (tot PH4).

De laatste uitwerking/idee: Sleuven vloer op basis van de ERGO-vloer, daarbij een hellingspercentage van 2% inbrengen. Urine via de sleuven, en gier naar de kelder z.s.m. Een mestschuiver draait/schuift constant. Buiten de stal (je moet het hele systeem doordenken) is er een mest verwerkingsinstallatie waarin gas wordt geproduceerd + daar wordt ook een raffinageproces uitgevoerd waarmee we er o.a. een vloeistof uithalen die we gaan gebruiken voor het schoonmaken van de vloer (vragen: is die vloeistof ureum/urease vrij? Is/blijft het nog gezond voor koeien/boer?) (a) om het schuiven/borstelen te vergemakkelijken en (b) voor het nareinigen.

Resultaten van het ontwerpatelier

Gesprek met Friesland Campina organiseren rondom mestvergiftiging.

Wat betekenen de ontwikkelingen rondom het "vergisten op eigen erf" voor onze -EDD20- ontwerprichtingen?

Friesland Campina, POV en provincie Noord-Brabant willen bijvoorbeeld dat veehouders in 2017 mest gaan vergisten op het eigen erf (Boerderij 20 september 2016, nr. 52). Volgend jaar wil FC 200 monovergisters bij even veel melkveeouders hebben, en 1000 in 2020.

Zijn dan de kelders overbodig? Moeten we ontwerpen richting dichte vloeren?

Wat is dan een 'mestkelder' = iets onder de vloer om urine af te voeren...

Testprogramma-vloeren organiseren:

We gaan systematisch een aantal varianten van vloeren bemeten op plasdiepte, plasoppervlak en (zo mogelijk) urease-activiteit. De methode van Dennis Snoek wordt gehanteerd, en de meetapparatuur van Farm Technology Group wordt erbij gebruikt.

Wat gaan we testen:

- Een selectie van de vloeren van Anders Beton. Prioriteit ligt bij de ERGO-Vloer, maar we kunnen er ook variatie in aanbrengen door andere typen vloeren van AB (zoals de ECO-vloer) te gaan testen.
- Op basis van verworven kennis, (nog te bepalen) varianten op die vloer(en) testen, gericht op het beperken van plasdiepte en plasoppervlak, dan wel urease-activiteit, dan wel tonemen van de beloopbaarheid. Denk bij het laatste bijvoorbeeld aan de toevoeging van een rubber bollen top laag, zoals die ook op de Groene Vlag-roosters ligt (www.denboerbeton.nl/assortiment/groene-vlag-roosters/). Hierbij gaan we ook dezelfde variabelen testen.

Testen rondom 'reinigingsmethoden' organiseren

Wat gaan we testen:

- reinigen met borstel
- reinigen met schuif met borstel
- reinigen met rubber + schuif met rubber

Het verschil tussen hoeveel urine/mest op de vloer blijft na reiniging met verschillende typen borstels/rubbers en vloeren.

Zoekactie naar nano-coating partner. Bijvoorbeeld bij de technische universiteiten TU/e en TU Delft.

We willen de mogelijkheden in beeld krijgen om oppervlakken (m.n. ook de verticale)

- minder vatbaar te maken voor kristallisatie door calcium/urease-complexen.
- minder te laten aankoeken met mest-deeltjes.
- makkelijker reinigbaar te maken.

Na contact te hebben gehad met een aantal bedrijven, hebben we besloten om niet verder te gaan met dit traject o.a. door slijtage van een aantal van de toegepaste middelen op lange termijn bij veehouderijbedrijven. 'Waterdichte' oppervlakken waar urine en feces niet kunnen hechten en die goed schoongemaakt kunnen worden zijn echter nog interessant ten aanzien van de ammoniakemissie. Aanvullend onderzoek is wel nodig.

Onderzoek uitvoeren naar 'vloeibare reinigingsmiddelen'.

90% van de mest en urine moet weg zijn voordat je er iets over sproeit. Maar de perceptie vanuit de praktijk is meestal anders. Veehouders zien de stallen als gewoon schoon.

Hieruit zijn 2 centrale vragen voortgekomen:

- Welke middelen kunnen we gebruiken ter ondersteuning van de reinigingsactiviteit? Dat wil zeggen extra vocht (spoelen) toevoegen zodat het schoonmaken van een vieze vloer makkelijker kan.
- Welke chemische samenstelling zou een vloeibaar middel moeten hebben om na het verwijderen van mest/urine (op welke manier dan ook) een (a) beschermende werking te hebben tegen emissie en (b) een voorbereidende werking om bijvoorbeeld de nieuwe plas sneller af te voeren?

Het effect van zuur op urease-activiteit testen.

Met zuur breek je het urease molecuul af, maar vooral los je het calciumcarbonaat op dat zich aan de vloer hecht en waarop/waarin urease zich kan hechten. Basisidee is dat je niet een hele lage pH nodig hebt, maar bv. pH = 4, als je maar regelmatig toepast.

- Wat gebeurt er met de mest (verzuren)?
- Het is maar een dunne laag die aangebracht is op de bovenste laag van een schone vloer = hoeft niet veel zuur naar de mest te gaan. Het vernevelen van een kleine hoeveelheid zuur op een vloer is nog niet gedaan.

De werking van de mestband uit de varkenssector testen bij melkveehouderij. In welke mate is een mestband efficiënt in het scheiden van urine en feces van rundvee? Hoe doe je dat?



In oktober 2017 hebben we een ontwerpatelier in België georganiseerd. De doelstelling was om ontwerp-concepten te maken van een 'ERGO-Vloer' (zie foto hiernaast) met een reinigingssysteem gericht op het beperken van urease-activiteit. Oogmerk was om de goede beloopbaarheid van de huidige ERGO-vloer te combineren met een veel lagere ammoniakemissie. De ERGO-Vloer is goedgekeurd als emissiearme stalvloer met een emissiefactor van 9,1 kg NH₃ per koe per jaar (BWL2013.05V2).²³ Hierbij maakten we gebruik van de uitgevoerde studies rond plasdiepte en oppervlakte voor en na verschillende schoonmaakwerkzaamheden en het effect van zuur en ontsmettingsmiddelen op de opbouw van de urease-activiteit, en van de resultaten van het eerdere EDD20 ontwerpatelier vloeren (8 september 2017).



Belangrijke aspecten binnen dit traject waren:

- a) Werken aan de dichtheid van de vloer zonder dat de huidige goede beloopbaarheid vermindert (AB).
- b) Toepassing van biocide middelen om de opbouw van de urease-activiteit te beperken (WUR).
- c) De combinatie met reinigen d.m.v. bijvoorbeeld de collector-robot en de smart-scrapers (GEA).

²³ <https://andersbeton.com/nl/ergo-vloer> (geraadpleegd, november 2018).

- Vloer reinigen 1 keer per uur of per 2 uur. Goed reinigen is cruciaal om de doelstelling t.a.v. ammoniakemissie te kunnen bereiken. Combinatie van schrapen en (mogelijk nat) borstelen zou een optie kunnen zijn. De collector robot kan ook kansen bieden;
 - Echter was toen nog niet duidelijk hoe de reiniging precies plaats kon vinden. GEA had nog niet haar strategie t.a.v. het EDD20 project gedefinieerd.
- Zorgen voor de koe (beloopbaarheid, gezond klimaat).
- Het leven van de ondernemer/mer makkelijker maken (qua management met redelijke investering).

9.2 Testprogramma vloeren – Plasdiepte en oppervlak bepaling

A.J.A. Aarnink, D. Puente-Rodríguez, S. Blauw & K. Blanken

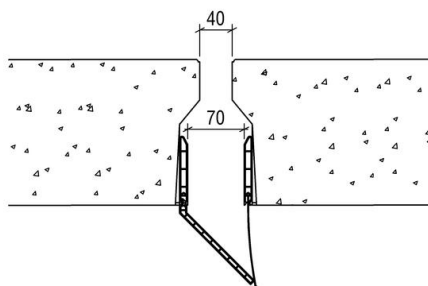


Eén van de opties om de ammoniakemissie te reduceren is het beperken van de hoeveelheid urine die achterblijft op de vloer na urineren van een koe. Uit het promotieonderzoek van Dennis Snoek (2016) blijkt dat dit één van de belangrijkste parameters is die de ammoniakemissie vanaf de vloer bepalen. In dit testprogramma gaan we systematisch een aantal varianten van vloeren bemeten op plasdiepte en plasoppervlak. Deze twee kenmerken van urineplassen bepalen namelijk het volume van de plas, en samen met de ureum-stikstof de hoeveelheid ammoniak die maximaal kan vervluchtigen uit zo'n plas. De doelstelling van dit onderzoek was te bepalen wat het effect was van verschillende typen vloeren op de hoeveelheid urine die achterblijft op die vloer. Hiervoor zijn 3 vloervarianten (zie foto hiernaast) getest: 1) de Ergo-vloer van Anders Beton; 2) de ECO-vloer van Anders Beton; 3) de Groene Vlag Plus vloer.

Materiaal en methode

Het onderzoek is uitgevoerd bij 3 typen vloeren die elk op een ander bedrijf lagen:

1. De ERGO-Vloer (zie foto hieronder): Gemaakt met een innovatieve productietechniek. Het is gevormd door troffelbeton met een toplaag. De beloopbaarheid van de koe is in principe goed. De ERGO-vloer is een emissiearme vloer met een emissie factor van 9.1 kg NH₃ per koe per jaar.²⁴ Er zijn verschillende uitvoeringen van de ERGO-vloer met (ERGO-100 & ERGO-200r) of zonder (ERGO-PM) vloerkleppen.



2. De ECO-VLOER (zie foto hieronder): een hybride roostervloer met een loopoppervlak van 50% beton en 50% rubber. Het hoge aandeel van beton verzekert een goede klauwslijtage en beloopbaarheid. De ECO-Vloer heeft een officieel emissiefactor van 7 kg NH₃ per dierplaats per jaar.²⁵

²⁴ www.andersbeton.com (geraadpleegd oktober 2018).

²⁵ www.andersbeton.com (geraadpleegd december 2018).



3. Vloeren met een rubberen bollen toplaag (zie foto's hieronder). Bijvoorbeeld bij de Groene Vlag Plus roostervloeren (www.denboerbeton.nl/assortiment/groene-vlag-roosters/). Deze vloer biedt ook een goede beloopbaarheid voor de koe. Vee roosterplaten worden voorzien van een kunststof kap, eventueel met een rubberen flap om de kelder af te sluiten. Voorlopige emissiefactorwaarden van 6 kg NH₃ per dierplaats per jaar met klep. Zonder klep 9,5 kg NH₃ per jaar per dierplaats ²⁶.



De volgende metingen zijn uitgevoerd volgens de procedure zoals beschreven in (Snoek 2016):

- Plasdiepte. De plasdiepte is bepaald d.m.v. een "XY-table" met een bevestigde ultrasone afstandssensor. Zie linker foto hieronder.
- Plasoppervlak (m²). Dit is bepaald door middel van een infraroodcamera experiment (Snoek et al. 2014). Zie rechter foto hieronder.

Per type vloer zijn metingen op één bedrijf uitgevoerd op 2 dagen. Hierbij werd er een nieuwe borstel-methode van GEA toegepast en metingen uitgevoerd om het verschil te bepalen tussen hoeveel urine/mest op de vloer blijft na reiniging met deze (nieuwe)borstels en de standaard/aanwezige schuif.

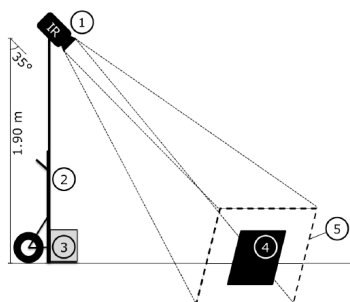


Figure 5.1: Schematic representation of the IR camera (1) on a trolley (2), with dead weight (3) and an aluminium rectangle plate (4) for calibration at the indicated view (5) (Snoek et al., 2014a).

²⁶ <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen/map-staltypen/hoofdcategorie/> (geraadpleegd november 2016).

Procedure plasdiepte-meting

- Eerst wordt urine opgevangen van meerdere koeien en gemengd (totaal ca. 15 liter nodig; dit wordt door de melkveehouder gedaan);
- Er wordt een veilige plaats gezocht die representatief is voor de vloer (in min of meer schoon geschoven toestand en waar geen urineplassen liggen);
- Met de XY tafel wordt op 9 plaatsen de afstand tot de vloer gemeten.
- Met een kan wordt op de 9 plaatsen urine gegoten;
- Met de XY tafel wordt opnieuw op dezelfde 9 plaatsen de afstand tot de vloer gemeten;
- Vervolgens wordt de vloer schoongemaakt met een schraper of met een borstel. Op elke locatie wordt op 2 plekken gemeten, de ene plek wordt schoongemaakt met een schraper en de andere plek met een borstel;
- Handeling c t/m e wordt herhaald;
- Deze procedure wordt uitgevoerd op 5 locaties binnen de stal.

Procedure bepaling plasoppervlakte

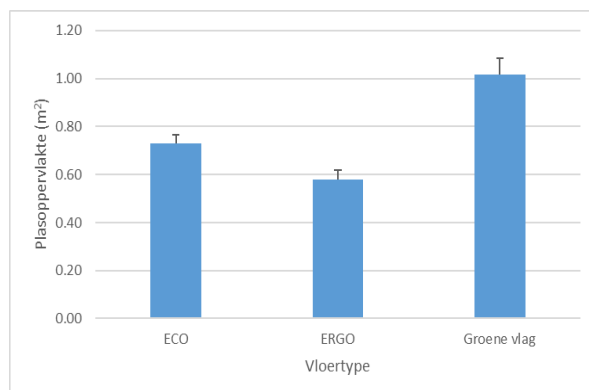
- Zodra een koe urineert wordt er op een vriendelijke wijze toegang naar de plas verkregen;
- Met de infraroodcamera wordt er zo spoedig mogelijk maar uiterlijk 20 seconden na het plassen foto's genomen (RGB en IR foto).
- Deze procedure wordt 10 keer herhaald.

Resultaten en discussie

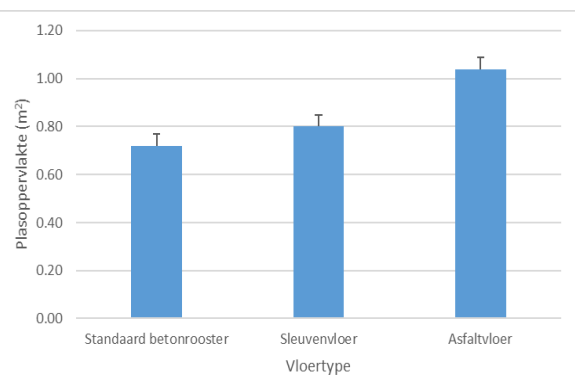
In figuur 18 wordt het effect van vloertype op de plasoppervlakte weergegeven. Figuur 18A laat de resultaten zien van het onderzoek binnen EDD20. Hieruit blijkt dat de ERGO vloer de kleinste plasoppervlakte had en de Groene vlag vloer de grootste ($p < 0,001$). In figuur 18B worden de resultaten van eerder onderzoek getoond bij een standaard betonvloer, een sleuenvloer en een asfaltvloer (Snoek et al., 2014). Deze laten vergelijkbare oppervlakten zien, met de grootste plasoppervlakte voor de asfaltvloer. De resultaten lijken er op te duiden dat gladde vloeren (Groene vlag) en dichte vloeren (asfalt) de grootste plassen geven. De relatief ruwe ERGO-vloer gaf de kleinste plas. Het ruwe oppervlak van de ERGO-vloer zorgt er waarschijnlijk voor dat de plas niet verder uitvloeit.

In figuur 19 worden de resultaten van de plasdikte op de verschillende vloeren getoond, voor een vuile vloer, na schrapen en vervolgens na borstelen. Zowel het vloertype als de behandeling hadden significante effecten op de dikte van de urineplas ($p < 0,001$). Er was tevens een significante interactie tussen deze twee ($p < 0,001$). Schrapen had een grote invloed op de plasdikte, vooral bij de relatief ruwe vloeren (ERGO, standaard beton, sleuenvloer en asfaltvloer). Borstelen had tevens een sterk effect op de plasdikte bij vooral de ECO en de ERGO vloer. Dit effect was geringer bij de Groene vlag vloer.

A:

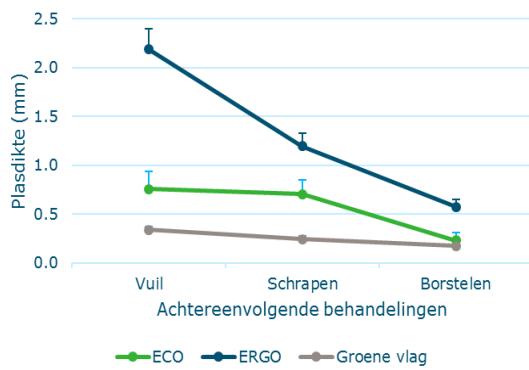


B:

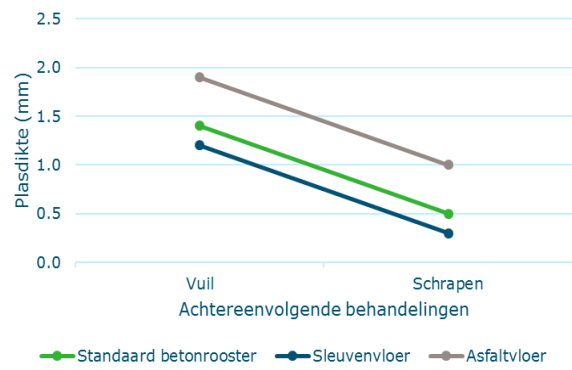


Figuur 18 A (links) & B (rechts): Effect van vloertype op de plasoppervlakte. A: resultaten van onderzoek EDD20. B: resultaten van eerder onderzoek (Snoek et al., 2014).

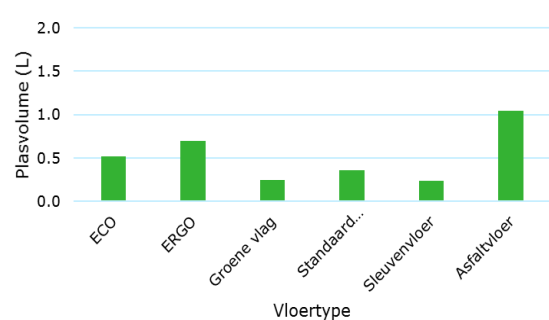
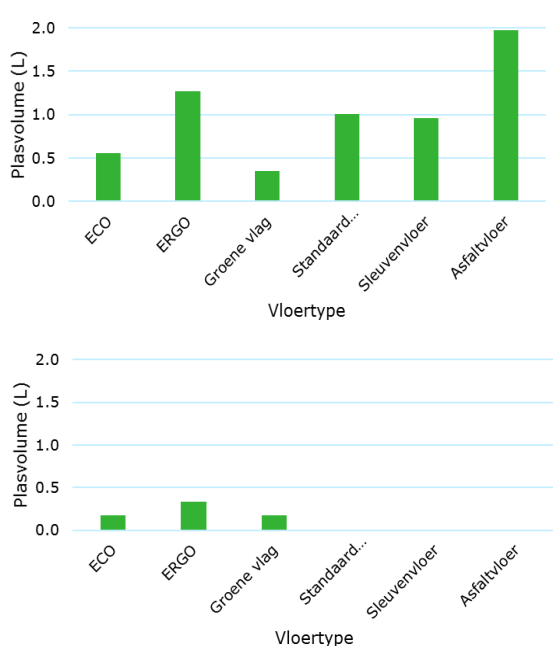
A:



B:



Figuur 19 Dikte van de urineplassen op een vuile vloer, na schrapen en vervolgens na aanvullend borstelen (alleen A). A: resultaten van onderzoek EDD20. B: resultaten van eerder onderzoek (Snoek et al., 2014).



Figuur 20 Volume van urineplassen op een vuile vloer (A), na schrapen (B) en vervolgens na aanvullend borstelen (C; alleen bij EDD20 onderzoek).

In Figuur 20 worden de berekende plasvolumes gegeven (oppervlakte x dikte) voor de verschillende typen vloeren, zonder behandeling (vuil), na schrapen en vervolgens na additioneel borstelen. Hieruit blijkt dat plasvolumes sterk gereduceerd kunnen worden door schrapen en aanvullend borstelen. Bij de ruwe vloeren (ERGO en asfalt) wordt echter niet het geringe volume bereikt dat op de gladde vloeren achterblijft na schrapen en borstelen.

Conclusies

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De plasoppervlakte wordt vooral bepaald door barrières die opgeworpen worden op de vloer, zoals een ruw oppervlak of door sleuven. Gladde en/of dichte vloeren geven de grootste plasoppervlakte.
- De plasdikte wordt sterk beïnvloed door het vloertype en door de mate van bevuilding van de vloer. Op gladde vloeren (ECO en Groene vlag) hadden de behandelingen schrapen en borstelen minder effect dan op de ruwe vloeren (ERGO en asfalt). Borstelen had een extra effect op de plasdikte bij de ECO en de ERGO vloer, maar minder op de Groene vlag.

9.3 Kansrijke ontwerp concepten - vloersystemen

D. Puente-Rodríguez, A.P. Bos, A.J.A. Aarnink, N. Verdoes, S. Bokma, C. Lokhorst & P.W.G. Groot Koerkamp

In dit gedeelte schetsen we twee kansrijke ontwerpconcepten. Deze komen voort uit de ontwerpdelers en verdiepende studies. Het zijn allebei systemen die rondom dichte vloeren zijn opgebouwd om bij te dragen aan vergaande beperking van de ammoniakemissie. Voor het eindexperiment in het EDD20 project zijn zij echter afgefallen. De voornaamste reden hiervoor was dat de deelnemende bedrijven in het consortium op de korte en middellange termijn onvoldoende beweging in de markt zagen voor dichte vloeren in Nederland. Daarom is voor het eindexperiment gekozen om verder te werken een aangepaste roostervloer (zie hoofdstuk 11).

De voordelen van een dichte vloer zijn:

1. De ammoniakemissie uit de mestkelder wordt (in principe) uitgeschakeld. Bij roostervloeren draagt de mest in een kelder door luchtuitwisseling tussen kelder en stalvolume voor 40 tot 60% bij aan de totale ammoniakemissie van een stal. Ook voor het reduceren van de emissie van broeikasgassen (vooral methaan) worden dichte vloeren in de literatuur als kansrijk gezien (Groenestein et al. 2012; Šebek et al. 2016).
2. Een dichte vloer vereist een snelle afvoer van feces en urine. Mocht dit optimaal uitgevoerd worden dan leidt dat ook tot een schone vloer, wat gezondheid (klauwproblemen, mastitis) van melkkoeien kan bevorderen. Scheiding van feces en urine en snelle afvoer daarvan geeft een lagere ammoniakemissie.
3. Dichte vloeren bieden mogelijkheden om feces en urine primair te scheiden (dus vóór menging tot drijfmest). Deze primaire scheiding wordt gezien als een belangrijke stap in het beter benutbaar maken van mineralen en organische stof uit mest en urine (zie bijvoorbeeld (Hoofdstuk 8) en daarmee aan het beter sluiten van kringlopen. Primaire scheiding kan ook bijdragen aan het standaardiseren en differentiëren van de mestkwaliteit.

De twee kansrijke systemen zijn de 'Soft Dairy Floor' en het ERGO+ systeem.

9.3.1 Soft Dairy Floor

De 'Soft Dairy Floor' is een dichte vloer met een onderlaag van beton en een toplaag van Thermoplastic Elastomeric materialen, ofwel: polypropyleen.²⁷ Dit is hetzelfde materiaal als de commercieel verkrijgbare Groene Vlag vloer. In Ierland heet het de Comfort Slat Mat van de Irish Custom Extruders Ltd. Reden voor deze keuze zijn:

- Uit experimenten binnen dit project, waarbij verschillende type vloeren werden behandeld met verschillende middelen, bleek dat de (dichte) ERGO-Vloer een gemiddelde urease-activiteit had van 78,5, tegenover de standaard roostervloer 10,6, en de Groene Vlag slechts 2,5 mg NH₄-N/(l 30 min) (hoofdstuk 10). Eerder onderzoek liet zien dat de urease-activiteit van de 'Comfort Slat Mat' ca. 90% lager was dan een traditioneel betonrooster (Kasper et al., 2010; zie ook Van den Hoorn et al., 2009). We gaan er vanuit dat deze zeer lage gemeten urease-activiteit op de Groene Vlag-vloer gelijk is aan de altijd aanwezige achtergrond-activiteit. De achtergrond-activiteit kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden doordat er enige bevuilding van buitenaf in de ureumoplossing terecht komt (b.v. enig stof). Dit is bij praktijkmetingen nooit helemaal te voorkomen.
- De goede beloopbaarheid. Dit wordt gerealiseerd door de indrukbaarheid/flexibiliteit van het materiaal in combinatie met de structuur van deze toplaag. Het interne luchtkamer systeem van de Comfort Slat Mat draagt hier verder aan bij.

²⁷ Ten aanzien van de gebruikte materialen kunnen we op de website van Irish Custom Extruders Ltd. het volgende lezen: "The Mats are made from Thermoplastic Elastomeric materials that are approved for use with foodstuffs. All materials used in their manufacture are 100% recyclable. Unlike mats made from rubber, this means that at the end of the life of Comfort Slat Mats, if they are washed, they can be returned and the material completely re-used" www.comfortslatmat.com/eco-materials (accessed June 2018).

De Groene Vlag wordt in Nederland door Den Boer Beton gecommmercialiseerd. Na een telefoongesprek werd bevestigd dat ook de bovenste toplaag van polypropyleen is gemaakt.

De gang bij dit conceptontwerp is 4,5 meter breed om te zorgen dat de dieren genoeg ruimte hebben. Daarbij is de voerstoep, 50 cm breed en bedekt met zacht materiaal.

Urine en mest afvoersysteem

Een dichte vloer vereist eigenlijk een *collector robot* die de feces ophaalt en elders afstort, om bijvoorbeeld uitsmeren van mest door schuiven te voorkomen. Binnen het EDD20 consortium was het nog te vroeg voor het leveren/ontwikkelen van een dergelijke robot. Daarom is in dit Soft Dairy Floor concept vooralsnog de vloer uitgerust met een sleuven-systeem.

Deze sleuvenvloer wordt gereinigd met een mestschuif. Deze heeft twee bladen om te zorgen dat alle mest wordt getransporteerd. De bladen zijn ook van polypropyleen gemaakt. Een vingerschuif verwijdert de mest. De vingerschuif kan de sleuven precies schoonmaken/houden.

De vingerschuif heeft een borstelsysteem aan de voorkant. Hiermee borstelt het systeem de vloer én de sleuven in de richting van de sleuven. De borstel wordt bevochtigd (nat borstelen).

De mestschraper maakt de vloer elk uur schoon.

Idealiter word op de doorsteken hetzelfde vloer- en reinigingssysteem toegepast, maar hoe dat kan gebeuren is in dit concept nog niet precies uitgewerkt.

Wellicht kan de vingerschuif zo gemaakt worden dat hij de bocht kan maken om ook de doorsteken schoon te maken. Alternatieven zijn (1) een aparte vingerschuif voor de doorsteken (dit is waarschijnlijk relatief kostbaar) of (2) de doorsteken uitvoeren zonder sleuven, en eenmaal daags zijwaarts reinigen richting de hoofdgang. Ervaringen op Dairy Campus wijzen uit dat dit slechts marginaal bijdraagt aan verhoging van de NH₃-emissie (Bokma, persoonlijke communicatie, februari 2018).

De toplaag van de vloer is idealiter enigszins bol om urine-afstroom naar de sleuven te faciliteren. Een vlakke uitvoering kan echter ook, maar dan onder voorwaarde dat het reinigingssysteem effectief genoeg is. Een vlakke vloer kan ook licht onder afschot worden geplaatst.

Ouder onderzoek (Braam & Van den Hoorn 1996) liet zien dat bij een platte vloer (0 % hellingpercentage) de gemiddelde achterblijvende vloeistoflaagdikte 0,58 mm was. Bij een afschot van 3% blijft gemiddeld 0,18 mm vloeistoflaag achter (zie tabel hieronder).

Tabel 3 Vloerafschot in relatie tot vloeistoflaagdikte. Bron: Bokma & Puente-Rodríguez op basis van Braam & van den Hoorn 1996.

	Vloerafschot (%)					
	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
Gemiddelde vloeistoflaagdikte (mm)	0,58	0,24	0,18	0,15	0,13	0,12
Achterblijvende vloeistof (% t.o.v. 0 % afschot)	100 %	41 %	32 %	26 %	22 %	21 %
Geringste laagdikte (mm)	0,13	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
Hoogste laagdikte (mm)	1,19	0,64	0,42	0,38	0,37	0,36

Een afschot van bijvoorbeeld 3% betekent (voor een standaard sleuven vloer) een hoogteverschil van ongeveer 2 mm tussen het hoogste en de laagste punt daar waar de sleuf begint. Bij een afschot van 5% is dit hoogteverschil 3,5 mm. Deze hoogteverschillen zullen voor de klauwen van de dieren nauwelijks waarneembaar zijn.

De polypropyleen toplaag bedekt ook de sleuven. Ten opzichte van de dimensies van de sleuven hebben we de volgende inzichten:

- Sleuven hebben een maximum breedte van 30/25 mm en hebben een diepte tussen 5mm en 35mm. Een beperkt experiment bij de Farm Technology Groep van de WUR geeft aan dat de sleuven op een kleinere maat dan de huidige +/- 35 bij 35 mm uitgevoerd zouden kunnen worden. Aanvullend onderzoek is echter vereist om dit vast te stellen.

- Sleuven hebben in dit concept geen helling, omdat dit voor reiniging beter is. Sleuven-vloeren (zoals de ERGO-vloer van Anders Beton en de G6 van Swaans beton) hebben wel een helling van rond 6%. In die gevallen zijn de sleuven 5 mm diep op het hoogste punt en 35 mm diep op het laagste.

Urine afvoer onder de loopvloer

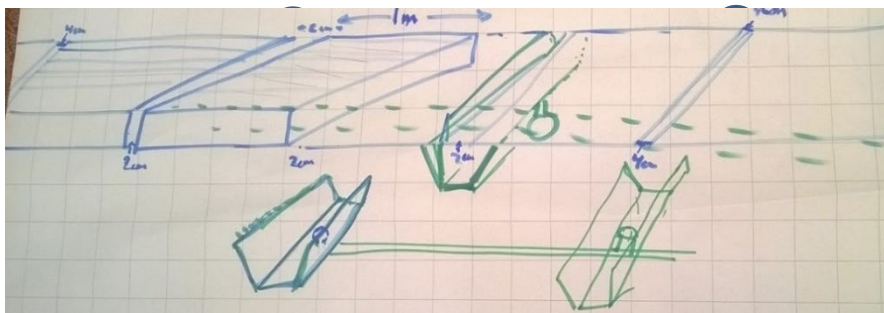
We identificeerden twee opties voor de urine-afvoer onder de vloer: (1) urinedrains, en (2) een ondiepe opvangkelder.

(1) Urinedrains: Elke meter (tussen de betonelementen) is er een urinedrain in de vorm van gaten onder in de sleuven. De breedte van de gaten is gelijk aan de breedte van de sleuven (dit kan tussen 30 mm en 20 mm worden).

Deze gaten zijn ovaalvormig en lopen taps toe naar boven. Ook hier zal iets feces in komen maar de gaten worden open gemaakt door de borstelschuif. In feite een soortgelijk systeem als het oude type sleuvenvloer (Mosquera Losada et al. 2012).

Urine wordt vervolgens via een urinegoot of riool het systeem uit getransporteerd.

Onder een rij van urine-drain-gaten is een ondiepe opvangbak gemonteerd. Met een opening in het midden van de opvangbak om te zorgen dat de urine naar een ondergrondse buis kan stromen.

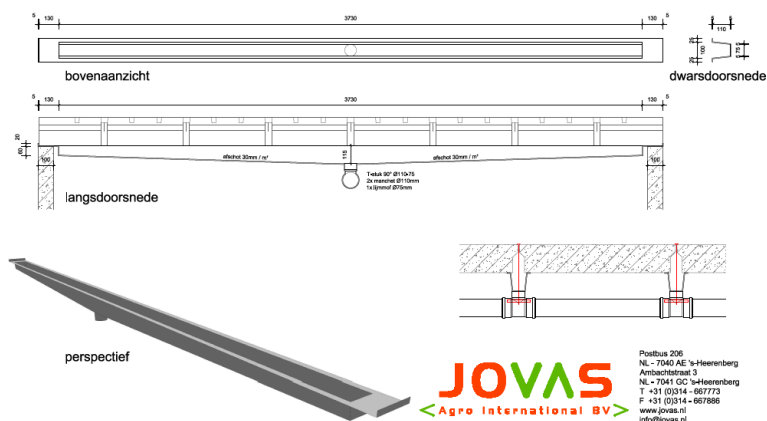


Figuur 21 Impressie van de urine-pannen die elke meter worden toegepast onder de urinedrain.

De urine-pannen zijn gemaakt van glad kunststof, maar kunnen ook gecoat worden of gemaakt van Thermoplastic Elastomeric materialen, polypropyleen. Dit vanwege de gladheid en lage gemeten urease-activiteit.

De urine-pannen hebben een bodem met een afschot ($>5\%$) aan weerszijden, die loopt van de buitenkant naar het midden toe.

Een dergelijke goot of pan is al eens getekend door het bedrijf JOVAS, alleen met iets andere maten (zie figuur 22 hieronder). Via deze urinepannen wordt de urine afgevoerd naar een riool-systeem.



Figuur 22 Mestpannen JOVAS.²⁸

Optie is om de urine-pannen te kunnen sproeien om ze schoon te kunnen maken. Er valt altijd wat feces door de gaten in de urine opvangbak. Mogelijk kan de schuif de gaten schoonspuiten en daarmee ook het urine-afvoersysteem open houden.

(2) Ondiepe opvangkelder. Onder de vloer kan een relatief kleine kelder handig zijn. Zeker in veel Nederlandse situaties heeft onderkeldering bouwtechnische voordelen (bodemplaat met constructieve functie voor poeren, vloeren en box dekken, minder of geen fundering nodig, etc.). In plaats van de urine-pannen hierboven kan gedacht worden aan een kelder van max. 40-50 cm diep. De urine wordt tijdelijk opgeslagen in de ondiepe kelder (met een toename van de laagdikte van < 1 cm per dag in een gemiddelde melkvee stal). De kans is hier wel iets groter dat er luchtbeweging over het urine oppervlak zal plaatsvinden. Onder de keldervloer wordt een rioolsysteem aangelegd om zeer frequente afvoer van de urine mogelijk te maken.

De urine gaat vervolgens naar een urine-opslagput/container buiten de stal, uitgerust met een pomp.

Om de reiniging van de urinekelder te bevorderen en/of de ammoniakemissie te beperken zijn er de volgende opties:

- Urine wordt elke dag gespoeld met (afval)water over de keldervloer. Daartoe kan een stortbak aan het eind van de mestgang worden geplaatst. Die wordt in de loop van de dag gevuld met spoelwater uit de melkput. Ook ander (afval)water, wat toch al bij de mest zou komen, is bruikbaar.
- Er zou ook gespoeld kunnen met EOW (zie hoofdstuk 10) in de urinekelder.
- De urine laag kan gemakkelijk worden aangezuurd of met vloeistof worden verdund.
- Er is lichte onder-afzuiging mogelijk vanuit de urine kelder + luchtwassing.

Feces afvoer

We stellen een mest afstort voor aan beide einden van de stal voorzien van een afsluitende klep (deksel) die opengaat als de mestschuif komt en dicht als hij weer vertrekt. Dit is een techniek die al in de praktijk wordt toegepast. De afstort kan direct buiten de stalmuren gesitueerd worden, waardoor de mestschuif in ruststand buiten de loopruimte van de koeien gesitueerd is en geen obstakel vormt.

Indien de feces afstort plaatsvindt aan het einde van de stal (buitenzijde) dan kan volstaan worden met een mestput van b.v. 2 m diepte. Feces heeft ongeveer een ds% van 15%. Deze is nog verpompbaar. In de mestput wordt een pomp gehangen.

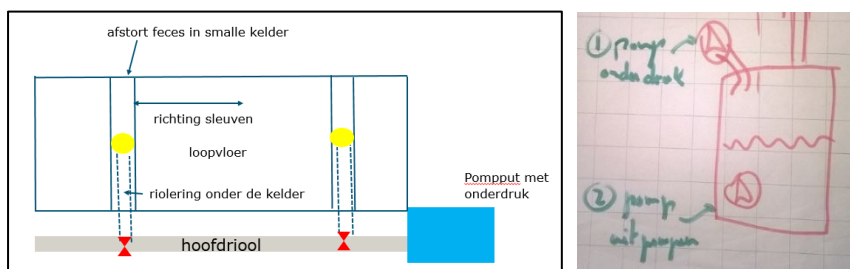
Alternatief kan een systeem zijn waarin dergelijke afstort plekken met kleppen zich niet alleen aan beide einden van de stal bevinden, maar ook ergens in het midden van de loopgang.

²⁸ www.jovas.nl/

Als de urine met opvangbakken en buizen wordt afgevoerd en we zouden kiezen voor feces-afstort om de 10-20 m, dan is het ook mogelijk onder de afstortspelen een mestopvangput te maken.

Feces afvoeren uit deze smalle put (b.v. 4.5 m bij 0.5 m) is mogelijk door middel van:

- Een pomp in elke put. Deze optie is lastig te realiseren i.v.m. dikke mest en mogelijke korstvorming.
- Een vijzel naar een afvoer buiten de stal (vijzel dus dwars op de loopgang). Dit is echter een duur systeem.
- Een rioolsysteem onder de putvloer en afvoer naar een hoofdriool gelegen naast de stal in de lengterichting. Dit hoofdriool mondt uit in een mest-opvangput aan de kopse einden van de stal. Deze opvangput kan onder vacuüm worden gezet, waarbij steeds 1 afsluiter (van een smalle opvangput in de stal) wordt geopend en de opvangput van 4.5 bij 0.5 m wordt leeggezogen. Zie tekening hieronder.



Figuur 23 Impressie van het rioolsysteem onder de vloer (links) en van het opslagruimte en de twee pompen, pomp 1 zorg voor onderdruk op het systeem & pomp 2 zorg dat urine wordt uitgepompt.

Inschatting van de NH₃ emissie

Bij het 'Soft Dairy Floor' ontwerpconcept zou, in principe, het toepassen van biocides alleen nodig zijn waar de rubber toplaag *niet* ligt. Kasper et al (2010) concluderen dat de urease-activiteit van de 'Comfort Slat Mat' ca. 90% lager was dan een traditioneel betonrooster. De Rav-emissiefactor van een ligboxenstal met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag, afdichtflappen in de roosterspleten en een mestschuif is 6 kg NH₃ per dierplaats per jaar.²⁹

De vraag hier is welke emissie een dichte vloer als deze zou hebben, met een goed functionerend reinigings- en afvoersysteem waarmee mest en urine gescheiden van elkaar zo snel mogelijk uit de stal gehaald kunnen worden (EOW wordt dan in het rioolsysteem of mestkelder gebruikt). Uit ons onderzoek naar de urease-activiteit op verschillende typen rubber (zie Hoofdstuk 10) kunnen we concluderen dat, **in theorie**, bij goed gereinigde schone vloeren de urease-activiteit zich beperkt tot de achtergrondactiviteit, waardoor een theoretische reductie van meer dan 95% (uit de vloer) mogelijk is.

9.3.2 ERGO +

Verkenkend onderzoek heeft plaatsgevonden naar verbetering van een bestaande dichte vloer, namelijk de ERGO-vloer, een sleuvenvloer van Anders Beton³⁰ (zie Hoofdstuk 10) in combinatie met de toepassing van biocidemiddelen (EOW) en van een goed reinigingssysteem.

Na onderzoek naar verschillende middelen, waaronder biocides zoals EOW en Perazijnzuur (zie Aarnink et al., Hoofdstuk 10) hebben we gekozen voor het testen en toepassen van EOW (deze innovatie is gepatenteerd Aarnink & Puente-Rodríguez 2017).

²⁹ BWL 2010.30.V4; <http://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2017-12-13#> (geraadpleegd, april 2018).

³⁰ <https://andersbeton.com/nl/ergo-vloer>.

Voor dit concept zouden we EOW gebruiken door de relatieve veiligheid van dit middel. Het voordeel van EOW is dat het tegen relatief geringe kosten op het veehouderijbedrijf zelf kan worden aangemaakt. Daarnaast wordt het nadat het zijn werking heeft gedaan ook relatief snel weer afgebroken tot onschadelijke componenten (zie hieronder).

Op het bedrijf van de familie Bruurs in Baarle-Nassau is onderzoek uitgevoerd naar het effect van deze middelen op drie varianten van de ERGO-vloer, te weten:

- ERGO-standaard: deze vloer heeft een goede beloopbaarheid door een speciale stroeve toplaag van troffelbeton, maar slechte prestatie t.a.v. plasdiepte en urease-activiteit (zie Hoofdstuk 10). Hoewel we met een goed reinigingssysteem en de toediening van biocide middelen de ammoniakemissie waarschijnlijk zouden kunnen terugdringen.
- ERGO zonder troffelbeton; hiermee verdwijnt de stroefheid die de standaard ERGO-Vloer heeft, met mogelijk positief effect op de urease-activiteit. Vraag is wel wat deze gladheid betekent voor de beloopbaarheid.
- Gesealde-ERGO: de standard ERGO-Vloer voorzien van een chemische sealing die Anders Beton gebruikt voor de vloeren in de varkenshouderij om de vloer ondoordringbaar te maken. Het doel hiervan is om de porositeit van beton te minimaliseren waardoor urease-producerende bacteriën (en mogelijk ook virussen die schadelijk voor de veestapel kunnen zijn) de betonvloer niet binnen kunnen dringen en bevolken.

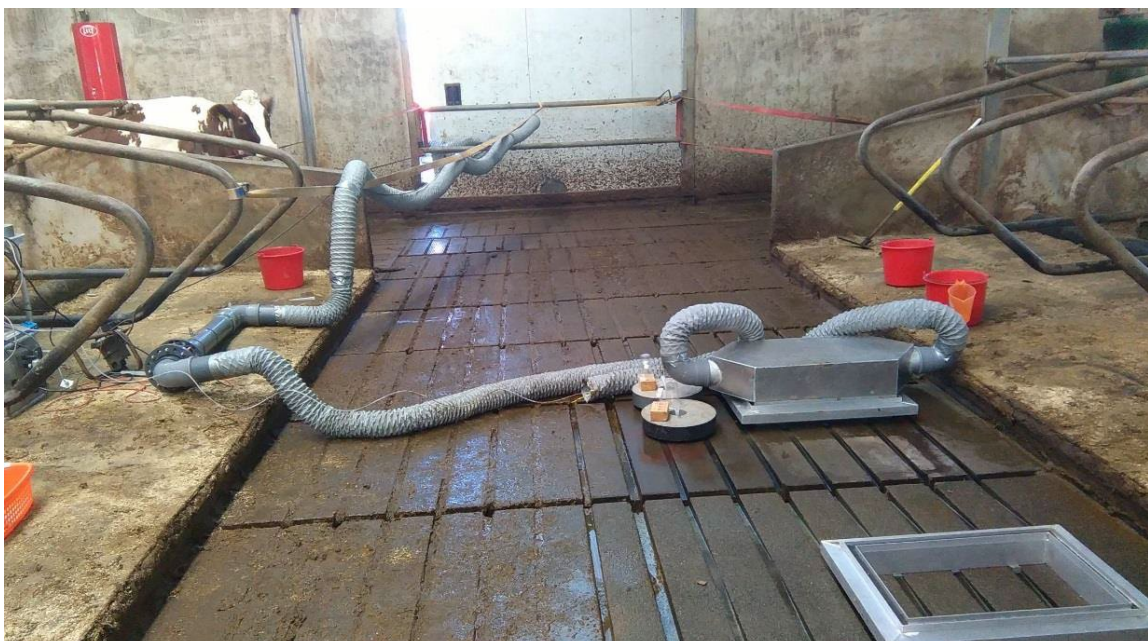


De vraagstelling was of door regelmatige behandeling met een desinfectiemiddel de urease-activiteit op een ERGO-vloer sterk is te verlagen (gebruikte vloer) of zeer laag is te houden (nieuwe vloer) en hoelang een behandeling effectief is, zowel op een nieuwe, al dan niet gesealde/ opgeruwde vloer, als op een gebruikte vloer.

Uit deze studie concludeerden de wij dat een gladde sleuvenvloer na behandeling met biocide een lagere urease-activiteit heeft dan de andere twee vloeruitvoeringen.

Een relevante, maar nog niet onderzochte vraag is of de beloopbaarheid van de koeien even goed zal zijn bij zo'n gladde uitvoering als de opgeruwde uitvoering.

De behandeling heeft nog een effect na 5 dagen maar het advies is om dit 1 keer per dag uit te voeren (dit rapport).



De reiniging en afvoersystemen van mest en urine bij dit conceptontwerp (ERGO +) zijn hetzelfde als bij het 'Soft Dairy Floor' systeem (zie hoofdstuk 11).

Inschatting van de NH₃ emissie

De standaard ERGO-vloer (BWL 2013.05V2) is bemeten met een waarde van 9,1 kg NH₃ emissie per dierplaats per jaar. Op basis van onderzoek blijkt dat bij toepassing van EOW (en bij een goede werking van de urine/mest afvoersysteem) **theoretisch** een ammoniakemissiereductie van rond 80% te halen is (dit rapport). Aanvullende onderzoek is uiteraard nodig om de juiste emissiereductie te kunnen bepalen.

Literatuur

- Aarnink A.J.A. & Puente-Rodríguez D. (2017). Reduction of ammonia emission from areas where animals are maintained. International patent application PCT/NL2018/050820.
- Braam, C. R., & C. J. Van den Hoorn. 1996. Betonnen stalvloeren met lage ammoniakemissie IMAD-DLO Rapport 96-12. Wageningen, Nederland, 207 pp.
- Groenestein, C.M., Mosquera Losada, J., & Van der Sluis, S.M. (2012). Emission factors for methane and nitrous oxide from manure management and mitigation options. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 9 (1), 139-146. Doi: 10.1080/1943815X.2012.698990.
- Kasper, G.J., Blanken, K., & Bokma, S (2010). De urease-activiteit van Comfort Slat Mats in vergelijking met betonrooster in rundveestallen. Lelystad. Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek.
- Mosquera Losada, J.Hol, J.M.G., Huis in't Veld, J.W.H., Ploegaert, J.P.M., & Ogink, N.W.M. (2012). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem : meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Lelystad. Rapport 617. Wageningen UR Livestock Research.
- Šebek, L.B., Mosquera Losada, J., & Bannink, A. (2016). Rekenregels voor de enterische methaanemissie op het melkveebedrijf en reductie van de methaanemissie via mest-handling; het handelingsperspectief van het voerspoor inzichtelijk maken met de Kringloopwijzer. Lelystad. Rapport 976. Wageningen Livestock Research.
- Van den Hoorn, C.J., Blanken, K., & Gunnink, H. (2009). Oriënterende emissiemetingen aan de Comfort Slat Mats voor melkvee. Animal Sciences Group van Wageningen UR Rapport 225.

10 Beperking van de urease-activiteit met zuur en ontsmettingsmiddelen

A.J.A. Aarnink, K. Blanken, S. Bokma, D. Puente-Rodríguez, A.P. Bos.

Samenvatting

Eén van de opties om de ammoniakemissie te reduceren is het beperken van de urease-activiteit. Urease is het enzym dat zorgt voor de omzetting van ureum naar ammoniak. Zonder urease zal dit proces niet plaatsvinden en zal er vrijwel geen ammoniakemissie zijn. Het doel van dit onderzoek is het effect bepalen van het behandelen van de mestvloer in melkveestallen met zuur of ontsmettingsmiddel op de urease-activiteit. De verwachting is dat door deze behandeling de opbouw van urease-activiteit op de mestvloer kan worden voorkomen. In het eerste deel van het onderzoek zijn 4 zuur/desinfectie behandelingen uitgetest (zoutzuur, formaldehyde, perazijnzuur en geëlektrolyseerd water (EOW)) en vergeleken met een controlebehandeling (water). In het tweede deel van het onderzoek is voor de meest perspectiefvolle behandelingen (perazijnzuur en EOW) de werkingsduur onderzocht op de Ergo-vloer.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek konden de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is een sterk effect van vloertype op de urease-activiteit in melkveestallen. Des te gladder de vloer des te lager de urease-activiteit.
- Door toepassing van een zuur/desinfectie middel kan de urease-activiteit sterk worden beperkt op de standaard roostervloer en de Ergo-vloer. Echter, alleen voor perazijnzuur was dit verschil statistisch significant. Voor de Groene Vlag vloer werd geen effect gevonden van het zuur/desinfectie middel, waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij de controle-behandeling al een zeer geringe urease-activiteit werd gemeten.
- De effectiviteit van geëlektrolyseerd water (EOW) neemt af in de tijd. Daarom moet dit middel direct na productie worden toegepast.
- Behandeling van de (Ergo-)vloer met geëlektrolyseerd water (EOW) of perazijnzuur heeft een werkingsduur op de urease-activiteit van tenminste twee dagen.

10.1 Inleiding

Eén van de opties om de ammoniakemissie te reduceren is het beperken van de urease-activiteit. Urease is het enzym dat zorgt voor de omzetting van ureum naar ammoniak. Zonder urease zal dit proces niet plaatsvinden en zal er vrijwel geen ammoniakemissie zijn. Er kan dan alleen nog ammoniak emitteren die al aanwezig is in de vers uitgescheiden urine. Bij varkens kan dit afhankelijk van het voer variëren van 2,5 tot 8% van de totale N-uitscheiding via de urine (Canh et al., 1997). Bij melkvee lijkt dit nog geringer te zijn; volgens een literatuurstudie minder dan 3% (Dijkstra et al., 2013). Urease is een enzym dat vrijwel overal voorkomt en op een vloer waar regelmatig mest en urine op valt zal de urease-activiteit zich geleidelijk aan opbouwen tot een bepaald maximum stabiel niveau (Elzing & Swierstra, 1993). De snelheid van de omzetting van ureum naar ammonium is een maat voor de urease-activiteit (Braam & Swierstra, 1999). De urease-activiteit wordt beïnvloed door de temperatuur en de pH van de vloeistof en door de hoeveelheid urease in de vloeistof (Muck, 1982) of op de vloer (Braam & Swierstra, 1999). Uit onderzoek blijkt dat beperking van de urease-activiteit op een roostervloer tot een belangrijke reductie van de ammoniakemissie kan leiden. Ogink en Kroodsma (1996) vonden een reductie van de ammoniakemissie van 50% door de roostervloer regelmatig te besproeien met water en een formaldehyde-oplossing (formaline). Volgens deze auteurs werd de reductie vooral verkregen door een verlaging van de vloeremissie. Het probleem van toepassing van de methode in voornoemd onderzoek is dat door het vaste sproeisysteem relatief veel water en formaline nodig zijn. Toepassing van veel formaline kan leiden tot ontwikkeling van schadelijke gassen. Vergelijking van de gemeten urease-activiteit op een regelmatig bevuilde roostervloer (Braam & Swierstra, 1999) met de urease-activiteit van verse feces (Muck, 1982) laat

zien dat deze laatste veel geringer is dan de eerste. De urease-activiteit van verse feces wordt echter sterk beïnvloed door de hoeveelheid feces die gemengd zijn met de urine (Muck, 1982). De urease-activiteit kan enerzijds geremd worden door direct aan te grijpen op het enzym m.b.v. urease-remmers (Smits & Bokma, 2008; Varel & Byrnes, 1997). Anderzijds kan de urease-activiteit worden gereduceerd door de bacteriën te doden die deze enzymen produceren. Op een vloer waar regelmatig mest en urine op valt, zal zich een biofilm ontwikkelen met bacteriën die urease kunnen vormen. Zoals hierboven aangegeven zal dit leiden tot een geleidelijke opbouw van urease-activiteit nadat een nieuwe (rooster)vloer in gebruik is genomen. Deze opbouw zal doorgaan totdat een bepaald maximum, relatief stabiel niveau is bereikt (Elzing & Swierstra, 1993). In dit onderzoek willen we ons concentreren op het voorkomen van de opbouw van de biofilm op de vloer. Dit willen we doen door de vloer regelmatig en intensief te behandelen met een zuur of met een desinfectiemiddel. Dit zuur of ontsmettingsmiddel zou in de stal op de vloer aangebracht kunnen worden met behulp van een mestrobot die de vloer intensief borstelt met een geringe hoeveelheid zuur of ontsmettingsmiddel. In dit onderzoek zal worden bepaald welk middel het meest geschikt is om ingezet te worden en met welke frequentie dit moet worden toegepast. De geschiktheid van het middel wordt niet alleen bepaald door de mate van remming van de urease-activiteit, maar tevens door het eventueel te verwachten effect op de aantasting van de vloer en het effect op de mestkwaliteit.

Het doel van dit onderzoek is het effect bepalen van het behandelen van de mestvloer in melkveestallen met zuur of ontsmettingsmiddel op de urease-activiteit. De verwachting is dat door deze behandeling de opbouw van urease-activiteit op de mestvloer kan worden voorkomen. Het uiteindelijke doel is om de ammoniakemissie vanaf de vloer tot bijna nul te reduceren door: 1) te voorkomen dat urease-activiteit zich opbouwt op de mestvloer en 2) door te zorgen dat zo min mogelijk feces zich mengen met de urine, zodat ook de urease-activiteit van de verse feces tot een minimum wordt beperkt.

In het eerste deel van het onderzoek zijn 4 zuur/desinfectie-behandelingen uitgetest (zoutzuur, formaldehyde, perazijnzuur en geëlektrolyseerd water (EOW)) en vergeleken met een controlebehandeling (water). In het tweede deel van het onderzoek is voor de meest perspectievolle behandelingen (perazijnzuur en EOW) de werkingsduur onderzocht op de Ergo-vloer. Hiermee kan de vraag worden beantwoord hoe vaak een behandeling moet worden toegepast voor een constant lage urease-activiteit. In de discussieparagraaf wordt het effect van de verlaagde urease-activiteit op de (modelmatig bepaalde) ammoniakemissie aangegeven.

10.2 Materiaal en methode

10.2.1 Vloertypen

Het onderzoek is uitgevoerd in 3 melkveestallen. De melkveestallen hebben de volgende vloeren:

1. Standaard betonnen roostervloer.
2. Ergo-vloer (sleufvloer van Anders Beton, Meer, België); vloer van troffelbeton; balkbreedte 14,5 cm; sleufbreedte 3,0 cm; sleufdiepte? (zie tekening) 6 maanden? in gebruik.
3. Betonnen roostervloer met rubber toplaag (Groene Vlag Plus; Den Boer Beton,); balkbreedte 14,9 cm; spleetbreedte 3,6 cm; 3 jaren in gebruik.

1)



2)



3)



Figuur 24 Typen vloeren in dit onderzoek; 1) standaard betonnen roostervloer; 2) Ergo sleufvloer van Anders Beton; 3) Betonnen roostervloer met rubberen toplaag (Groene Vlag Plus).

10.2.2 Te testen middelen

De volgende middelen zijn getest:

- Zoutzuuroplossing (HCl) in een concentratie van 0,010 M. De eis is dat de pH groter of gelijk moet zijn dan 2, vanwege de aantasting van het beton. Dit betekent dat de zoutzuurconcentratie max. 0,01 M mag zijn.
- Formaldehyde-oplossing in een concentratie van 4,0 g/L (0,4% w/w; verdund vanuit product Kusuri Formalin 30%, Devon, UK; samenstelling: 30% Formaldehyde, 8% methanol, 62% water). In het onderzoek van Ogink en Kroodsmas (1996) werd dezelfde concentratie gebruikt. In voornoemd onderzoek is het effect van deze behandeling op de urease-activiteit niet bepaald, alleen het overall effect op de ammoniakemissie. Hierbij werd de roostervloer elke 2 uur gesproeid met de formaldehyde-oplossing. In totaal werd in het onderzoek van Ogink en Kroodsmas (1996). 72 g formaldehyde en 20 L water per koe per dag aangewend.
- Perazijnzuur ($C_2H_4O_3$) oplossing (1% w/w). Een 1% oplossing van perazijnzuur heeft een pH van 3,1 (Productnaam Divosan Activ, JohnsonDiversey, Utrecht). Divosan Activ wordt toegepast in de levensmiddelenindustrie bij het desinfecteren van oppervlakken die in aanraking komen met voedingsmiddelen en dranken. De voorgeschreven concentratie is afhankelijk van inwerktijd, temperatuur en aard van de af te doden micro-organismen. Hoewel Divosan Activ reeds bij lage temperaturen (5-20°C) een zeer grote werkzaamheid heeft, wordt de desinfectietijd aanzienlijk bekort door het toepassen bij temperaturen tot 40°C.
- Geëlektrolyseerd water (EOW, electrolyzed oxidizing water; pH 6,8 – 7,0; oxidation reduction potential (ORP) > 930; FAC 500 ppm; Aquaiox BV, Soest). Een NaCl oplossing wordt geëlektrolyseerd waardoor verschillende desinfecterende componenten ontstaan, zoals hypochloorzuur (HClO), waterstofperoxide (H_2O_2) en ozon (O_3). Een voordeel van dit systeem van ontsmetten is dat er geen chemische restproducten in de mest komen, behalve enig zout (NaCl). Er is een afspraak gemaakt met het bedrijf Aquaiox voor de levering van EOW.

10.2.3 Methode

10.2.3.1 Effect vloertype en zuur/desinfectie behandeling op urease-activiteit

De verschillende zuur-/desinfectiemiddelen zijn op 4 verschillende locaties in de stal op dezelfde dag getest. Deze metingen zijn op 2 dagen gedaan op de verschillende vloeren. Dit betekent dat er, inclusief de controlemetingen zonder toepassing van een middel, in totaal $5 \times 4 \times 3 \times 2 = 120$ metingen van de urease-activiteit zijn gedaan. De metingen zijn gestart 30 min na het aanbrengen van de vloeistof. Voor een beschrijving van de meting van de urease-activiteit zie bijlage 1. De volgende handelingen zijn achtereenvolgens gedaan voor de urease-activiteit bepaling, te starten op locatie 1:

- De behandelingen werden willekeurig toegewezen aan een plek binnen de locatie. De behandelingen werden op voldoende afstand van elkaar aangebracht, zodat ze elkaar niet beïnvloedden. Eén locatie had een totaal oppervlak van ca. 2 m².
- De behandelingsplek werd schoon gemaakt met een handschraper met een harde strip, vervolgens met een handschraper met rubberen strip en tenslotte met een natte borstel (Foto 1).
- Besproeien van het te bemeten oppervlak met het zuur/desinfectie middel. Het sproeien werd gedaan met een plantenspuit, één voor elke behandelvloeistof. Er werd een overmaat aan vloeistof gesproeid en wel ca. 25 ml. Op deze manier werd het oppervlak volledig bevochtigd met de behandelvloeistof. Het gewicht van de plantenspuit voor en na sproeien werd bepaald en genoteerd.
- Gedurende 30 min. kon de vloeistof inwerken op de vloer. Vervolgens werden de plekken schoon gemaakt met de handschraper met rubberen strip.
- De betonnen ring met rubber afdichting werd geplaatst en gevuld met 55 ml ureumoplossing (10 g ureum-N/L) en dit werd licht gemengd (Foto 2).
- Direct hierna werd een 5 ml monster genomen met een pipet op t=0 en dit werd in een buisje gedaan met 1 ml 1 M zoutzuur om de urease-activiteit en daarmee de omzetting van ureum naar ammonium te stoppen. De cilinder werd hierna afgedekt met een plastic deksel.
- Op t=30 min werd, na menging, een tweede monster van 5 ml genomen en dit werd ook in een buisje gedaan met 1 ml 1 M zoutzuur om de urease-activiteit en daarmee de omzetting van ureum naar ammonium te stoppen.
- De monsters werden tijdens opslag bewaard bij 4°C tot de analyse van het ammonium-N gehalte met behulp van spectrofotometrie.



Foto 1 Links: handschraper met aan de ene kant een harde en aan de andere kant een rubberen strip. Rechts: borstel.



Foto 2 *Links: de plekken zijn schoon gemaakt met schraper en borstel en worden vervolgens besproeid met de behandelingsvloeistof. Rechts: de ringen zijn geplaatst voor de urease-metingen.*

10.2.3.2 Duur van effect zuur/desinfectie behandeling

De twee meest perspectiefvolle middelen, dit waren perazijnzuur en EOW, zijn vervolgens in de tijd onderzocht. Hierbij was de vraag hoe lang de werking van deze middelen duurde. Dit bepaald namelijk hoe vaak deze middelen moeten worden toegepast in de tijd om een constant lage urease-activiteit op de vloer te bewerkstelligen. Deze middelen zijn op één roostertype getest, namelijk op de Ergo vloer. Op 3 verschillende locaties in de stal is het effect van beide middelen op de urease-activiteit in de tijd gevolgd en vergeleken met een behandeling met alleen water. De volgende handelingen zijn hiervoor achtereenvolgens verricht:

- Er zijn 3 locaties in de stal geselecteerd waar de metingen zijn gedaan.
- Binnen deze locaties zijn 3 plekken geselecteerd voor het aanbrengen van de behandelingen. De plekken hebben de breedte van één roosterbalk en een lengte van ca. 30 cm. De behandelingen water, perazijnzuur en EOW zijn willekeurig toegewezen aan één van deze plekken.
- De volledige plek werd schoon gemaakt met een handschraper met een harde strip, vervolgens met een handschraper met rubberen strip en tenslotte met een schone natte borstel.
- De uitgangssituatie (t_{-1}) is vastgesteld door het meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure (zie par. 2.3.1).
- De plekken zijn ruim besproeid met de toegewezen vloeistoffen (ca. 60 ml).
- Gedurende 30 min. kon de vloeistof inwerken op de vloer. Vervolgens werden de plekken schoon gemaakt met de handschraper met rubberen strip.
- De nul-situatie (t_0) werd vastgesteld door het meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure (zie par. 2.3.1). t_0 is moment van start urease-meting.
- De urease-activiteit werd vervolgens gemeten op tijdstip t_1 (ca. 2 uur na t_0), t_2 (ca. 4 uur na t_0), t_3 (ca. 7 uur na t_0), t_4 (ca. 24 uur na t_0), t_5 (ca. 48 uur na t_0). Dit betekent $3 \times 3 \times 7 = 63$ metingen van de urease-activiteit.
- De achtereenvolgende urease-metingen werden over het oppervlak verdeeld; de lengte van 30 cm werd in 3 stukken verdeeld en op elk stuk werden 2 metingen gedaan en de meting t_{-1} werd op de middelste van deze 3 stukken gedaan. Dus als volgt: t_{-1} : midden; t_0 : links; t_1 : rechts; t_2 : midden; t_3 : links; t_4 : rechts; t_5 : midden.
- Voordat de urease-metingen zijn gedaan op tijdstippen t_1 t/m t_5 werd de plek schoongemaakt volgens de procedure die ook is gehanteerd voor tijdstip t_{-1} , dus: Schoonmaken van de plekken met een handschraper met een harde strip, vervolgens met een handschraper met rubberen strip en tenslotte met een schone natte borstel.

- Er werd steeds voor gezorgd dat er met een schone borstel en schoon water werd gewerkt, zodat er van daaruit geen urease-activiteit kon ontstaan. Ook werd gezorgd dat de binnenkant van de ringen goed waren gereinigd (met perazijnzuur, vervolgens nagespoeld met schoon water).

10.2.4 Data analyse

Gemiddelden en standaardfouten (s.e.) zijn berekend en weergegeven in grafieken. De effecten van de verschillende vloertypen en behandelingen zijn bepaald met de procedure 'General Analysis of Variance' van Genstat (Genstat Committee, 2015). Het volgende geneste model is hiervoor gebruikt:

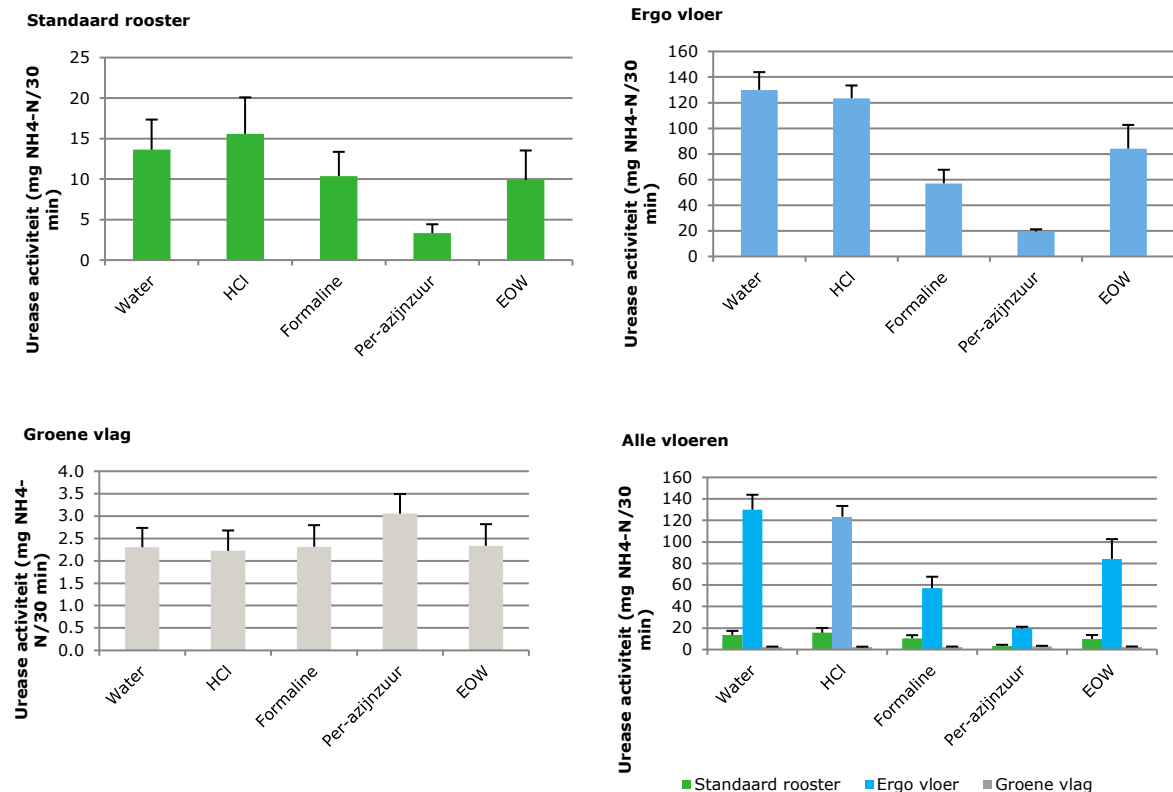
$$LN(Y_{ijk}) = Vloer_i + Vloer_i \cdot Behandeling_j + e_{ijk}$$

Waar: $LN(Y_{ijk})$ is de urease-activiteit (mg $NH_4-N/(L\ 30\ min)$); $Vloer_i$ is vloertype (i=standaard rooster, Ergo vloer, Groene Vlag); $Behandeling_j$ is het zuur/desinfectie middel (j=water, zoutzuur, formaldehyde, perazijnzuur, geëlektrolyseerd water); e_{ijk} is de restfout.

10.3 Resultaten

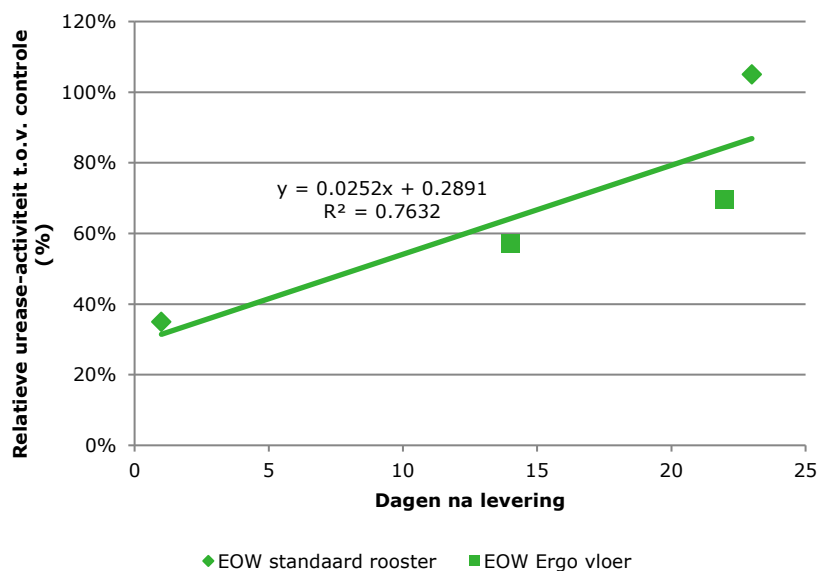
10.3.1 Effect vloertype en zuur/desinfectie behandeling op urease-activiteit

In figuur 25 worden de resultaten getoond van de gemeten urease-activiteit bij de verschillende vloertypen en zuur/desinfectie behandelingen. Uit deze figuur blijkt dat beide factoren een grote invloed hebben op de urease-activiteit en er is ook een duidelijke interactie tussen beide factoren. Er werd een significant effect van vloertype op de urease-activiteit gevonden ($P < 0,001$). De standaard roostervloer had een gemiddelde urease-activiteit van 10,6, de Ergo vloer van 78,5 en de Groene Vlag van 2,5 mg $NH_4-N/(L\ 30\ min)$. De urease-activiteit van de Ergo-vloer was significant hoger dan van de standaard roostervloer en deze was significant hoger dan van de Groene Vlag ($P < 0,001$). Er was een significante interactie tussen het vloer- en het behandelingseffect ($P < 0,001$). Voor de standaard roostervloer en de Ergo-vloer was de urease-activiteit bij de perazijnzuur behandeling significant lager dan bij alle andere behandelingen ($P < 0,001$). Voor de standaard roostervloer verschilden de andere behandelingen niet significant van elkaar. Voor de Ergo-vloer was de urease-activiteit bij gebruik van formaline ($P < 0,05$) significant lager dan bij de water- en zoutzuurbehandelingen. De overige behandelingen waren niet significant verschillend. Bij de Groene Vlag vloer verschilden geen enkele behandeling van de ander.



Figuur 25 De gemeten urease-activiteit bij de verschillende typen vloeren en de verschillende zuur/desinfectie behandelingen.

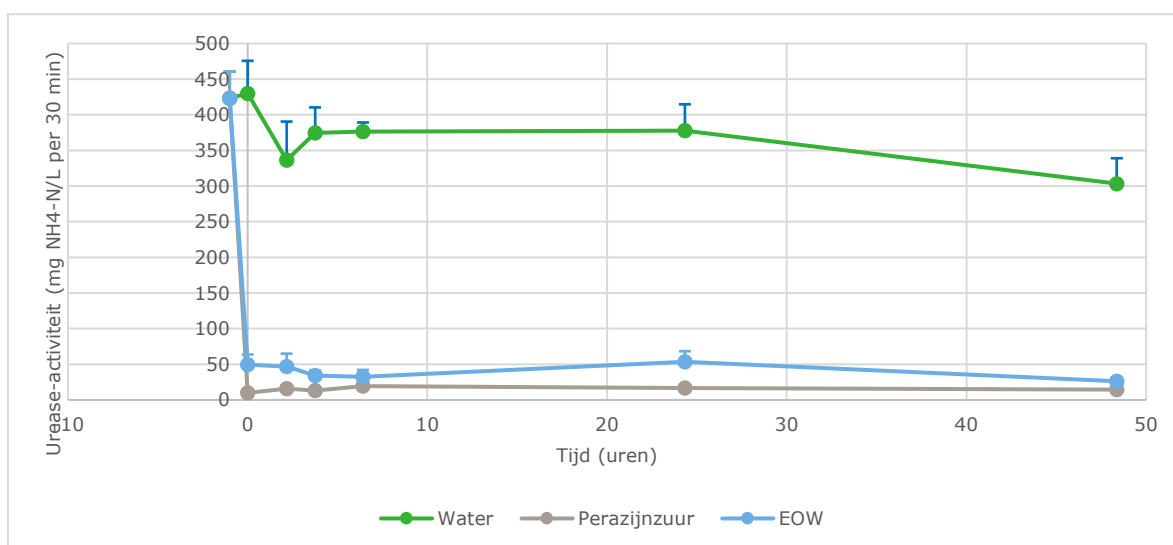
De effectiviteit van EOW neemt af in de tijd, omdat de gevormde producten uit de elektrolyse niet erg stabiel zijn. In dit deel van het onderzoek hebben we gebruik gemaakt van één batch EOW. In figuur 26 wordt weergegeven hoe het effect van EOW verloopt in de tijd voor de standaard roostervloer en de Ergo-vloer. Dit lijkt er op te wijzen dat de effectiviteit van EOW afneemt in de tijd. Drie en twintig dagen na levering kon er geen effect meer worden geconstateerd op de standaard roostervloer, terwijl op dag 1 na levering de urease-activiteit met ca. 65% was gereduceerd.



Figuur 26 Effect van geëlektrolyseerd water (EOW) op de urease-activiteit, relatief ten opzichte van de controle behandeling (met water) voor de standaard roostervloer en de Ergo-vloer.

10.4 Duur van effect zuur/desinfectie behandeling

In figuur 27 worden de resultaten getoond van het verloop van de urease-activiteit in de tijd op de Ergo-vloer bij de behandelingen water, perazijnzuur en geëlektrolyseerd water. Uit deze figuur blijkt dat ondanks de grondige reiniging met schraper en borstel de urease-activiteit (op t_{-1}) hoog was (gemiddeld 423 mg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{L } 30 \text{ min})$). Door behandeling met alleen water daalde de urease-activiteit licht (respectievelijk 430 en 337 mg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{L } 30 \text{ min})$ op t_0 en t_1). Daarna bleef de urease-activiteit van deze controle-behandeling redelijk stabiel. Door behandeling met perazijnzuur en EOW daalde de urease-activiteit zeer sterk, respectievelijk naar 9,9 en 49,5 mg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{L } 30 \text{ min})$ op t_0 . Daarna bleef de urease-activiteit voor deze behandelingen redelijk stabiel op dit lage niveau; voor perazijnzuur variërend tussen minimaal 13,0 en maximaal 19,4 mg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{L } 30 \text{ min})$ en voor EOW variërend tussen minimaal 26,2 en maximaal 46,7 mg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{L } 30 \text{ min})$. Op tijdstippen t_0 tot t_5 was de urease-activiteit van de perazijnzuur en EOW behandelingen sterk significant lager dan de behandeling met water ($P < 0,001$). De urease-activiteit na de perazijnzuur behandeling was voor alle tijdstippen lager dan na de EOW behandeling ($P < 0,05$), alleen voor tijdstip t_3 was dit verschil een tendens ($P < 0,10$).



Figuur 27 Het verloop van de urease-activiteit in de tijd op de ERGO-vloer bij de behandelingen water, perazijnzuur en geëlektrolyseerd water. Op tijdstip t_{-1} is de urease-activiteit voor alle behandelingen gelijk.

10.5 Discussie

10.5.1 Gemeten resultaten

Uit dit onderzoek blijkt dat het vloertype en de zuur/desinfectie behandeling een belangrijke invloed hebben op de urease-activiteit op de vloer. Er is ook een duidelijke interactie tussen deze twee factoren. Perazijnzuur, bijvoorbeeld, heeft een sterk verlagend effect op de urease-activiteit bij de standaard roostervloer en de ERGO-vloer, maar geen effect bij de Groene Vlag vloer. De verschillen tussen de verschillende vloertypen lijken vooral verklaard te kunnen worden door de ruwheid van de vloer. Dat ruwheid van de vloer een belangrijke factor is die de urease-activiteit bepaald werd eerder aangetoond door (Braam & Swierstra, 1999). De Ergo-vloer had een zeer ruw oppervlak. Dit ruwe oppervlak is bewust gecreëerd om een goede beloopbaarheid van de melkkoeien te waarborgen. De ruwheid zal in het verloop van de tijd echter wel afnemen als gevolg van slijtage. De standaard roostervloer was relatief glad. Dit was ook de reden dat de ondernemer deze roostervloer in een groot deel van de stal had voorzien van groeven. De urease-activiteit is gemeten op stukken roostervloer waar geen groeven in waren gemaakt (aan de kopse einden en bij de krachtvoerstations). De Groene Vlag vloer heeft een zeer glad oppervlak. De beloopbaarheid van deze vloer wordt geborgd door het

feit dat de vloer indrukbaar is. In eerder onderzoek werd ook vastgesteld dat de urease-activiteit van deze vloer veel lager was dan van een standaard betonnen roostervloer (Kasper et al., 2010). De zuur/desinfectie behandelingen hadden een duidelijk effect op de urease-activiteit voor de standaard roostervloer en de Ergo-vloer, maar niet voor de Groene Vlag vloer. Blijkbaar is de gemeten urease-activiteit op de Groene Vlag vloer gelijk aan de achtergrond activiteit, waardoor een behandeling geen effect meer sorteert. De achtergrond activiteit kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden doordat er enige bevuilding van buitenaf in de ureumoplossing terecht komt (b.v. enig stof). Dit is bij praktijkmetingen nooit helemaal te voorkomen.

Verrassend, in positieve zin, is de bevinding dat de effecten van perazijnzuur en EOW langdurig doorwerken. Na twee dagen konden we nog geen vermindering van het effect waarnemen. Achteraf gezien hadden we nog langer moeten meten om te kunnen bepalen wanneer de urease-activiteit weer toeneemt. Dit is in een vervolgonderzoek bepaald (zie hieronder). Daarmee kan dan ook precies worden bepaald hoe vaak het zuur/desinfectie middel moet worden toegepast om een constant lage urease-activiteit te bewerkstelligen. Op basis van de huidige resultaten kan worden vastgesteld dat dit in ieder geval niet vaker hoeft te zijn dan 1x per 2 dagen. In de periode tussen deze metingen is de urease-activiteit toegenomen van 130 naar ca. 400 mg NH₄-N/(L 30 min). Deze verhoging zou ook voor een deel verklaard kunnen worden door verschillen in temperatuur en/of de pH van het vloeroppervlak.

10.5.2 Effect op de ammoniakemissie

Om het effect van de urease-activiteit op de ammoniakemissie te bepalen zijn berekeningen gemaakt met een simulatiemodel dat eerder is beschreven door Aarnink en Elzing (Aarnink & Elzing, 1998) voor een varkensstal en dat vergelijkbaar is met het model beschreven door (Monteny et al., 1998) voor melkveestallen. De inputgegevens voor de modelberekeningen zijn weergegeven in Bijlage 1. Uit de berekeningen blijkt dat een verlaging van de urease-activiteit een lagere initiële ammoniakemissie geeft door de tragere omzetting van ureum naar ammonium-N. Blijft de urineplas echter lang genoeg emitteren dan is het uiteindelijke effect van een verlaagde urease-activiteit relatief gering. Dit laatste is het geval wanneer de vloer niet wordt schoongemaakt en de urineplas alleen via vervanging door een andere plas kan worden verwijderd. De gemiddelde duur hiervan is volgens Monteny et al. (1998) ca. 10 uur. Het effect van een verlaging van de urease-activiteit wordt groter naarmate de urineplas sneller wordt verwijderd. Het precieze effect op de totale ammoniakemissie kan modelmatig ingeschat worden, of via metingen moeten worden gevalideerd.

10.6 Conclusies

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is een sterk effect van vloertype op de urease-activiteit in melkveestallen. Des te gladder de vloer des te lager de urease-activiteit.
- Door toepassing van een zuur/desinfectie middel kan de urease-activiteit sterk worden beperkt op de standaard roostervloer en de Ergo-vloer. Echter, alleen voor perazijnzuur was dit verschil statistisch significant. Voor de Groene Vlag vloer werd geen effect gevonden van het zuur/desinfectie middel, waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij de controle-behandeling al een zeer geringe urease-activiteit werd gemeten.
- De effectiviteit van geëlektrolyseerd water (EOW) neemt af in de tijd. Daarom moet dit middel direct na productie worden toegepast.
- Behandeling van de (Ergo-)vloer met geëlektrolyseerd water (EOW) of perazijnzuur heeft een werkingsduur op de urease-activiteit van tenminste twee dagen.
- Deze innovatieve toepassing is verzilverd in een patent (Aarnink & Puente Rodríguez 2017).

10.7 Literatuur

- 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.
- Aarnink A.J.A. & Puente-Rodríguez D. (2017). Reduction of ammonia emission from areas where animals are maintained. International patent application PCT/NL2018/050820.
- Braam, C.R., Swierstra, D. 1999. Volatilization of ammonia from dairy housing floors with different surface characteristics. *J. Agric. Engng Res.* 72: 59-69.
- Canh, T.T., Verstegen, M.W.A., Aarnink, A.J.A., Schrama, J.W. 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *J. Anim. Sci.* 75: 700-706.
- Dijkstra, J., Oenema, O., Van Groenigen, J., Spek, J., Van Vuuren, A., Bannink, A. 2013. Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. *Animal*, 7(s2), 292-302.
- Elzing, A., Swierstra, D. 1993. Ammoniakemissie-metingen in een modelsysteem van een varkensstal: de invloed van vloerbevuilding en vloertype. Rapport 93-2, IMAG-DLO, Wageningen.
- Genstat Committee. 2015. GenStat Release 18.1. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, UK.
- Kasper, G., Blanken, K., Bokma, S. 2010. De urease-activiteit van Comfort Slat Mats in vergelijking met betonrooster in rundveestallen. Wageningen UR Livestock Research. Rapport 390.
- Monteny, G.J., Schulte, D.D., Elzing, A., Lamaker, E.J.J. 1998. A conceptual mechanistic model for the ammonia emissions from free stall cubicle dairy cow houses. *Transaction of the ASAE*, 41(1), 193-201.
- Muck, R. 1982. Urease activity in bovine feces. *Journal of Dairy Science*, 65(11), 2157-2163.
- Ogink, N.W.M., Kroodsmma, W. 1996. Reduction of ammonia emission from a cow cubicle house by flushing with water or a formalin solution. *Journal of agricultural engineering research*, 63(3), 197-204.
- Smits, M.C.J., Bokma, S. 2008. Verkenning perspectief van urease-remmers voor beperking van ammoniakemissie uit Nederlandse melkveestallen. Wageningen UR Livestock Research.
- Snoek, J.W. 2016. Refining a model-based assessment strategy to estimate the ammonia emission from floors in dairy cow houses. in: PhD thesis, Wageningen University, the Netherlands, Vol. PhD, PhD thesis, Wageningen University, the Netherlands, pp. 182.
- Varel, V.H.J.A.N., Byrnes, B.H. 1997. Urease inhibitors reduce ammonia emissions from cattle manure. In: J.A.M. Voermans and G.J. Monteny, *Proceedings of the International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities*, p. 721-728, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen.

10.8 Beperking urease-activiteit op een betonnen sleuenvloer met een desinfectiemiddel

10.8.1 Inleiding

Vanuit voorgaande onderzoeken zijn nog een aantal vragen overgebleven en een aantal nieuwe vragen voortgekomen die beantwoord zouden moeten worden om een goede richting te geven aan de ontwikkeling van een totaal systeem om de ammoniakemissie uit melkveestallen te reduceren.³¹ Naast het regelmatig toepassen van een desinfectiesysteem is het voor het verlagen van de ammoniakemissie van belang dat de vloer regelmatig en goed gereinigd kan worden en dat er geen andere emissiebronnen aanwezig zijn in de stal, b.v. vanuit de mestkelder of vanaf de zijkanalen en onderkant van een roostervloer. Een betonnen sleuenvloer, zoals de ERGO-vloer, in combinatie met een goede schoonmaakrobot (combinatie van schrapen en nat borstelen), lijkt goede perspectieven te bieden om de ammoniakemissie sterk te verlagen. Echter, niet alleen de reinigingsmethode (combinatie van schuiven en borstelen bijvoorbeeld) is van belang, maar ook het interval van reiniging. Dit onderzoek levert, m.b.v. modelberekeningen, ook de kennisbasis die is vereist om deze vragen te kunnen beantwoorden.

³¹ Een andere kansrijke traject dat momenteel wordt onderzocht is (ook) gebaseerd op een dichte vloer met een toplaag van polypropyleen ('Soft Dairy Floor'). Voor dit ontwerp zouden, in principe, geen biocide middelen toegepast hoeven te worden.

Het doel van dit onderzoek was te onderzoeken of door regelmatige behandeling met een desinfectiemiddel de urease-activiteit op een ERGO-vloer sterk is te verlagen (gebruikte vloer) of zeer laag is te houden (nieuwe vloer) en hoelang een behandeling effectief is, zowel op een nieuwe, al dan niet gesealde / opgeruwde vloer, als op een gebruikte vloer. Tevens werden 2 EOW vloeistoffen met elkaar vergeleken t.a.v. het effect op verlaging van de urease-activiteit.

10.8.2 Materiaal en methode

10.8.2.1 Stallen

Het onderzoek is uitgevoerd in 1 melkveestal. Deze melkveestal heeft de volgende varianten van de ERGO-vloer (Foto 3):

1. Standaard ERGO-vloer die meer dan een paar maanden in gebruik is.
2. Standaard ERGO-vloer die nieuw is gelegd in de stal.
3. Nieuwe ERGO-vloer (speciaal geproduceerde voor dit onderzoek) zonder troffelbeton toplaag.
4. Nieuwe gesealde ERGO-vloer.



Foto 3 *Impressie van de ERGO-vloer.*

10.8.2.2 Te testen middelen

De volgende middelen zijn getest:

1. Water, als controlebehandeling
2. Perazijnzuur ($C_2H_4O_3$) oplossing (1% w/w). Een 1% oplossing van perazijnzuur heeft een pH van 3,1 (Productnaam Divosan Activ, JohnsonDiversey, Utrecht). Divosan Activ wordt toegepast in de levensmiddelenindustrie bij het desinfecteren van oppervlakken die in aanraking komen met voedingsmiddelen en dranken. De voorgeschreven concentratie is afhankelijk van inwerktijd, temperatuur en aard van de af te doden micro-organismen. Hoewel Divosan Activ reeds bij lage temperaturen (5-20°C) een zeer grote werkzaamheid heeft, wordt de desinfectietijd aanzienlijk bekort door het toepassen bij temperaturen tot 40°C.
3. Geëlektrolyseerd water 1 (EOW1, electrolyzed oxidizing water; pH 6,8 – 7,0; oxidation reduction potential (ORP) > 930; FAC 500 ppm; Aquaiox BV, Soest). Een NaCl oplossing wordt geëlektrolyseerd waardoor verschillende desinfecterende componenten ontstaan, zoals hypochloorzuur (HClO), waterstofperoxide (H_2O_2) en ozon (O_3). Een voordeel van dit systeem van ontsmetten is dat er geen chemische restproducten in de mest komen, behalve enig zout (NaCl). Er is een afspraak gemaakt met het bedrijf Aquaiox voor de levering van EOW.
4. Geëlektrolyseerd water 1/2 (EOW1/2). Deze behandeling bestaat uit een combinatie van EOW1 en EOW2. EOW2 heeft een hoge pH (pH 10-12) en heeft een sterk reinigende werking; in een test gaan we het gecombineerde effect van deze twee behandelingen onderzoeken. (De ORP en FAC gegevens moeten nog aangeleverd worden door de leverancier Aquaiox BV, Soest).

10.8.2.3 Methode

Testen van de werkingsduur op een gebruikte standaard ERGO-vloer (vloervariant 1)

De controle- en desinfectiemiddelen zijn op 4 verschillende plekken op vloervariant 1 getest. Hierbij werd de urease-activiteit in de tijd gevolgd, voor de behandeling, direct na de behandeling en gedurende 32 dagen na de behandeling. De volgende handelingen zijn achtereenvolgens verricht:

- Selecteren van 4 locaties per vloer waar de metingen worden gedaan.
- Binnen deze locaties 3 plekken selecteren en markeren voor het aanbrengen van de behandelingen (water, perazijnzuur, EOW1). De plekken hebben de breedte van één balk en een lengte van ca. 30 cm.
- De vloeistoffen water, perazijnzuur en EOW1 worden willekeurig toegewezen aan de 3 plekken per locatie.
- Hier wordt eventueel een t_{-2} uitgevoerd, waarbij de vloer alleen wordt gereinigd met een harde schraper, vervolgens meten urease-activiteit.
- Schoonmaken van de plekken met een handschraper met een harde strip, vervolgens met een handschraper met rubberen strip en tenslotte met een schone natte borstel. Voor de standaard schoonmaakprocedure zie bijlage 2. De vloer grondig schoonmaken met de natte borstel.
- De uitgangssituatie (t_{-1}) vast stellen door het meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure.
- De plekken ruim besproeien met de toegewezen vloeistoffen (ca. 50 ml). Het gewicht van de plantenspuit voor en na sproeien wordt bepaald en genoteerd.
- 30 min. wachten.
- De vloeistof wordt verwijderd met de handschraper met rubberen strip.
- De nul-situatie (t_0) wordt vastgesteld door het meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure. t_0 is moment van start urease-meting.
- De urease-activiteit wordt vervolgens gemeten op tijdstip t_1 (4 uur na t_0), t_2 (24 uur na t_0), t_3 (48 uur na t_0), t_4 (96 uur = 4 dagen na t_0), t_5 (192 uur = 8 dagen na t_0), t_6 (384 uur = 16 dagen na t_0), t_7 (768 uur = 32 dagen na t_0), indien op t_7 nog verlaagde urease-activiteit: t_8 (1536 uur = 64 dagen na t_0). Dit betekent $4 \times 3 \times (9 \text{ of } 10) = 108 \text{ of } 120$ metingen van de urease-activiteit.
- De achtereenvolgende urease-metingen mogen steeds op dezelfde plek worden gedaan.
- Tussen de urease-metingen moeten de koeien toegang krijgen tot de vloer waar de metingen worden gedaan, zodat deze bevuild worden.
- Voordat de urease-metingen worden gedaan op tijdstippen t_1 t/m t_7/t_8 moet de plek als volgt worden schoongemaakt: schoonmaken van de plekken met een handschraper met een harde strip, vervolgens met een handschraper met rubberen strip en tenslotte met een schone natte borstel.
- Het is belangrijk om steeds met een schone borstel te werken en ook met schoon water, zodat er van daaruit geen urease-activiteit kan ontstaan. Ook zorgen dat de binnenkant van de ringen goed zijn gereinigd (b.v. met perazijnzuur, maar wel naspoelen met schoon water).

Verkrijgen zeer lage urease-activiteit op gebruikte betonnen vloer door intensief behandelen met desinfectiemiddel

De controle- en desinfectiemiddelen zijn op 4 verschillende plekken op een gebruikte (langer dan 2 maanden in gebruik zijnde) ERGO-vloer getest (vloervariant 1). Hierbij is de urease-activiteit gemeten in verschillende stappen van intensieve reiniging. De volgende handelingen zijn achtereenvolgens verricht:

- Selecteren van 4 locaties op de gebruikte ERGO-vloer waar de metingen worden gedaan.
- Binnen deze locaties 4 plekken selecteren en markeren voor het aanbrengen van de behandelingen (water, perazijnzuur, EOW1, EOW1/2). De plekken hebben de breedte van één balk en een lengte van ca. 30 cm.
- De vloeistoffen water, perazijnzuur, EOW1 en EOW1/2 worden willekeurig toegewezen aan de 4 plekken per locatie.
- Schoonmaken van de plekken met een handschraper met een harde strip, vervolgens met een handschraper met rubberen strip en tenslotte met een schone natte borstel. De vloer grondig schoonmaken met de natte borstel.
- De uitgangssituatie (t_{-1}) vast stellen door het meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure.

- De plekken ruim besproeien met de toegewezen vloeistoffen (ca. 50 ml). EOW1/2 start met sproeien met EOW2. Het gewicht van de plantenspuit voor en na sproeien wordt bepaald en genoteerd.
- 30 min. wachten.
- De vloeistof wordt verwijderd met de handschraper met rubberen strip.
- De nul-situatie (t_0) wordt vastgesteld door het meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure.
- De plekken worden intensief geborsteld met het controle- of desinfectiemiddel. Vervolgens de plekken ruim besproeien met de vloeistof (ca. 50 ml). Voor behandeling EOW1/2 wordt EOW2 ingezet.
- 30 min. wachten, vervolgens wordt de vloeistof verwijderd met de handschraper met rubberen strip. Direct hierna (t_1) meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure.
- De plekken worden direct hierna intensief geborsteld met het controle- of desinfectiemiddel. Vervolgens de plekken ruim besproeien met de vloeistof (ca. 50 ml). Voor behandeling EOW1/2 wordt EOW1 ingezet.
- 30 min. wachten, vervolgens wordt de vloeistof verwijderd met de handschraper met rubberen strip. Direct hierna (t_2) meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure.
- De plekken worden direct hierna intensief geborsteld met het controle- of desinfectiemiddel. Vervolgens de plekken ruim besproeien met de vloeistof (ca. 50 ml). Voor behandeling EOW1/2 wordt EOW1 ingezet.
- 30 min. wachten, vervolgens wordt de vloeistof verwijderd met de handschraper met rubberen strip. Direct hierna (t_3) meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure.
- Dit betekent $4 \times 4 \times 5 = 80$ metingen van de urease-activiteit.
- Tussen de urease-metingen krijgen de koeien geen toegang tot de vloer waar de metingen worden gedaan.
- Het is belangrijk om steeds met een schone borstel te werken en ook met schoon water, zodat er van daaruit geen urease-activiteit kan ontstaan. Ook zorgen dat de binnenkant van de ringen goed zijn gereinigd (b.v. met perazijnzuur, maar wel naspoelen met schoon water).

Behouden van zeer lage urease-activiteit op een nieuwe ERGO-vloer (vloervarianten 2, 3 en 4) door behandeling met desinfectiemiddel

De controle- en desinfectiemiddelen zijn op 3 verschillende plekken op de 3 vloervarianten (2, 3 en 4) van de ERGO-vloer getest. De vloer werd regelmatig behandeld met de vloeistof, waarna de urease-activiteit werd gemeten. De volgende handelingen zijn achtereenvolgens verricht:

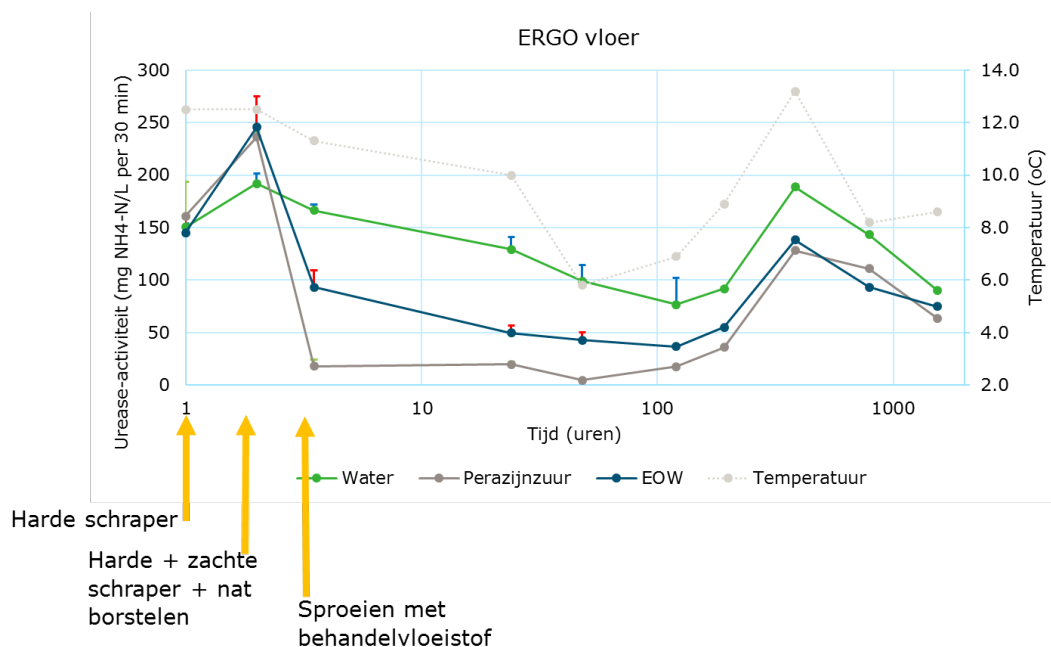
- Selecteren van 3 locaties op de drie nieuwe ERGO-vloeren waar de metingen worden gedaan.
- Binnen deze locaties 3 plekken selecteren en markeren voor het aanbrengen van de behandelingen (water, perazijnzuur, EOW1). De plekken hebben de breedte van één balk en een lengte van ca. 30 cm.
- De vloeistoffen water, perazijnzuur en EOW1 worden willekeurig toegewezen aan de 3 plekken per locatie.
- De uitgangssituatie (t_{-1}) vast stellen door het meten van de urease-activiteit volgens de standaard procedure.
- De plekken ruim besproeien met de toegewezen vloeistoffen (ca. 50 ml). Het gewicht van de plantenspuit voor en na sproeien wordt bepaald en genoteerd.
- 30 min. wachten.
- De vloeistof wordt verwijderd met de handschraper met rubberen strip.
- De nul-situatie (t_0) wordt vastgesteld door het meten van de urease-activiteit volgens de standaardprocedure.
- Op tijdstip t_1 (7 dagen na t_0) schoonmaken van de plekken met een handschraper met een harde strip, vervolgens met een handschraper met rubberen strip en tenslotte met een schone natte borstel.
- Meten van de urease-activiteit volgens standaard procedure.
- De plekken ruim besproeien met de toegewezen vloeistoffen (ca. 50 ml). Het gewicht van de plantenspuit voor en na sproeien wordt bepaald en genoteerd.
- 30 min. wachten.
- De vloeistof verwijderen met de handschraper met rubberen strip.
- Meten van de urease-activiteit volgens standaard procedure.

- Herhalen van cursief en onderstreepte punten op tijdstip t_2 (14 dagen na t_0), t_3 (21 dagen na t_0), t_4 (28 dagen na t_0). Dit betekent $3 \times 3 \times 3 \times 10 = 270$ metingen van de urease-activiteit.
- De achtereenvolgende urease-metingen mogen steeds op dezelfde plek worden gedaan.
- Tussen de urease-metingen moeten de koeien toegang krijgen tot de vloer waar de metingen worden gedaan, zodat deze bevuild wordt.

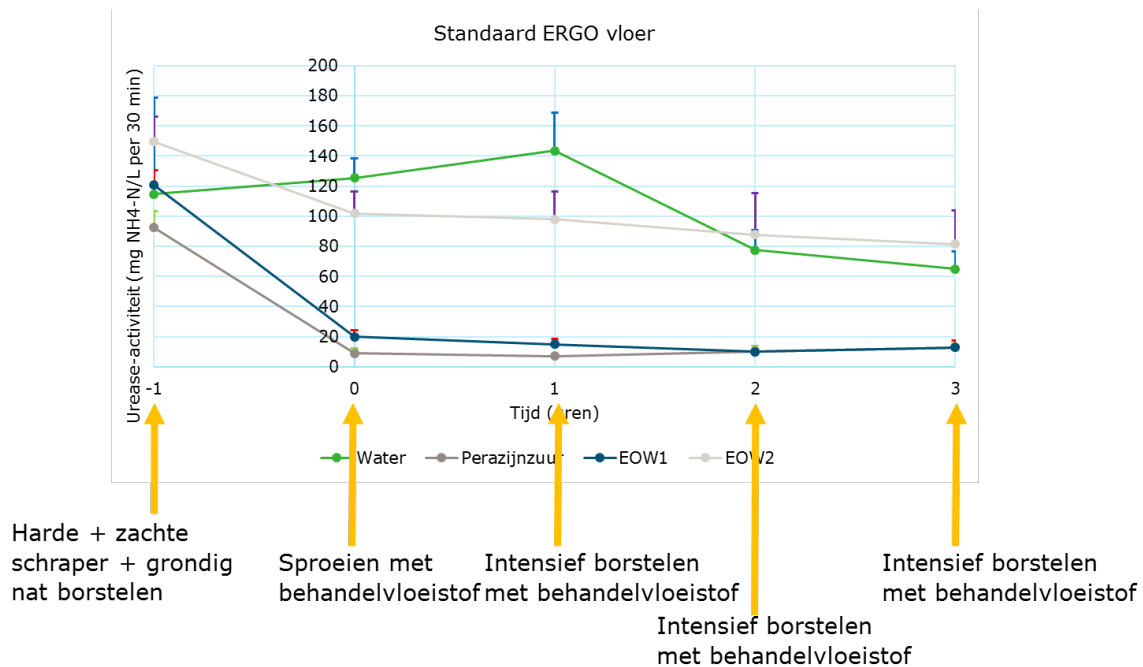
10.8.3 Resultaten en discussie

10.8.3.1 Hoe lang is het desinfectiemiddel effectief?

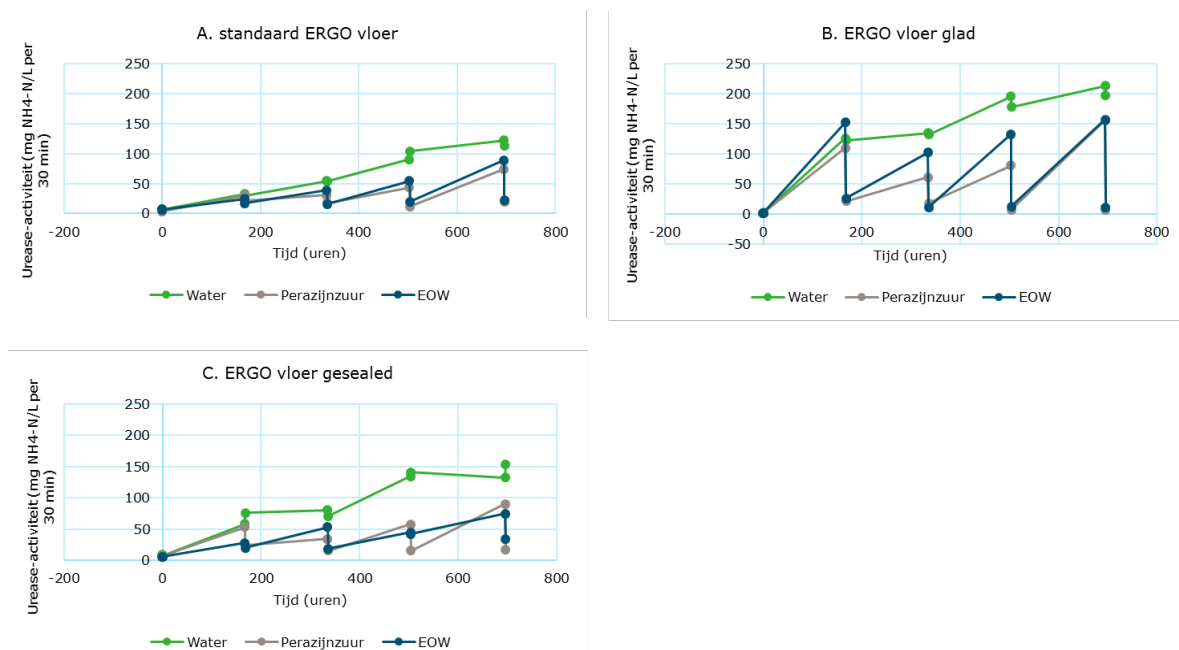
In Figuur 28 wordt het effect van een éénmalige behandeling van de desinfectiemiddelen perazijnzuur en EOW op de urease-activiteit weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de desinfectiemiddelen zelfs 1000 uren na behandeling nog een lagere urease-activiteit geven dan de controlebehandeling met water. Ca. 100 uren na de behandeling wordt het effect geleidelijk geringer. Uit Figuur 29 blijkt dat na de 1^e behandeling met desinfectiemiddel perazijnzuur een zeer lage urease-activiteit bewerkstelligd. Dit geldt in iets mindere mate ook voor EOW1. EOW2 liet geen verschil zien met de controlebehandeling met alleen water. Na meerdere malen behandelen liet EOW1 een vergelijkbare reductie zien in urease-activiteit als perazijnzuur. Het meerdere malen herhalen van de behandeling had geen additioneel effect op de urease-activiteit bij toepassing met perazijnzuur.



Figuur 28 Effect van een éénmalige behandeling van de desinfectiemiddelen perazijnzuur en EOW op de urease-activiteit. De tijd op de X-as is weergegeven op log-schaal.



Figuur 29 Verloop van de urease-activiteit na intensieve behandelingen met perazijnzuur of EOW (EOW1 en EOW2) in vergelijking tot een controlebehandeling met water.



Figuur 30 Verloop van de urease-activiteit op verschillende typen ERGO vloeren na wekelijkse behandeling met perazijnzuur of EOW.

In Figuur 30 wordt het verloop van de urease-activiteit weergegeven voor de 3 typen geteste ERGO vloeren na een wekelijkse behandeling met perazijnzuur of EOW. Hieruit blijkt dat de gladde ERGO vloer na een behandeling met perazijnzuur of EOW een lagere urease-activiteit heeft dan de standaard en gesealde ERGO vloer. Opvallend is echter dat op de gladde ERGO vloer de urease-activiteit na een week hoger is dan op de standaard en gesealde ERGO vloer. Het is op dit moment niet helemaal duidelijk wat daar de oorzaak van is. Misschien heeft het te maken met een verschil in chemische samenstelling van het oppervlak van de vloer (hogere of lagere pH). Verder is het opvallend dat na elke behandeling met het desinfectiemiddel de urease-activiteit weer op hetzelfde lage niveau uitkomt. Dit geldt voor zowel perazijnzuur als EOW.

10.8.4 Conclusies

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- EOW2 met een pH van 10-12 blijkt niet effectief als biocide. Ook in combinatie met EOW1 (pH 6,8-7,0) lijkt EOW2 geen extra effect te sorteren, aangezien het effect van EOW1 na meerdere intensieve behandelingen vergelijkbaar is met het effect van perazijnzuur.
- Meerdere intensieve behandelingen met perazijnzuur geven geen extra effect ten opzichte van een éénmalige behandeling. Dit geldt wel voor EOW. Het effect van EOW is na enkele intensieve behandelingen gelijk aan die van perazijnzuur.
- De urease-activiteit van een nieuwe sleuenvloer (= ERGO vloer) is zeer laag te houden door regelmatige behandeling met een desinfectiemiddel. Dit lage niveau is echter ook te bereiken bij een langdurig gebruikte sleuenvloer na een intensieve behandeling met het desinfectiemiddel.
- Een sealing van de ERGO vloer heeft geen effect op de urease-activiteit, al dan niet behandeld met een desinfectiemiddel.
- Een gladde sleuenvloer geeft na een behandeling met biocide een lagere urease-activiteit dan de al dan niet gesealde standaard sleuenvloer.

10.9 Effect schoonmaken met een desinfectiemiddel op de ammoniakemissie van een betonnen sleuenvloer

10.9.1 Inleiding

Uit voorgaande onderzoeken blijkt dat een betonnen sleuenvloer, zoals de ERGO-vloer, in combinatie met een goede schuif (combinatie van schrapen en nat borstelen) en toepassing van EOW goede perspectieven lijkt te bieden om de ammoniakemissie sterk te verlagen. We hebben echter het uiteindelijke effect op de ammoniakemissie nog niet gemeten. In deze studie is het effect van het regelmatig reinigen met water en biocide op de ammoniakemissie bepaald met behulp van een meetdoos. Deze meetdoos bepaalt de ammoniakemissie door een geforceerde luchtstroom aan te brengen over de te bemeten vloer en daarbij de in- en uitgaande lucht van de meetdoos te bemonsteren en te analyseren op de ammoniakconcentratie.

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de ammoniakemissie vanaf een betonnen sleuenvloer die regelmatig wordt schoongemaakt en behandeld met een biocide (perazijnzuur / EOW). Hiervoor wordt de volgende vraag beantwoord: hoe hoog is de ammoniakemissie vanaf 3 typen betonnen sleuenvloeren (standaard, glad, geseald; zie hoofdstuk 1.7) voor en na intensieve behandeling met perazijnzuur, EOW of water?

10.9.2 Materiaal en methode

10.9.2.1 Stallen

Het onderzoek zal is uitgevoerd in 1 melkveestal. Deze melkveestal heeft de volgende varianten van de ERGO-vloer (Foto 4):

1. Standaard ERGO-vloer die meer dan een paar maanden in gebruik is.
2. Gladde ERGO-vloer zonder troffelbeton toplaag.
3. Gesealde ERGO-vloer.



Foto 4 Impressie van de ERGO-Vloer.

10.9.2.2 Te testen middelen

De volgende middelen zijn getest:

1. Water, als controlebehandeling
2. Perazijnzuur ($C_2H_4O_3$) oplossing (1% w/w). Een 1% oplossing van perazijnzuur heeft een pH van 3,1 (Productnaam Divosan Activ, JohnsonDiversey, Utrecht). Divosan Activ wordt toegepast in de levensmiddelenindustrie bij het desinfecteren van oppervlakken die in aanraking komen met voedingsmiddelen en dranken. De voorgeschreven concentratie is afhankelijk van inwerktijd, temperatuur en aard van de af te doden micro-organismen. Hoewel Divosan Activ reeds bij lage temperaturen (5-20°C) een zeer grote werkzaamheid heeft, wordt de desinfectietijd aanzienlijk bekort door het toepassen bij temperaturen tot 40°C.
3. Geëlektrolyseerd water (EOW, electrolyzed oxidizing water; pH 6,8 – 7,0; oxidation reduction potential (ORP) > 930; FAC 500 ppm; Aquaox BV, Soest). Een NaCl oplossing wordt geëlektrolyseerd waardoor verschillende desinfecterende componenten ontstaan, zoals hypochloorzuur ($HClO$), waterstofperoxide (H_2O_2) en ozon (O_3). Een voordeel van dit systeem van

ontsmetten is dat er geen chemische restproducten in de mest komen, behalve enig zout (NaCl). Er is een afspraak gemaakt met het bedrijf Aquafox voor de levering van EOW.

10.9.2.3 Methode

Het onderzoek is uitgevoerd als een 3 (vloertypen) x 2 (behandelingen) factorproef in 2 herhalingen. De volgende methode is gehanteerd in het onderzoek (zie Foto 5):

- De vloeren zijn, op de plekken die worden bemeten, schoon geschraapt en vervolgens intensief geborsteld met water, zodat de vloeren op het oog volledig schoon lijken.
- De urease-activiteit en de ammoniakemissie van de vloeren zijn bepaald.
- De vloeren zijn intensief behandeld met EOW of perazijnzuur.
- De urease-activiteit en de ammoniakemissie van de vloeren zijn wederom bepaald.



Foto 5 Bepaling van de ammoniakemissie met de meetdoos op een sleuvenvloer na behandeling met water, EOW of perazijnzuur.

De gevolgde procedure voor het meten van de urease-activiteit is weergegeven in bijlage 1. De procedure voor het intensief handmatig schoonmaken van de vloer gaat als volgt:

- Wegschrapen van de mest met een harde schraper.
- Wegschrapen van de mest met een zachte schraper.
- Flink schoon borstelen met water, ook de sleuven.

Procedure voor intensieve behandeling met EOW of perazijnzuur

- Sproeien van een overmaat aan biocide op de te behandelen vloer.
- De biocide inborstelen in de vloer, ook in de sleuven.
- Half uur in laten werken.
- Nogmaals biocide in overmaat sproeien en inborstelen in de vloer (incl. sleuven).
- Half uur laten inwerken.
- Verwijderen van de resterende vloeistof met een zachte schraper.

Procedure voor het meten van de ammoniakemissie

- Een overmaat aan urine wordt op de te bemeten oppervlakte gespreid, zodat de ruggen en de sleuven volledig bedekt zijn met een maximale laag urine. De urine moet vooraf goed gemengd worden in het voorraadvat.
- Hierna wordt de meetdoos direct op dit met urine bevochtigde oppervlak gezet en start de ammoniakmeting.
- De meetdoos blaast de lucht over de vloer. Dit is schone lucht die m.b.v. een lange slang van buiten wordt gehaald.
- De uitgaande lucht van de meetdoos wordt gedurende 60 min bemonsterd en geanalyseerd op de concentratie ammoniak m.b.v. een Innova-monitor.
- Tussen de metingen van de behandelingen door wordt de ammoniakconcentratie van de inkomende lucht af en toe gemeten.
- De geventileerde hoeveelheid lucht in de meetdoos wordt automatisch gelogd.

In totaal zijn 24 metingen van 1 uur met de meetdoos verricht (3 vloertypen * 2 behandelingen * 2 herhalingen * 2 (meting voor en na behandeling)). Er konden 6 metingen op 1 dag worden uitgevoerd. Dit betekende dat gedurende 4 dagen is gemeten. Elke dag werd vers opgevangen urine gebruikt voor de metingen. Binnen een herhalingsblok van 2 dagen werden de behandelingen aselekt verdeeld. De volgorde van de metingen is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Volgorde van de ammoniakmetingen in dit onderzoek. D = dag; T = volgorde in de metingen op die dag.

Herhalingsblok 1		
Vloertype	Perazijnzuur	EOW
Standaard	D1T1	D2T3
Glad	D2T2	D2T1
Geseald	D1T3	D1T2
Herhalingsblok 2		
Standaard	D2T1	D1T3
Glad	D2T2	D2T3
Geseald	D1T2	D1T1

Elke vloer werd in totaal op 4 locaties bemeten, 2 locaties per behandeling (perazijnzuur of EOW). Er werd voor gezorgd dat de locaties goed van elkaar gescheiden waren, zodat de behandelingen elkaar niet beïnvloedden. De ammoniakemissie werd gemeten nadat de vloer was schoongemaakt met schraper en borstel met water. Vervolgens werd de biocide-behandeling toegepast en werd de ammoniakemissie opnieuw gemeten. Voor elke meting was naar schatting max. 1,0 L urine nodig, dit betekende 6 L urine per dag. Deze urine werd 's morgens opgevangen door de veehouder en bewaard in een gesloten vat. De urine van elke meet-dag werd bemonsterd en geanalyseerd op Ntot en NH4-N. Na het schoonmaken met water werd de urease-activiteit op 2 plekken per locatie gemeten (zo mogelijk, gelijktijdig met de ammoniakmetingen). Na de biocide behandeling werd de urease-activiteit opnieuw, op dezelfde plekken, gemeten. Dus in totaal werden 48 urease-metingen gedaan. Tijdens alle metingen werd de staltemperatuur en de vloertemperatuur gemeten (1x per uur).

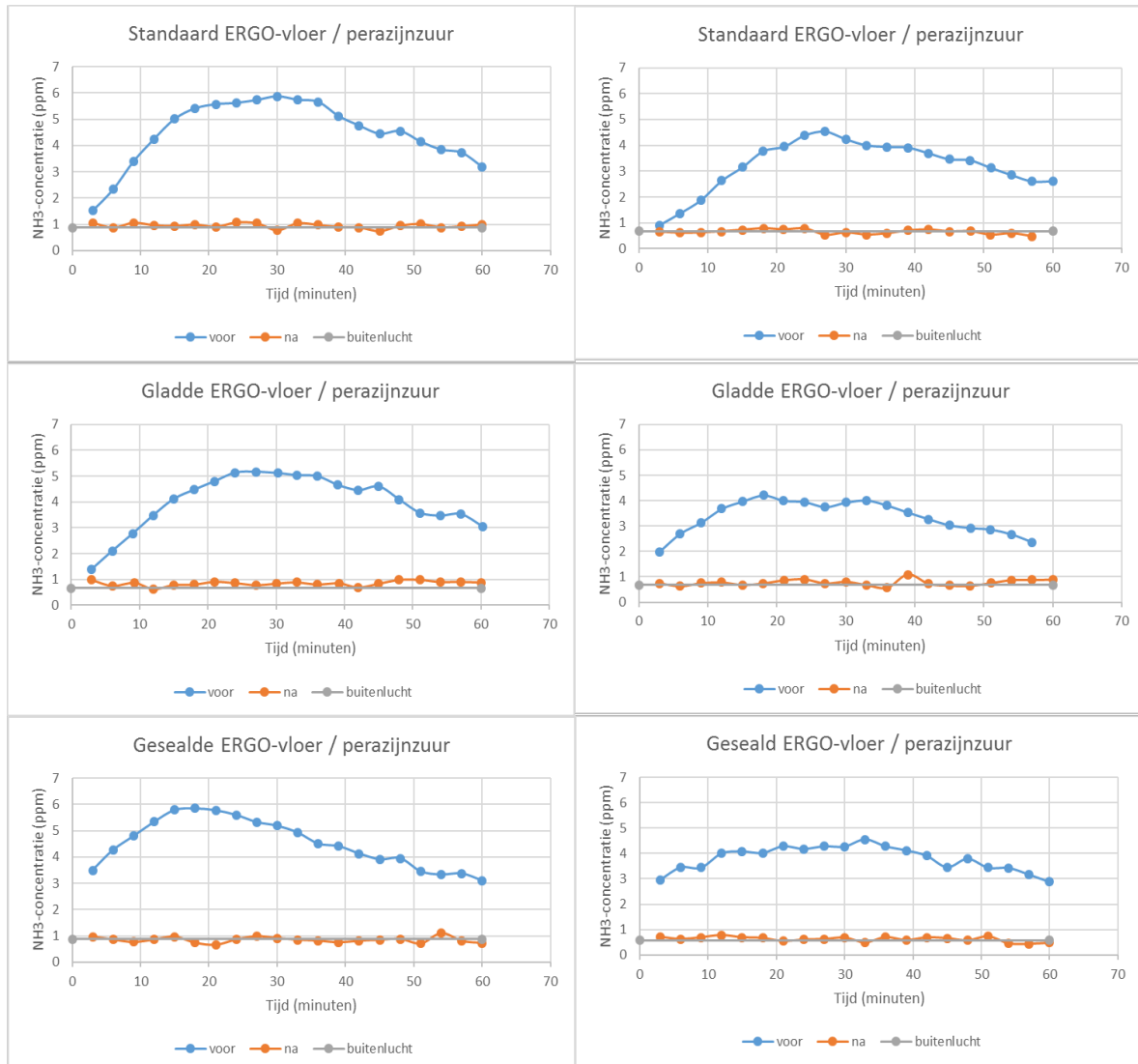
Na het schoonmaken met water werd de urease-activiteit op 2 plekken per locatie gemeten (zo mogelijk, gelijktijdig met de ammoniakmetingen). Na de biocide behandeling werd de urease-activiteit opnieuw, op dezelfde plekken, gemeten. Dus in totaal werden 48 urease-metingen gedaan.

Tijdens alle metingen werd de staltemperatuur en de vloertemperatuur gemeten (1x per uur).

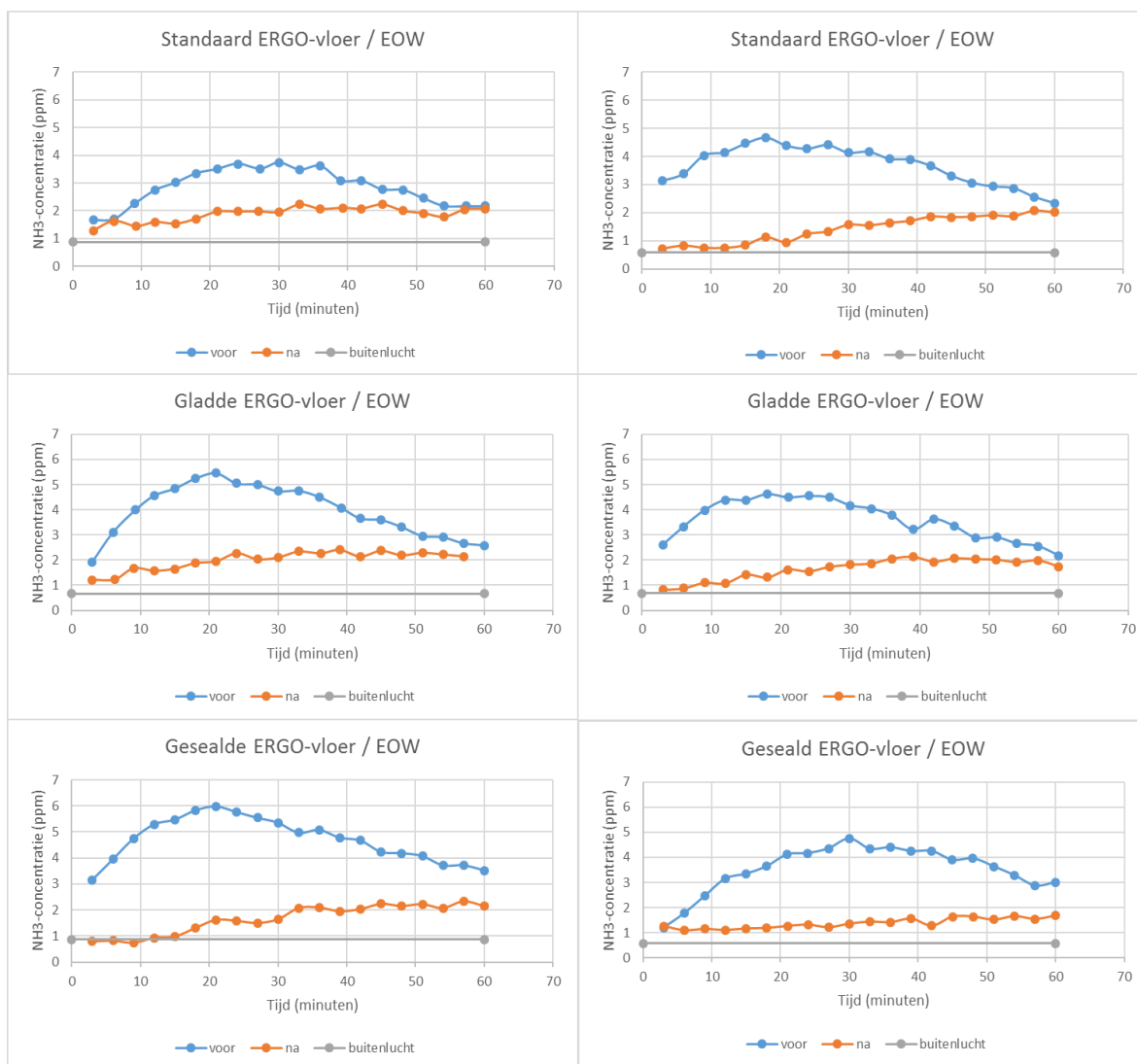
10.9.3 Resultaten

In figuren 31 en 32 worden de resultaten van de ammoniakmetingen weergegeven voor respectievelijk de behandelingen perazijnzuur en EOW, bij de 3 typen sleuvenvloeren (standaard, glad, geseald). In de figuren worden de ammoniakconcentraties getoond van de in- en uitgaande lucht van de meetdoos na het schoonmaken van de vloer met alleen water ('voor') en na de aanvullende behandeling met perazijnzuur of EOW ('na'). De buitenlucht had op de dag van de metingen steeds vergelijkbare concentraties op de momenten dat deze is gemeten, daarom werd voor elke meet-dag een gemiddelde buitenlucht concentratie bepaald en gebruikt in de figuren. De concentratie ammoniak in de buitenlucht was steeds lager dan 1,0 ppm. Uit figuur 31 blijkt dat na een behandeling met perazijnzuur er geen of vrijwel geen ammoniak wordt toegevoegd aan de buitenlucht bij alle typen vloeren. Bij de toepassing van EOW wordt er wel enige ammoniak toegevoegd aan de buitenlucht en deze hoeveelheid neemt toe tijdens de duur van de metingen (60 min). De ammoniakconcentraties van de uitgaande lucht zijn echter steeds lager dan na het schoonmaken met alleen water. De gemiddelde ammoniakemissie gemeten direct na de intensieve reiniging met water was 0,27 g/(uur.m²) voor de standaard ERGO-vloer, 0,28 g/(uur.m²) voor de gladde ERGO-vloer en 0,32 g/(uur.m²) voor de gesealde ERGO-vloer (s.e.d. 0,03; p=0,30). Er was ook geen significant verschil tussen de vloertypen na de behandeling met perazijnzuur of EOW (p=0,26) en er was geen

interactie-effect tussen vloertype en behandeling ($p=0,38$). De ammoniakemissie was significant lager ($p<0,001$) na de behandeling met perazijnzuur ($0,0053 \text{ g}/(\text{uur.m}^2)$) dan na de behandeling met EOW ($0,085 \text{ g}/(\text{uur.m}^2)$). De ammoniakemissie na de behandeling met perazijnzuur werd gemiddeld met 98,2% (s.e.m. 1,0) gereduceerd ten opzichte van de ammoniakemissie na intensieve reiniging met alleen water; voor EOW was dit 68,2% (s.e.m. 5,1).



Figuur 31 Resultaten ammoniakemissie metingen met meetdoos voor en na de behandeling met perazijnzuur bij de 3 typen sleuvenvloeren.



Figuur 32 Resultaten ammoniakemissie metingen met meetdoos voor en na de behandeling met EOW bij de 3 typen sleuvenvloeren.

10.9.4 Conclusies

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

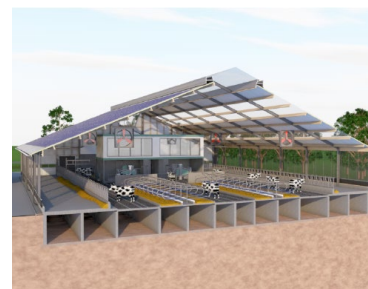
- Een behandeling van een sleuvenvloer met perazijnzuur of EOW, voorafgaand aan een gesimuleerde urineloos, geeft een significant lagere ammoniakemissie van de urineplas dan na alleen intensieve reiniging met water.
- Een éénmalige behandeling met perazijnzuur geeft een significant hogere ammoniakreductie (98,2%) ten opzichte van een éénmalige behandeling met EOW (68,2%).
- De ammoniakemissie, zowel voor als na de behandeling met een desinfectiemiddel (perazijnzuur of EOW), wordt niet beïnvloed door het type ERGO sleuvenvloer (standaard, glad, geseald).

11 Clean Flooring System – Dairy (CFS-Dairy)



Foto 6 Pilotopstelling van het CFS-Dairy system op Dairy Campus. (Foto's: WAV Productions).

Het reguliere melkveebedrijf heeft rond de 100 koeien, is een familiebedrijf met eigen grond, heeft een ligboxstal en een mestkelder onder een roostervloer. Mest en urine vallen naar de kelder waar drijfmest wordt geproduceerd. Meestal blijft de drijfmest in de kelder totdat het weer uitgereden mag worden op het land. De keuzes die in dit project zijn gemaakt ten aanzien van dichte vloeren wijken af van de standaard praktijk. Op het moment dat dit onderzoek heeft plaatsgevonden lag de nieuwbouw stil (onder andere vanwege fosfaatrechten). Hier ontstond binnen het project het dilemma met betrekking tot kansrijke systemen ten aanzien van ammoniakemissie reductie die tegelijkertijd ten aanzien van de markt kansarme systemen zijn. Ondanks dat de ontwerprichtingen en opgebouwde kennis binnen dit project rondom vloeren richting dichte vloeren wees (er zijn echter nog belangrijke open vragen rondom het adequaat reinigen van dichte vloeren), is het de keuze van de deelnemende bedrijven aan het EDD20 consortium geweest om te focussen op renovatie en roostervloeren. Daarom hebben we het experiment opgebouwd rondom de ECO-Vloer die een goede beloopbaarheid heeft³² door het loopoppervlak dat rubber (50%) met beton (50%) combineert. Bovendien is dit een emissiearm systeem dat op de RAV-lijst is opgenomen met een definitieve emissie factor van 7 kg ammoniak per dierplaats per jaar en dus een emissiereductiepotentie van rond de 40% (43% volgens de PAS-lijst R.1.6) ten opzichte van de standaard praktijk. Het idee was dat de toevoeging van EOW aan dit vloersysteem de emissie verder zou kunnen reduceren.



³²³² <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/6264.pdf> (geraadpleegd december 2018).

11.1 Het CFS-Dairy Systeem = Gebruik van biocide om de urease-activiteit te beperken, de ECO+ vloer en de SRone + robot

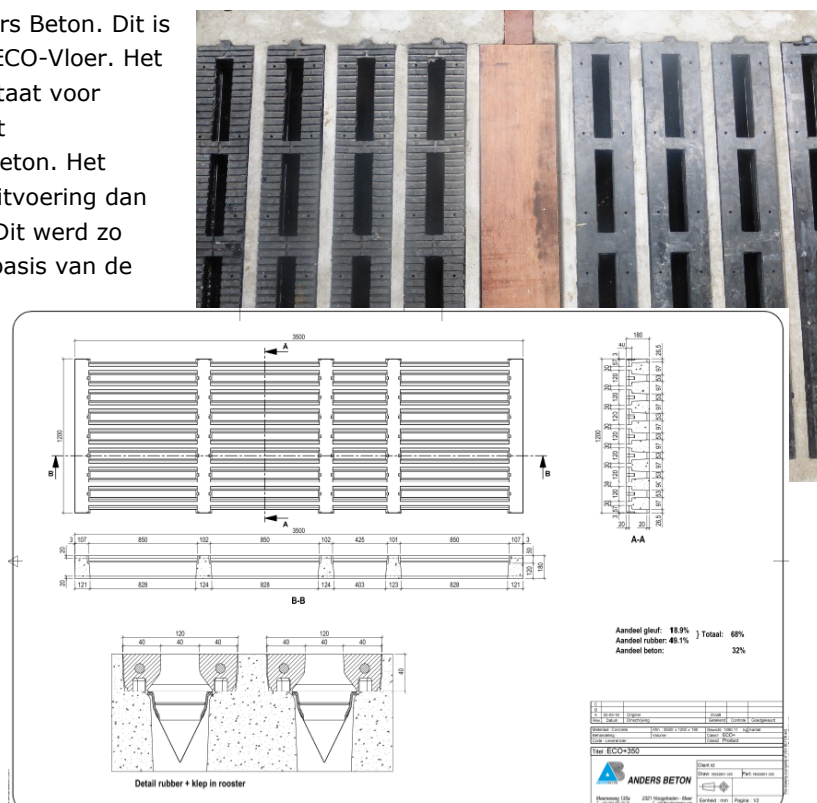
In het kader van dit project en op basis van de vooronderzoek hebben we een emissiearme systeem, een 'clean flooring system' voor de melkveehouderij (CFS-Dairy) ontwikkeld. Samen met de partners binnen het project is dit systeem uitgedacht en in een pilotopstelling uitgetest op het Melkveeproefbedrijf van WLR, de Dairy Campus. CFS-Dairy heeft een aantal specifieke eigenschappen.

Eén van de opties om de ammoniakemissie te reduceren is het beperken van de urease-activiteit. Uit eerder onderzoek binnen EDD20 blijkt dat de urease-activiteit op de vloer sterk kan worden gereduceerd door toepassing van desinfectiemiddelen (Aarnink et al. dit rapport). De meest perspectiefvolle middelen zijn perazijnzuur en geëlektrolyseerd water (EOW, 'electrolyzed oxidized water'). Uit voornoemd onderzoek blijkt dat deze middelen bij éénmalige behandeling de urease-activiteit gedurende minimaal 2 dagen sterk kunnen reduceren. Dit resultaat was dermate interessant en innovatief dat er een octrooi is aangevraagd (Aarnink & Puente-Rodríguez 2017). Uit vervolgonderzoek is gebleken dat de urease-activiteit na ca. 5 dagen weer begint toe te nemen en dat door regelmatig intensief behandelen van de vloer met EOW een vergelijkbaar resultaat kan worden verkregen als met perazijnzuur. Indicatieve ammoniakmetingen die zijn uitgevoerd met een meetdoos op een sleuenvloer (ERGO-vloer) laten sterke reducties van de ammoniakemissie zien na behandeling van de vloer met perazijnzuur of EOW.

Het voordeel van EOW is dat het tegen relatief geringe kosten op het veehouderijbedrijf zelf kan worden aangemaakt. Daarnaast wordt het nadat het zijn werking heeft gedaan ook relatief snel weer afgebroken tot onschadelijke componenten. Verschillende onderzoeken lijken te suggereren dat de toepassing van EOW relatief veilig is. EOW wordt b.v. toegepast voor vermindering van microbiële besmetting op voedsel verwerkende oppervlakken, roetsvrij staal, laboratorium glaswerk of medische en tandheelkundige voorzieningen (Sakurai et al. 2002; Al-Haq et al. 2005; Mukhopadhyay et al. 2012; Buncic & Sofos 2012).

Dit emissiearme pilotsysteem bestaat uit de volgende elementen:

- ECO+ roostervloer van Anders Beton. Dit is een nieuwe variant van de ECO-Vloer. Het loopvlak van deze vloer bestaat voor 49.1% uit rubber, 18.9% uit roosterspleten en 32% uit beton. Het aandeel rubber is bij deze uitvoering dan bij de standard ECO-Vloer. Dit werd zo ontworpen voor de test op basis van de kennis die uit het test van de urease-activiteit op verschillende oppervlakken. In één afdeling wordt een ECO+ roostervloer gelegd met profilering en in één afdeling zonder profilering. Bij de geprofileerde uitvoering is het rubberonderdeel geprofileerd (om de beloopbaarheid te bevorderen) en het betonoppervlak is glad. Bij de gladde uitvoering zijn rubber en beton



oppervlakken glad om reiniging te bevorderen. De vloeren zijn voorzien van een systeem van kleppen die de mestspalten afdichten. Kleppen laten, in principe, mest en urine door naar de mestkelder, maar sluiten daarna weer af om de luchtwisseling te beperken.

- Een robot mestschuif van GEA (variant van de SRone, <https://www.gea.com/nl/products/manure-scraper-robot-srone.jsp>. Zie foto's hiernaast). Deze mestschuif verwijdert elk uur de feces en de urine vanaf de roostervloer. De robot mestschuif bestaat uit twee schrapers (een harde en een zachte) en een sproeisysteem na de schrapers om de roosterbalken met water te besproeien. Door dit sproeien worden de urineplassen zoveel mogelijk van de roosterbalken gesproeid. Eén of meerdere keren per dag wordt EOW over de roosterbalken gesproeid.
- De biocide EOW wordt steeds vers op locatie aangemaakt en toegepast. Het bedrijf Aquaov BV geeft een EOW productie-unit geleverd voor het uitvoering van het test.



Literatuur

- Aarnink A.J.A. & Puente-Rodríguez D. (2017). Reduction of ammonia emission from areas where animals are maintained. International patent application PCT/NL2018/050820.
- Al-Haq, M.I., Sugiyama, J., & Isobe, S. (2005). Applications of Electrolyzed Water in Agriculture & Food Industries. Food Sci. Technol. Res., 11(2), 135-150.
- Buncic, S. & Sofos, J. (2012). Interventions to control Salmonella contamination during poultry, cattle and pig slaughter. Food Research International, 45, 641-655. doi:10.1016/j.foodres.2011.10.018.
- Mukhopadhyay, S. & Ramaswamy, R. (2012). Application of emerging technologies to control Salmonella in foods: A review. Food Research International, 25, 666-667. doi:10.1016/j.foodres.2011.05.016.
- Sakurai, Y., Ogoshi, K., Kaku, M. & Kobayashi, I. (2002). Strongly acidic electrolyzed water: Valuable disinfectant of endoscopes. Digestive Endoscopy, 15: 19-24.

11.2 Beloopbaarheid test

W. Ouweltjes

Het doel van dit onderzoek was het toetsen van de beloopbaarheid van de twee uitvoeringen van de ECO+ vloer ten opzichte van een standaard roostervloer.

Het loopvlak van de Eco+ vloer bestaat zowel voor de geprofileerde als de niet geprofileerde variant voor 49.1% uit rubber, 18.9% uit

roosterspleten en 32% uit beton. De verwachting is dat deze vloer bijdraagt aan verbeterd welzijn door een goede beloopbaarheid en relatief groot aandeel zacht oppervlak. Om inzicht te krijgen in de beloopbaarheid zijn in beide stallen met een ECO+ vloer (stallen 72 en 73) en ook in de referentiemeetstal (70) op Dairy Campus op 30 juli, 1 en 20 augustus stap- en slipproeven uitgevoerd. In iedere stal (met 16 dieren) zijn op twee dagen (30/7 of 1/8 en 20/8) met ieder dier 3 herhalingen van de stapproof gedaan en hierna 3 herhalingen van de slipproof.



Toelichting stapproef:

De grootte van de stap die een koe maakt zegt iets over de mate van zekerheid waarmee het dier zich over een oppervlak beweegt (Phillips & Morris, 2001; Jungbluth et al., 2003; Haufe et al., 2009). Stapt een koe met de achterpoten in de print van de voorpoten dan loopt het dier over het algemeen zeker en gemakkelijk. Voor de stapproef moeten de koeien een parcours afleggen van minimaal 5 meter, over de vloer zoals die er op het moment van testen bij ligt. De uitvoering van de test (er is ook video-materiaal) wordt geïllustreerd aan de hand van Figuur 34.



Figuur 34 Illustratie uitvoering stapproef.

Bij de stapproef zijn alle koeien aanvankelijk aan één kant van de stal gezet (bij het voerhek) en vervolgens individueel driemaal achtereen naar de loopgang tussen de ligboxen gestuurd. In stal 73 werden de stapproeven in het beeld gezien van rechts naar links uitgevoerd en in de beide andere stallen van links naar rechts (vanwege de gespiegelde opstelling). Tijdens het uitvoeren van deze tests zijn met een vaste beveiligingscamera (HIKvision) beeldopnames gemaakt (resolutie 2560*1440 pixels, 15 beelden per seconde). Het meettraject besloeg de gehele roostervloer naast het ligbox-eiland in het midden van de stal. De afmeting van dit vloerdeel is in alle 3 de stallen 5.0 * 3.4 meter. De lichtblauwe lijnen in figuur 34 geven de zijgrenzen aan van het meettraject. Tijdens het lopen van de koeien is (naast het diernummer) het aantal **slips** wat visueel werd geconstateerd genoteerd. Achteraf is echter geconcludeerd dat dit niet consequent is gebeurd en daarom geen goede informatie heeft opgeleverd. Bij de beeldverwerking is gefocust op twee andere variabelen:

1. De tijd die de koeien nodig hadden om vanaf het moment dat ze de eerste lichtblauwe streep "raakten" de tweede lichtblauwe streep geheel te passeren. Hiervoor zijn de frames opgezocht waarbij dit gebeurde, en uit het aantal tussenliggende beelden is de **duur** van de passage berekend.
2. Voor zover de poten goed in beeld te zien waren zijn voor een voorpoot de posities van opeenvolgende pootafdrukken tussen de begin- en eindstreep (en in enkele gevallen ook iets na de eindstreep) gemarkeerd. In Figuur 34 zijn deze aangegeven met **X**. Nadat de coördinaten van deze afdrukken van pixels naar millimeters zijn omgerekend zijn de afstanden tussen opeenvolgende afdrukken berekend, dit wordt de **stapgrootte** genoemd. Bij stal 73 zijn de afdrukken van de linker voorpoten gebruikt, bij beide andere stallen die van de rechter voorpoten.

Toelichting slapproef:

Het aantal slipincidenten is een indicatie voor de gladheid van het vloeroppervlak (Grönqvist et al., 2001; Haufe et al., 2009), vooral bij een draaiende beweging (Rushen & de Passillé, 2006). De slapproef behelst dat elke koe wordt gedwongen drie maal achtereen een rondje om haar as te draaien op de loopvloer in de stal zoals die er op het moment van testen bij ligt. Hoewel ook tijdens deze tests

beeldopnames zijn gemaakt is alleen de direct visueel gescoorde informatie geanalyseerd. Enkele indrukken van een slipproof (met intervallen van 1 seconde) staan in Foto 7.



Foto 7 Voorbeelden slipproof met interval tussen de opnames van 1 seconde.

Resultaten

In totaal zijn 52 verschillende koeien getest, het merendeel van deze koeien is op beide dagen getest. De dataset met gegevens van de stapproeven omvatte 288 records, die met gegevens van de slipproeven 287 omdat bij één dier de laatste test was mislukt. Verder zijn in totaal 505 stapgroottes bepaald en geanalyseerd. De ruwe gemiddelden voor de geanalyseerde kenmerken per stal staan in de tabel hieronder.

Tabel 5 Ruwe gemiddelden van de geanalyseerde uitleesparameters.

Stal	stapproef		slipproof
	Duur (sec)	Stapgrootte (mm)	#slips
70	4.7	1852	1.14
72	5.1	1730	0.30
73	6.1	1699	0.26

De gegevens zijn geanalyseerd met ASreml om te toetsen of de verschillen tussen de stallen/vloeren significant zijn. Met gebruikte analysemodel is:

$$Y_{ijklmn} = \mu + F_i + D_j + V1_k + V2_l + An_m + e_{ijklmn}$$

waarbij Y = kenmerk, μ is het gemiddelde, F_i is het effect van vloer i (stal 70, 72 of 73), D_j is het effect van herhaling j (j = 1^e of 2^e sessie), $V1_k$ is het effect van volgnummer k van de test per koe (k = 1 – 3), $V2_l$ is het effect van volgnummer van de koe per test (l = 1 – 16), An_m is het random effect van koe m (m = 1 – 52) en e_{ijklmn} is de random restterm. P-waardes van de fixed model-effecten (voor random effecten worden variantiecomponenten berekend, geen P-waardes) staan in tabel 6.

Tabel 6 *geschatte P-waardes voor modeffecten.*

Effect	Stapproef		Slapproef
	duur	stapgrootte	#slips
Vloer	<.001	<.001	<.001
Herhaling	0.020	0.118	<.001
Volgnummer test	<.001	0.001	0.033
Volgnummer koe	0.365	0.613	0.958

De verschillen tussen de vloeren zijn dus voor alle kenmerken sterk significant. Verder blijken er verschillen te zijn tussen de twee herhalingen: gemiddeld liepen de koeien toen 0.2 seconde sneller, namen 34 mm grotere stappen en slipten 0.35 keer minder tijdens de slapproef. Uit de schattingen voor het volgnummer van de test voor duur blijkt dat de koeien tijdens de 1^e van de 3 achtereenvolgende testen langzamer waren dan tijdens de 2^e en 3^e ronde (een verschil van ongeveer 0.6 seconde). Uit de schattingen voor het volgnummer van de test voor stapgrootte blijkt dat de koeien tijdens de 1^e van de 3 achtereenvolgende testen kortere stappen zetten dan tijdens de 2^e en 3^e ronde (een verschil van 77 – 78 mm). Uit de schattingen voor het volgnummer van de test voor aantal slips tijdens de slapproef blijkt dat de koeien tijdens de 1^e van de 3 achtereenvolgende testen het vaakst slipten en tijdens de laatste het minst (een verschil van 0.2 slips). Eigenlijk zouden we de experimenten waarschijnlijk vooraf enkele keren hebben moeten uitvoeren om de koeien er aan te laten wennen. Het feit dat volgnummer van de koe voor geen enkel kenmerk significant was betekent dat er waarschijnlijk geen systematisch verschil was tussen de koeien die eerder getest werden en de koeien die (bijna) als laatste aan de beurt waren. Dat zou wel het geval zijn geweest als bijvoorbeeld het aantal koeien in de opvangruimte aan het eind invloed zou hebben gehad op de resultaten.

Uit de modelberekeningen blijkt dat de koeien in stal 70 de stapproef het snelst uitvoerden en in stal 73 het langzaamst. De geschatte verschillen tussen stal 70 en stal 72 en 73 waren respectievelijk 0.5 en 1.4 seconde, wat gezien de duur van de testen aanzienlijke verschillen zijn. Het geschatte verschil in stapgrootte tussen stal 70 en 73 was 156 mm (korter in stal 73) en tussen stal 70 en 72 127 mm (korter in stal 72). Ondanks de grotere snelheid en grotere stappen was het aantal slips tijdens de slapproef wezenlijk hoger in stal 70 dan in beide andere stallen, en was er tussen die stallen geen significant verschil. De resultaten geven aan dat de beloopbaarheid van de beide varianten van de ECO+ vloer niet wezenlijk verschillen, en dat profilering voor de grip van de koeien niet nodig is. Dat de koeien in de referentiestal sneller liepen en grotere stappen namen is niet geheel in lijn met wat kan worden verwacht als de koeien op deze vloer onvoldoende grip hebben. De resultaten van de slapproef geven dat laatste echter wel aan. Indien de koeien in de referentiestal ongelukkigerwijs meer schrikachtige koeien zijn geweest kan dit beide fenomenen verklaren. De indruk dat deze koeien meer schikachtig waren dan die in de beide andere stallen kan echter ook een gevolg zijn van de gladdere vloer.

Beperkingen/kanttekeningen van het onderzoek:

- Vanwege tijdsdruk zijn de beloopbaarheidstesten uitgevoerd zonder dat vooraf de reiniging is beoordeeld of de bevulling van de vloer is gestandaardiseerd. Dit is een afwijking van de oorspronkelijke intentie. Omdat hygiëne van de vloer van invloed kan zijn op de locomotie (Rushen and de Passillé, 2006) kunnen verschillen in bevulling van het vloeroppervlak invloed hebben gehad op de resultaten van zowel de stapproef als de slapproef.
- De beperkte ruimte in de meetstallen liet het niet toe om een langer testparcours voor de stapproeven toe te passen. Bovendien moesten de koeien aan het eind van het traject direct ofwel naar links of rechts afbuigen (al naar gelang de layout van de stal). Dit kan het looppatroon hebben beïnvloed.

- Hoewel de testen hebben plaatsgevonden met groepen van 16 koeien kan niet helemaal worden uitgesloten dat individuele verschillen tussen koeien invloed hebben gehad op de resultaten. Het zou beter zijn geweest als dezelfde koeien onder verschillende omstandigheden zouden zijn getest, waardoor beter voor individuele verschillen zou kunnen worden gecorrigeerd.
- Bepaling van andere locomotie-karakteristieken, zoals hoogte van optillen van de poten, percentage staan op 3 poten, overlap, duur zweeffase en grondcontactfase, loopsnelheid (Flower et al., 2007; Franco-Gendron et al., 2016; Telezhenko et al., 2017) aan de hand van het verzamelde beeldmateriaal is niet mogelijk. Dergelijke karakteristieken vereisen specifiek daartoe gemaakt beeldmateriaal.
- Met name tijdens de eerst testronde is geconstateerd dat enkele koeien in stal 73 gevoelig liepen.

Voorlopige conclusie

Koeien kunnen op de beide varianten van de ECO+ vloer goed uit de voeten, profilering is niet nodig.

Referenties

- Flower, F.C., de Passillé, A.M., Weary, D.M., Sanderson, D.J., Rushen, J., 2007. Softer, Higher-Friction Flooring Improves Gait of Cows With and Without Sole Ulcers. *Journal of Dairy Science* 90, 1235-1242.
- Franco-Gendron, N., Bergeron, R., Curilla, W., Conte, S., DeVries, T., Vasseur, E., 2016. Investigation of dairy cattle ease of movement on new methyl methacrylate resin aggregate floorings. *Journal of Dairy Science* 99, 8231-8240.
- Grönqvist, R., Chang, W.-R., Courtney, T.K., Leamon, T.B., Redfern, M.S., Strandberg, L., 2001. Measurement of slipperiness: fundamental concepts and definitions. *Ergonomics* 44, 1102-1117.
- Haufe, H.C., Gygax, L., Steiner, B., Friedli, K., Stauffacher, M., Wechsler, B., 2009. Influence of floor type in the walking area of cubicle housing systems on the behaviour of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 116, 21-27.
- Jungbluth, T., Benz, B., Wandel, H., 2003. Soft walking areas in loose housing systems for dairy cows. In: Janni, K.A. (Ed.), 5th. International Dairy Housing Conference. ASAE, Forth Worth, TX, pp. 171-177.
- Phillips, C.J.C., Morris, I.D., 2001. The Locomotion of Dairy Cows on Floor Surfaces with Different Frictional Properties. *Journal of Dairy Science* 84, 623-628.
- Rushen, J., de Passillé, A.M., 2006. Effects of Roughness and Compressibility of Flooring on Cow Locomotion. *Journal of Dairy Science* 89, 2965-2972.
- Telezhenko, E., Magnusson, M., Bergsten, C., 2017. Gait of dairy cows on floors with different slipperiness. *Journal of Dairy Science* 100, 6494-6503.

11.3 Bevuiling waarnemingen

D. Puente-Rodríguez, H. Wemmenhove & S. Bokma

Tijdens de test periode op Dairy Campus hebben we ook waarnemingen uitgevoerd naar de bevuiling van de vloeren.

We hebben (zonder dat nauwkeuring te hebben gemeten) gezien dat de vering van het klepsysteem relatief snel minder wordt waardoor de kleppen open staan.



Verder hebben gekeken naar de hoeveelheid aanhangende mest bij de rubbercassettes en de klepsysteem.

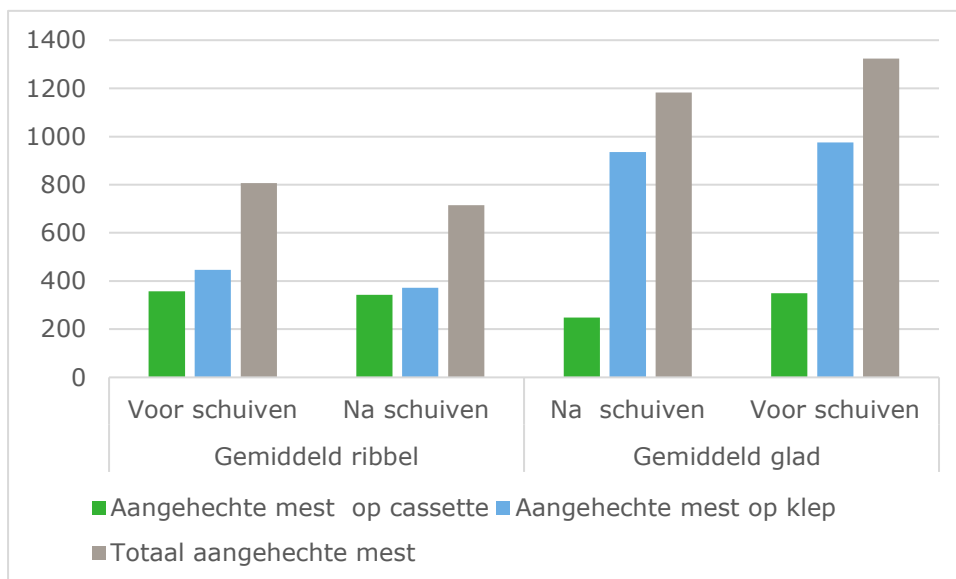


Per type vloer is de aanhangende mest bij 6 cassettes en hun kleppen gewogen. De schone cassettes en kleppen werden gewogen, vervolgens tijdens elke meting werden een aantal met de aanhangende mest gewogen om achter te komen hoeveel (gram) mest in de

rubber cassette en in de klep staat. Dit hebben we 6 keer voor het schuiven en 6 keer na het schuiven gedaan. Belangrijk is om te weten dat we dit bij de cassettes/kleppen in de spleten hebben gedaan die niet vol (dicht) met mest waren (zie foto hierboven links). De metingen zijn uitgevoerd bij cassettes midden in de vloer, deze cassettes zaten doorgans niet dicht terwijl dit bij de cassettes direct achter de ligbox wel veelvuldig voorkomt. In totaal waren er 6 meet-dagen (15 augustus was de eerste meting en op 12 oktober de laatste)

Tabel 7 Gemiddeld aangehechte mest.

Vloer type	Schuiven	Gemiddeld aangehechte mest op cassette (gram)	Gemiddeld aangehechte mest op klep (gram)	Totaal aangehechte mest (gram)
Geprofileerde vloer	voor	358	447	806
	na	343	372	715
Gladde vloer	na	248	935	1.183
	voor	349	975	1.324

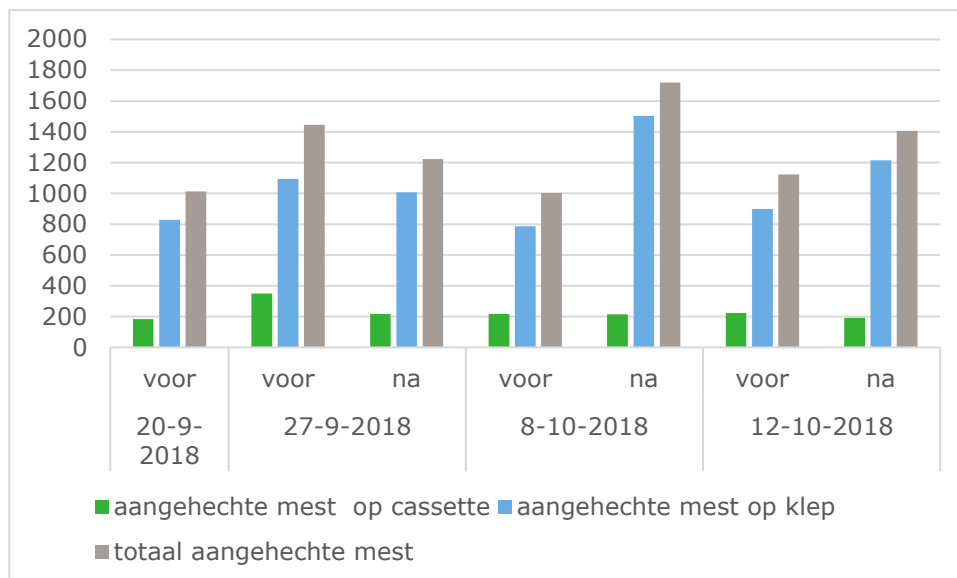


Figuur 35 Visualisatie van Resultaten aangehechte mest op de cassettes en kleppen van ECO+ vloer.

Vanwege de zichtbare relatief hoge hoeveelheid mest die op de vloer (rubber en klep) bleef hangen hebben we op een moment besloten om een aantal standard rubber cassettes te plaatsen (zie foto hiernaast, binnen de getekende gele cirkel). Deze hebben minder rubber en daardoor een grotere opening. Dit zou de doorlaatbaarheid (naar beneden) van de vloer kunnen bevorderen. Deze cassettes waren geprofileerd, daarom hebben ze alleen bij deze uitvoering van de vloer.



Echter bleef nog relatief meer mest hangen in de kleppen dan bij de ECO+ vloer. Zie tabel hieronder



Figuur 36 Visualisatie van Resultaten aangehechte mest op de cassettes en kleppen van de ECO-Vloer

Voorlopige conclusies

Let op, de aantal metingen en de manier waarop we deze hebben uitgevoerd geven een indruk over de prestatie van de vloer maar aanvullende en systematische metingen zullen nog in de praktijk uitgevoerd moeten worden om harde conclusies te kunnen trekken. Op basis van wat we hebben gezien kunnen we voorlopig concluderen dat:

- Er blijft op beide uitvoeringen van de ECO+ vloer veel mest achter in de roosterspleten. Dat wil zeggen in de cassettes en de kleppen. Deze mest valt niet in de kelder en kan waarschijnlijk blijven emitteren. Bij de spleten waar we mest gewogen hebben, bleef er gemiddeld 750 gram hangen bij de geprofileerde cassettes en hun kleppen en 1200 gram bij de gladde uitvoering. De oorzaak van dit relatief groot verschil is ons onbekend.
- Er is ook een onverklaarbaar verschil (circa 50%!?) tussen de mest die in de kleppen van de geprofileerd vloer en die in de gladde vloer blijft hangen.
- De kleppen bleken relatief snel hun veerkracht te verliezen waardoor ze open staan.
- Welke rol speelt de samenstelling van mest hier?
- De kleppen hebben een soort remmingwerking op de doorlaatbaarheid van deze vloeren. Mest die zonder kleppen mogelijk naar de kelder zou vallen blijft nu dicht bij de oppervlak.

11.4 Emissieperspectief van de ECO⁺-vloer met of zonder profilering, in combinatie met gebruik van biocide

A.J.A. Aarnink, D. Puente-Rodríguez, S. Bokma, H.J. Van Dooren, K. Blanken, A. Hol

11.4.1 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek was het bepalen van de ammoniakemissie van een ECO⁺ roostervloer in combinatie met een robot mestschuif, die de vloer reinigt door schuiven en sproeien met water en biocide (EOW), in een pilotopstelling in de emissie-onderzoekstal van Dairy Campus. De ECO⁺ roostervloer is in twee varianten, met en zonder profilering, onderzocht. De ammoniakemissie is vergeleken met een referentiestal met een standaard roostervloer zonder mestschuif.

De belangrijkste vraag in dit onderzoek was: hoe hoog is de ammoniakemissie uit een stal met een ECO⁺ roostervloer, met en zonder profilering, en met een robot mestschuif die is voorzien van een sproeisysteem voor het reinigen met water en EOW, vergeleken met een standaard roostervloerstal?

11.4.2 Materiaal en methode

11.4.2.1 Proefopzet

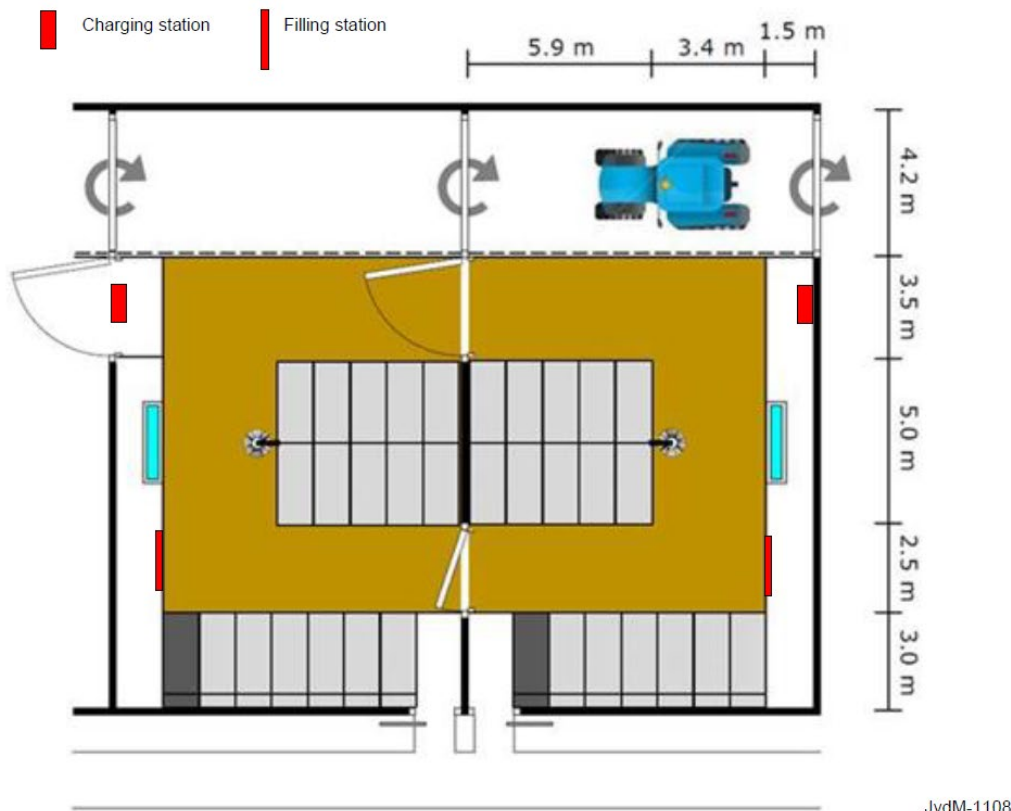
Het onderzoek is uitgevoerd in 3 afdelingen van de emissieonderzoekstal van Dairy Campus (DC). In 2 van de 3 afdelingen is een systeem aangebracht dat de ammoniakemissie, naar verwachting, sterk kan reduceren. Deze systemen zijn vergeleken met een referentiesysteem. De volgende 3 systemen zijn getest:

1. Referentiestal (afdeling 70 DC): standaard stal met betonnen roostervloer zonder mestschuif.
2. ECO⁺ roostervloer met profilering (Anders Beton) met robot mestschuif (GEA), reiniging met water, en toepassing van biocide (EOW) (afdeling 72 DC).
3. ECO⁺ roostervloer zonder profilering (Anders Beton) met robot mestschuif (GEA), reiniging met water, en toepassing van biocide (EOW) (afdeling 73 DC).

Na het inbouwen en testen van het systeem zonder koeien in de 2 proefafdelingen, was er een testperiode gedurende 1 maand met melkkoeien. Vervolgens volgde een proefperiode van 2 maanden.

Afdelingen

De 3 afdelingen in dit onderzoek waren, met uitzondering van de aangebrachte proefbehandelingen, gelijk aan elkaar. De afdelingen hadden een totale oppervlakte van ca. 195 m² en een totaal bereikbaar oppervlakte voor de melkkoeien van ca. 130 m². Een plattegrond van twee afdelingen wordt weergegeven in Figuur 37. In elke afdeling werden 16 melkkoeien gehuisvest. De totale oppervlakte per koe was ca. 8,0 m² en de roosteroppervlakte per koe was 4,55 m².



Figuur 37 Plattegrond van twee afdelingen in het onderzoek op Dairy Campus. De locaties van de laad- en vulstations worden ook aangegeven in de figuur.

De afdelingen werden mechanisch geventileerd, waarbij het ventilatieniveau constant werd gehouden op een niveau van 1000 m³/uur per koe. Elke afdeling had 2 ventilatiekokers met meetwaaiers. De afdelingen waren lucht-gescheiden van elkaar. De mestkelders van afdeling 70 en 71 en van afdelingen 72 en 73 waren met elkaar verbonden. In de mestkelder stak (naar beneden) een schot die doorliep tot 30 cm vanaf de bodem van de mestkleder. Om de afdelingen lucht-gescheiden te houden moest er dus minimaal 30 cm mest in de mestkelder staan. Dit was voor de proef de beginsituatie. Er werd 1 zak zaagsel, van ca. 20 kg, per afdeling per dag verstrekt (ook in de referentiestal).

Vloeren

De volgende vloeren zijn onderzocht:

1. Standaard roostervloer
2. ECO⁺ roostervloer met profilering (Anders Beton)
3. ECO⁺ roostervloer zonder profilering (Anders Beton)

Mestschuif

In de proefafdelingen is een aangepaste robotmestschuif toegepast van GEA, model SRone+. Er waren 2 robots voor 2 afdelingen. Tijdens een schuifronde maakte de robot rondjes door beide afdelingen (zie Figuur 37). De deuropeningen tussen de afdelingen waren voorzien van plastic flappen, zodat de afdelingen zoveel mogelijk lucht gescheiden waren, maar waarbij de robot wel van de ene naar de andere afdeling kon rijden. De specificaties van de robotschuiven waren als volgt:

- Zelfstandig rijdende robotschuiven.
- De robotschuiven reden afwisselend, de één reed overdag en de ander 's nachts. Op deze manier was er voldoende tijd om de robotschuif volledig op te laden.
- De robotschuiven legden een vooraf vastgesteld en geprogrammeerd pad af. Als er obstakels, zoals koeien in de weg stonden of lagen, dan week de robotschuif van zijn pad af, maar probeerde daarna zo snel mogelijk weer op het uitgestippelde pad te komen.
- De robotschuiven hadden elk een oplaadpunt waar de accu van de robot kon worden opgeladen.

- De robotschuiven hadden elk een vulpunt, waar het voorraadvat op de robotschuif gevuld werd met water of met biocide.
- De robotschuiven hadden elk twee schrapers, een harde en een zachte, die de feces en urine (vrijwel) volledig van de roosterbalken verwijderden.
- De robotschuiven hadden een sproeisysteem voor en na de schrapers. Bij elke schuifbeurt werd een hoeveelheid water of EOW voor en na de schrapers over het oppervlak gesproeid. Huidige instelling: elk uur werd ca. 180 ml water of EOW per m² geschoven oppervlak gesproeid.
- De robotschuif maakte de vloer van de afdeling elk uur van de dag schoon. De vloer werd tevens elk uur gesproeid met water met EOW.

Biocide

De volgende biocide werd in dit onderzoek toegepast:

- Geëlektrolyseerd water (EOW, electrolyzed oxidizing water; pH 6,8 – 7,0; oxidation reduction potential (ORP) > 930; FAC 500 ppm; Aquaox BV, Soest). Een NaCl oplossing wordt geëlektrolyseerd waardoor verschillende desinfecterende componenten ontstaan, zoals hypochloorzuur (HClO), waterstofperoxide (H₂O₂) en ozon (O₃).
- De EOW is op locatie steeds vers aangemaakt door een EOW apparaat van Aquaox (Soest).

Aanvullende behandelingen

Om inzicht te krijgen in het verloop van de ammoniakemissie zonder melkkoeien in de stal, werden de koeien gedurende 3 dagen uit de stal gehaald. Het effect op de ammoniakemissie is vervolgens bepaald.

11.4.2.2 Metingen en waarnemingen

De volgende metingen werden continu uitgevoerd gedurende de gehele periode vanaf 3 dagen voordat de koeien in de proefafdeling werden geplaatst tot het einde van het onderzoek:

- Ammoniakconcentratie. De ammoniakconcentraties van de ingaande lucht in de afdelingen en van de uitgaande lucht van de afdelingen werden gemeten. Elke afdeling had 2 ventilatiekokers. De ammoniakconcentratie werd in beide kokers gemeten. De ammoniakconcentraties werden zowel volgens de nat-chemische methode als met een NOx-monitor gemeten. Bij de nat-chemische methode wordt de lucht continu door een bubbelfles met zure oplossing gezogen. De ammoniak in de lucht wordt gebonden door de zure oplossing. De ammoniumconcentratie wordt vervolgens spectrometrisch bepaald. Bij de NOx-monitor wordt de lucht eerst door een convertor gezogen die de ammoniak omzet in NO. De NO concentratie wordt vervolgens via het principe van chemiluminescence bepaald. Elk meetpunt wordt 1 keer per uur bemeten. Met een meetpuntomschakelaar (MPO) wordt de NOx-monitor naar de verschillende meetpunten geschakeld.
- Ventilatiedebiet. Het ventilatiedebiet werd bepaald met geijkte meetwaaiers. De meetwaaiers gaven een puls af bij elke omwenteling. Met de ijkgrafiek kon vervolgens het ventilatiedebiet worden bepaald in m³/uur.
- Temperatuur en RV. De temperatuur en RV werden continu in de in- en uitgaande lucht van de afdelingen gemeten.
- CO₂-concentratie. De CO₂-concentraties werden continu in de in- en uitgaande lucht van de afdelingen gemeten.

Daarnaast werden de volgende waarnemingen / metingen gedaan die specifiek waren voor dit onderzoek:

- Schuiffrequentie. De schuiffrequentie van de robotschuif werd continu bijgehouden. (in principe is dit altijd hetzelfde, namelijk 1x per uur).
- Waterverbruik robotschuif. Het waterverbruik van de robotschuif werd geregistreerd en deze werd vergeleken met de ingestelde hoeveelheid.
- Biocide. Het verbruik van biocide werd geregistreerd en dit verbruik werd vergeleken met de ingestelde hoeveelheid. De hoeveelheid aangemaakte EOW werd automatisch bijgehouden door het EOW-apparaat. Het waterverbruik van het EOW apparaat werd elke dag opgeschreven. 1x per

week werd een monster van ca. 100 ml genomen van de EOW uit het voorraadvat. Dit monster werd opgeslagen bij -20°C.

- **Urease-activiteit.** Eénmaal per 2 weken tijdens de meetweek werd per afdeling de urease-activiteit van de vloer bepaald op 4 verschillende plekken, ca. 30 minuten na het schuiven en sproeien met EOW. In de referentieafdeling werd niet geschoven en daarom werd in deze afdeling op één moment gemeten. Voordat de urease-activiteit werd gemeten werd de vloer op de plek van de meting gespoeld door 1,0 L water van een hoogte van 1,5 m op de vloer te gieten. Op deze manier werd een urinelozing gesimuleerd die er voor zorgde dat de roostervloer (gedeeltelijk) werd schoongespoeld.
- **Ozon-concentratie.** 1 keer per twee weken in de proefperiode (in de meetweek) wordt de ozonconcentratie bepaald in de in- en uitgaande lucht van de drie afdelingen. [benodigd: 4*4 = 16 buisjes; range 0,15 – 3,0 ppm (100 ml lucht; 1x trekken)].

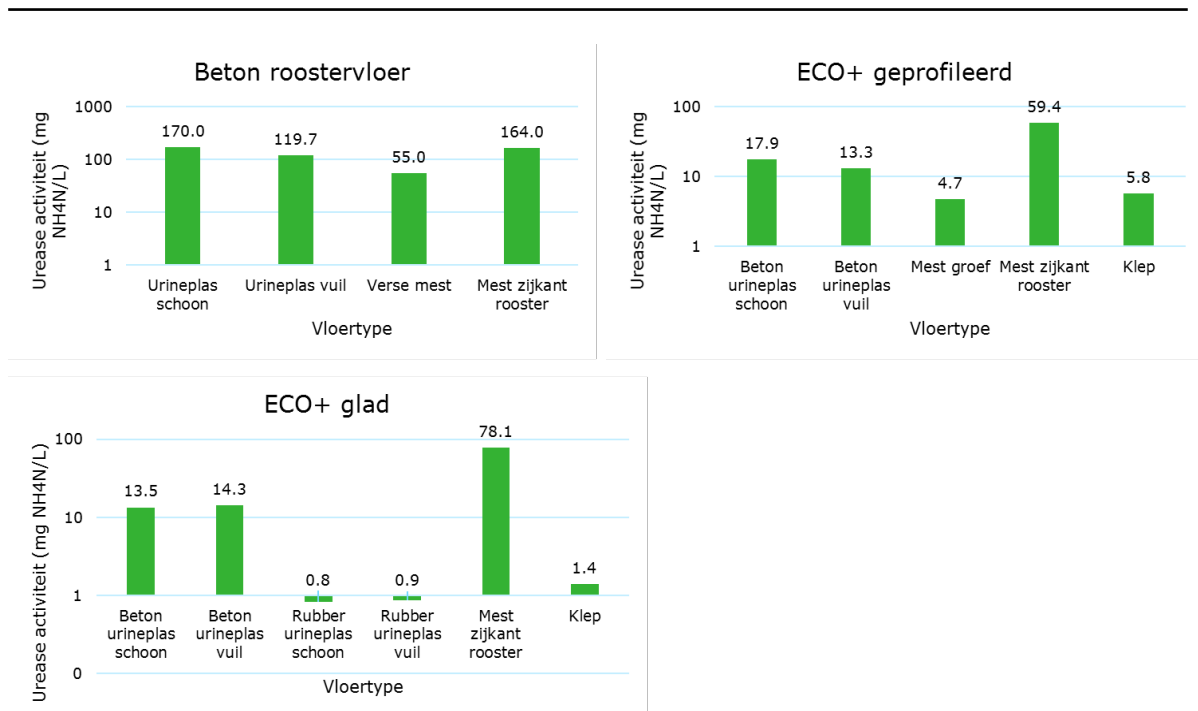
Aanvullende urease-metingen:

1. Meting zoals hierboven aangegeven op een 'schone' plek na een gesimuleerde urinelozing.
2. Meting zoals hierboven aangegeven op een 'vuile' plek na een gesimuleerde urinelozing. Bij een urinelozing werd de roostervloer voor een deel schoongespoeld, maar een deel van de urine viel ook op plekken die niet schoon waren gespoeld. Hier werd ook een meting uitgevoerd.
3. De eerste 2 punten werden bij de ECO+ vloer zowel op rubber als op beton uitgevoerd.
4. Aangezien de urease-meting op de geribbelde rubberen vloer niet lukte (de ureumoplossing liep tussen de ribbels door weg), werd het oppervlak van het rondje, waarbinnen de urease-activiteit normaal gesproken werd gemeten, schoongekrabbd en dit 'vuil' werd in een potje gedaan met ureumoplossing (50ml) gedurende 30 min en hier werd vervolgens een monster van genomen, net als bij een normale urease-meting. Deze hoeveelheid 'vuil' werd vervolgens gewogen.
5. Urease-activiteit bepalen van verse feces. 20 g verse feces (van een mestflat) werden in een potje gedaan met ureumoplossing (50ml) gedurende 30 min en hier vervolgens een monster van genomen, net als bij een normale urease-meting. Dit werd gedaan bij 4 verschillende mestflatten.
6. Vorig punt werd ook gedaan voor feces die is blijven hangen boven de kleppen in afd. 72 en 73 en tussen de mestspleten in afd. 70.
7. Urease-activiteit werd bepaald van 4 kleppen (2 van afd. 72 en 2 van afd 73). Hiervoor werd een klep er uit gehaald en de mest met een schraper er afgeschraapt en op dit oppervlak werd de urease-activiteit bepalen.

11.4.3 Resultaten en discussie

11.4.3.1 Urease-activiteit

In Figuur 38 wordt de gemeten urease-activiteit in de afdelingen met verschillende roostertypen weergegeven. Hieruit blijkt dat de urease-activiteit op de 'schone', gespoelde plekken (na een gesimuleerde urinelozing) niet verschilde van de urease-activiteit op de 'vuile' plekken (dichtbij de plek van de urinelozing, daar waar nog wel spatten urine terecht komen). Verder blijkt dat het beton van de ECO+-vloer, door de EOW behandeling, een veel lagere urease-activiteit heeft dan de betonnen roostervloer (ca. een factor 10 lager). Op het gladde rubber van de ECO+-vloer, in combinatie met EOW, was de urease-activiteit vrijwel nul. In een aanvullend onderzoekje is bepaald of de urease-activiteit op het gladde rubber van de ECO+-vloer ook laag zou zijn zonder toepassing van EOW. Daarom is op dit gladde rubber 54 dagen nadat gestopt is met EOW toediening de urease-activiteit nogmaals gemeten. Hieruit bleek dat de urease-activiteit inderdaad laag bleef, namelijk gemiddeld 0,022 (s.e.m. 0,3) mg NH₄-N/L op de 'schone' plekken en 0,10 (s.e.m. 4,1) NH₄-N/L op de 'vuile' plekken.



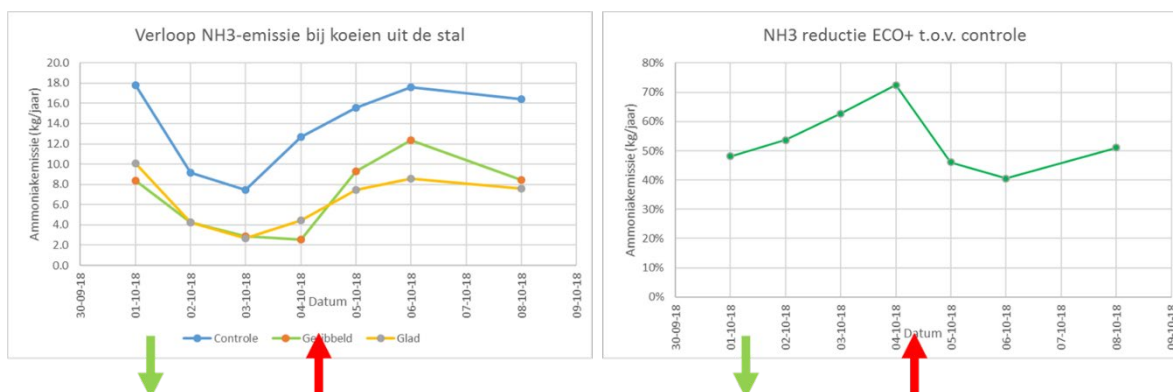
Figuur 38 Gemeten urease-activiteit in de afdelingen met verschillende roostertypen. Urease-activiteit is gemeten op een schoongespoelde plek, op een vuile plek en van verse mest en mest aan de zijkanten van het rooster en op de klep.

11.4.3.2 Ammoniakemissie

In Tabel 8 wordt de ammoniakemissie uit de 3 afdelingen met de verschillende vloertypen bij 1x/uur en 1x/2 uur schuiven en sproeien in de proefafdelingen (72 en 73) ten opzichte van de controleafdeling (70) getoond. Uit deze figuur blijkt dat de ammoniakemissie bij de geprofileerde ECO⁺-vloer lager lijkt te zijn dan bij de gladde ECO⁺-vloer. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn doordat er meer mest achterblijft op de kleppen van de gladde vloer in vergelijking tot de geprofileerde vloer (zie Sectie 11.3). Er blijkt een duidelijk afdelingseffect aanwezig te zijn, waarbij afdeling 72 hogere ammoniakemissies laat zien dan afdeling 73. Dit blijkt uit het feit dat het verschil in ammoniakemissie tussen geprofileerd en glad voor de wisseling van de vloeren duidelijk groter is dan na de wisseling. Er is geen duidelijke reden aan te geven voor dit verschil. Het enige verschil tussen afdeling 73 en 72 is dat afdeling 73 een eindafdeling is, terwijl afdeling 72 (en 70) een tussenafdeling is. De ECO⁺-vloer gaf gemiddeld voor de wisseling ca. 50% reductie van de ammoniakemissie en na de wisseling ca. 40%. Voor de lagere ammoniakreductie na de wisseling is geen duidelijke reden aan te geven. Er werd geen duidelijk effect gevonden op de ammoniakemissie van elk uur of elke twee uren schuiven en sproeien.

Tabel 8 Ammoniakemissie uit de 3 afdelingen met de verschillende vloertypen bij 1x/uur en 1x/2 uur schuiven en sproeien in de proefafdelingen (72 en 73) ten opzichte van de controleafdeling (70). ¹⁾ Glad; ²⁾ Geprofileerd.

Behandeling	(kg/jaar)			Reductie			T.o.v. 13 kg		
	Afd 70	Afd 72	Afd 73	Afd 70	Afd 72	Afd 73	Afd 70	Afd 72	Afd 73
1x/uur	21.5	13.8 ¹⁾	8.3 ²⁾	0%	36% ¹⁾	62% ²⁾	13.0	8.3 ¹⁾	5.0 ²⁾
1x/2 uur voor wisseling	19.4	11.5 ¹⁾	8.2 ²⁾	0%	41% ¹⁾	58% ²⁾	13.0	7.7 ¹⁾	5.5 ²⁾
1x/2 uur na wisseling	21.3	13.7 ²⁾	12.1 ¹⁾	0%	36% ²⁾	43% ¹⁾	13.0	8.4 ²⁾	7.4 ¹⁾



Figuur 39 Verloop van de ammoniakemissie voor, tijdens en na de periode dat er geen koeien in de stal waren (figuur links) en de reductie van de ammoniakemissie van de ECO+ afdelingen (gemiddelde van beide afdelingen) ten opzichte van de controleafdeling. De groene pijl geeft het moment aan dat de koeien uit de afdelingen gingen en de rode pijl het moment dat ze weer in de afdelingen kwamen.

Tabel 9 Ammoniakemissie (absoluut en relatief) vanuit de mestkelder en vanaf de vloer in de controle- en de proefafdelingen onder de aanname dat: 1) er geen vloeremissie meer is nadat de koeien 3 dagen uit de afdeling zijn; 2) de kelderemissie niet wordt beïnvloed door het uit de afdeling halen van de koeien. ¹⁾ dp = dierplaats.

Behandeling	Absolute emissie (kg/(jaar.dp ¹⁾))		Reductie t.o.v. controle (%)	
	Kelder	Vloer	Kelder	Vloer
Koeien in stal				
Controle	8.0	10.0		
Proef	2.4	7.0	70%	30%
Koeien uit stal				
Controle	8.0	0		
Proef	2.4	0	70%	

In Figuur 39 wordt het verloop van de ammoniakemissie getoond voor de 3 afdelingen rond en tijdens het moment dat de koeien gedurende 3 dagen niet in de afdeling waren. Uit deze figuur blijkt dat de ammoniakemissie in de controleafdeling nadat de koeien uit de afdelingen waren gehaald omlaag ging van ca. 18 naar ca. 8 kg per dierplaats per jaar. Nadat de koeien weer in de afdeling kwamen steeg de ammoniakemissie weer naar ca. 18 kg per dierplaats per jaar. In de proefafdelingen werd de ammoniakemissie verlaagd van gemiddeld 9,4 naar 2,4 kg per dierplaats per jaar. Als we veronderstellen dat de vloeremissie naar 0 gaat nadat de koeien 3 dagen uit de stal zijn en als we verder veronderstellen dat de kelderemissie niet wordt beïnvloed door het verwijderen van de koeien dan kunnen de reducties worden berekend vanaf de vloer en vanuit de mestkelder zoals weergegeven in tabel 9. Uit deze tabel komt naar voren dat de ECO+ vloer de ammoniakemissie vooral lijkt te reduceren uit de mestkelder (70%) en in mindere mate vanaf de vloer (30%). Dit wordt bevestigd door het reductieverloop van de rechterfiguur van Figuur 39. Daar zien we een stijging van de reductie van de ECO+ afdeling ten opzichte van de controleafdeling op het moment dat de koeien uit de stal gaan. Het lijkt er op dat door de relatief grote hoeveelheden feces die achterblijven op de kleppen bij de ECO+ vloer de emissiereductie vanaf de vloer wordt beperkt. Ook de werking van EOW lijkt hierdoor te worden beperkt.

11.4.3.3 Conclusies

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De ECO⁺-vloer met 1 keer per uur of per 2 uren schuiven en sproeien van EOW geeft gemiddeld een ammoniakreductie van 40 – 50% ten opzichte van een standaard betonnen roostervloer.
- Bij de geprofileerde ECO⁺-vloer gaf, tegen de verwachting in het CFS-Dairy iets lagere ammoniakemissies dan de gladde ECO⁺-vloer. De oorzaak hiervan lijkt te liggen in het feit dat bij de gladde ECO⁺-vloer meer mest op de kleppen achterbleef.
- Er kon geen duidelijk effect van 1x/uur of 1x/2 uren schuiven en sproeien op de ammoniakemissie worden geconstateerd.
- De urease-activiteit van het gladde rubber van de ECO+ vloer is vrijwel nul. Toediening van EOW geeft geen extra verlaging van deze urease-activiteit.
- De ECO+-vloer (in combinatie met EOW) lijkt een hogere reductie te geven vanuit de mestkelder (ca. 70%) dan vanaf de vloer (ca. 30%).
- De ECO+-vloer blijkt niet de meest geschikte vloer te zijn om in combinatie met een biocide de ammoniakemissie vanaf de vloer sterk te beperken.

12 Conclusies en vooruitblik

D. Puente-Rodríguez, A.P. Bos, A.J.A. Aarnink, S. Bokma & C. Lokhorst

De uitdagingen voor melkveehouderij systemen ten aanzien van ammoniakemissies zijn al lange tijd groot en in relatie tot natuurbeheer/bescherming, biodiversiteit, kringlooplandbouw en het klimaatakkoord nog verder toegenomen. In november 2018 werd die uitdaging nog een stuk groter, nadat het Europese Hof van Justitie een uitspraak³³ deed die tot gevolg kan hebben dat het Nederlandse beleid ten aanzien van stikstof uitstoot, vastgelegd in het Programma Aanpak Stikstof (PAS) herzien zou moeten worden. Het EDD20 consortium heeft de uitdaging opgepakt om kennis en ontwerpconcepten te ontwikkelen om de ammoniakemissie bij de melkveehouderij vergaand te reduceren. Hierbij een samenvatting van de geleerde lessen en een aantal open vragen en reflectie punten.

- Er zijn veel factoren die samen de ammoniakemissie bepalen (Snoek 2016). Naast eventuele kelderemissies in melkveestallen lijkt de urine die achterblijft op (loop)oppervlakken en aanhecht aan verticale vloerdelen (bijvoorbeeld roosterspleten) de belangrijkste bron. Zelfs relatief kleine hoeveelheden urine kunnen een flink deel van de ammoniakemissie verklaren.
- Primaire scheiding van feces en urine kan bijdragen aan beperking van de ammoniakemissie, maar is zeker geen panacee als de oppervlakken waar de urine op terecht komt een hoge urease-activiteit³⁴ hebben. Bovendien is 100% scheiding van feces en urine zeer moeilijk te bereiken onder de huidige praktijkomstandigheden.
- Intensief reinigen en het snel en volledig afvoeren van urine (ook de laatste restjes) naar een gecontroleerde ruimte is in het algemeen van groot belang om de ammoniakemissie te beperken.
- Het is echter afhankelijk van de urease-activiteit op de oppervlakken hóe snel dat moet. Rubberachtige en polypropyleen-oppervlakken vertonen van zichzelf al een lage urease-activiteit (op het niveau van achtergrond-waarden) (Hoofdstuk 10).
- Een andere veelbelovende strategie om de urease-activiteit drastisch te verlagen is het toepassen van geëlektrolyseerd water (EOW) om de bio-film op oppervlakten te verwijderen door goed te reinigen (Aarnink & Puente-Rodríguez 2017). Op een (beton)vloer met frequente toevoeging van feces en urine neemt de urease-activiteit geleidelijk toe tot een bepaald maximumniveau (Elzing & Swierstra 1993). Het (sterk) beperken van die urease-activiteit kan leiden tot een significante vermindering van ammoniakemissie. In dit project is aangetoond dat het met deze innovatie mogelijk is om de urease-activiteit tot bijna nul te reduceren, ondanks frequente bevuilding van dit oppervlak met feces en urine. EOW verlaagt de urease-activiteit en daarmee wordt de omzetting van ureum naar ammonium en ammoniak vertraagd. Dit biedt tijdswinst om goede reiniging praktisch en economisch mogelijk te maken.
- Op basis van de twee hiervoor genoemde punten en door de ontwikkeling en implementatie van efficiënte reinigingssystemen is het mogelijk om de urease-activiteit en daarmee de ammoniakemissie vanaf de vloer tot bijna nul terug te brengen.
- In dit project is geconcludeerd dat (als urine en feces uit de vloer verwijderd kunnen worden) dichte vloeren in theorie een betere basis vormen voor ammoniakarme systemen dan roostervloeren. Roostervloeren zorgen voor een snelle afvoer van urine, maar hebben de (extra) uitdaging om de emissie vanuit zowel de kelder als die van de verticale zijden van de roosters te beperken. Een goed reinigingssysteem voor dichte vloeren moet echter nog wel ontwikkeld en toegepast worden (zie Sectie 9.3 voor de uitwerking van kansrijke ontwerpconcepten).
- Dichte vloeren maken het makkelijker om mest en urine gescheiden af te voeren, wat goed is voor zowel een betere benutting en aanwending van mineralen elders (zie Hoofdstuk 8), als voor de beperking van de emissie van broeikasgassen, als voor de beperking van de ammoniakemissie; waarbij voor de laatste geldt dat de reiniging dan wel op orde moet zijn.

³³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:62017CJ0293&qid=1541601800935> (geraadpleegd november 2018).

³⁴ Het enzym urease zorgt voor omzetting van ureum in ammonium. Ammonium in de oplossing kan vervolgens als ammoniak emitteren naar de lucht.

- Aanvullend onderzoek naar de werking van klepsystemen bij roostervloeren zou uitgevoerd moeten worden. Uit de resultaten van een beperkt aantal metingen die we hebben uitgevoerd, blijkt dat ze de doorlaatbaarheid van feces naar de mestkelder kunnen beperken waardoor er een (emitterende) voorraad aan mest op of dicht bij het oppervlak aanwezig is.
- Systemen zoals mestrobots die in staat zijn om verschillende functies (mest-opzuigen of schrapen, vloer nat maken/dweilen, EOW toedienen) uit te voeren worden steeds belangrijker om de veehouderij toekomstbestendig te maken.
- Schone stallen zijn niet alleen positief voor de NH₃ emissie maar ook voor de dieren en mensen die leven/werken in deze ruimtes.
- De maatschappelijke speelruimte ten aanzien van de openheid van melkveestallen is groter dan je intuïtief zou verwachten (Hoofdstuk 6). Stallen hoeven niet letterlijk open te zijn, maar transparantie en landschappelijke inpassing zijn wel belangrijk ('Vanaf een afstand is het verschil tussen een open of dichte stal vaak nauwelijks te zien,' Hoofdstuk 6).
- Systemen om in relatief open stallen de ammoniakemissie te reduceren middels nieuwe innovatieve lage druk luchtreiniging zijn denkbaar (zie Hoofdstuk 7) maar moeten nog verder uitgewerkt en in de praktijk getest worden.
- Participatieve en reflectieve ontwerp processen zoals RIO worden steeds belangrijker om goede/volledige probleemanalyses uit te kunnen voeren en de vele complexe (ecologische, economische, technische, sociale, etc.) kennisdomeinen, eisen en wensen binnen nieuwe systemen te kunnen verwerken.
- Het is theoretisch mogelijk om stalsystemen te ontwikkelen die de ammoniakemissie onder de 3 kg per dierplaats per jaar brengen. Bestaande systemen/praktijken, hoge investeringen en marktdynamieken en krachten vormen serieuze belemmeringen voor deze innovaties. In het uitgevoerde experiment met de combinatie van EOW-roostervloer (ECO-Vloer)-robotreiniging (sproeien EOW en water) kwamen we uit op een reductie van circa 50% ten opzichte van een standard Nederlands stalsysteem.

Literatuur

- Aarnink A.J.A. & Puente-Rodríguez D. (2017). Reduction of ammonia emission from areas where animals are maintained. International patent application PCT/NL2018/050820.
- Elzing, A., Swierstra, D. 1993. Ammoniakemissie-metingen in een modelsysteem van een varkensstal: de invloed van vloerbevulling en vloertype. Rapport 93-2, IMAG-DLO, Wageningen.
- Snoek, J.W. 2016. Refining a model-based assessment strategy to estimate the ammonia emission from floors in dairy cow houses. PhD thesis, Wageningen University, the Netherlands.

Bijlage 1 Beschrijving van de meting van de urease-activiteit

First, the floor surface was cleaned by hand with a hand scraper with a rubber strip. Immediately afterwards, a small cylinder (inside diameter 80 and 60 mm deep) was placed on a sample (zie Figuur hieronder – Fig. 1). Since the cylinder was open at both top and bottom, it had to be kept in contact with the surface of the sample to prevent leakage of the solution that was later poured into the cylinder. Therefore, the cylinder was cast in a ring-shaped concrete element, 9 kg in weight and provided with a rubber ring. Then, 55 ml of a urea solution (10 g urea-N/l) was poured into the cylinder and stirred. The solution, and thus also the urea, was in direct contact with the urease-active surface of the sample, enabling degradation of urea to ammonium. A 5 ml sample was taken at $t = 0$ s and 1 ml 1 M hydrochloric acid was added. The acid stopped bacterial activity that was eventually present in the 5 ml sample, thus preventing further degradation of urea in the sample. Moreover, eventual release of ammonia from the sample was prevented. The remaining 50 ml of urea solution in the cylinder was separated from the outside air by covering the cylinder with a plastic cap. After half an hour the solution was stirred and again a 5 ml sample was taken and treated as the sample taken at $t = 0$ s. Ammoniacal nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NH}_3\text{-N}$) in both samples was measured using a spectrophotometer. The measurement was based on the absorption of 655 nm wavelength light, directed through a sample in a glass tube. Absorption was compared with an absorption curve obtained from results of spectrophotometer tests on samples with known ammoniacal nitrogen content. The curve was calibrated each time a batch of samples was analysed. The result of the sample taken at $t = 0$ s was used to correct for the ammoniacal nitrogen present on the floor surface before the measurements started. Urease activity was expressed as the increase of ammoniacal nitrogen content in the solution poured into the cylinder and expressed in mg ($\text{NH}_4\text{-N}$)/l.

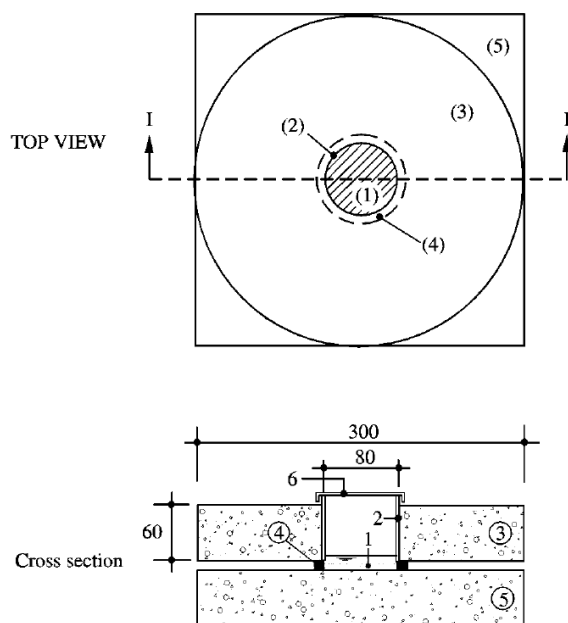


Fig. 1. Cross-section and plan view of the instrument to measure urease activity; (1) urea solution, (2) cylinder to be shut off, (3) concrete element, (4) rubber ring, (5) fouled concrete sample, (6) plastic cap (all dimensions mm)

Literatuur

- Braam C.R., Smits M.C.J., Gunnink H., Swierstra D. (1997). Ammonia emission from a double-sloped solid floor in a cubicle house for dairy cows. *J. agric. Engng Res.* 68: 375-386.
- Braam, C.R. & Swierstra, D. (1999). Volatilization of Ammonia from Dairy Housing Floors with Diferent Surface Characteristics. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(1), 59-69. doi: 10.1006/jaer.1998.0345

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



Wageningen Livestock Research
P.O. Box 338
6700 AH Wageningen
The Netherlands
T +31 (0)317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research creates science based solutions for a sustainable and profitable livestock sector. Together with our clients, we integrate scientific knowledge and practical experience to develop livestock concepts for future generations.

Wageningen Livestock Research is part of Wageningen University & Research. Together we work on the mission: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. A staff of 6,500 and 10,000 students from over 100 countries are working worldwide in the domain of healthy food and living environment for governments and the business community-at-large. The strength of Wageningen University & Research lies in its ability to join the forces of specialised research institutes and the university. It also lies in the combined efforts of the various fields of natural and social sciences. This union of expertise leads to scientific breakthroughs that can quickly be put into practice and be incorporated into education. This is the Wageningen Approach.

