Leerstoelgroep Farm Technology

BSc thesis Agrotechnologie

Het effect van het urineergedrag van melkkoeien op de ammoniakemissie van melkveestallen

F. Kool

Mei 2012

WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN UR

Het effect van het urineergedrag van melkkoeien op de ammoniak-emissie van melkveestallen

Naam vak	:	Bachelorafsluiting Agrotechnologie
Vakcode	:	FTE-80812
Studiebelasting	:	12 credits
Datum	:	Mei 2012

Student	:	F. (Fred) Kool
Registratienummer	:	88-07-13-462-070
Studieprogramma	:	BSc Agrotechnologie (BAT)

Begeleider(s)	:	J.W. Snoek MSc
Examinator	:	Prof. dr. ir. P.W.G. Groot Koerkamp
Leerstoelgroep	:	Farm Technology FTE Droevendaalsesteeg 1 6708 PB Wageningen Tel: +31 (317) 48 29 80 Fax: +31 (317) 48 48 19 e-mail: webmaster.FTE@wur.nl

WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN UR

Voorwoord

In een tijd van discussies over megastallen en verschillende vormen van milieubescherming is het belangrijk te weten of en hoeveel effect een melkveestal heeft op zijn omgeving. Hiervoor worden modellen gebruikt om voorspellingen over deze effecten te kunnen. Dit zijn handige hulpmiddelen die veel tijd en geld kunnen besparen. Het onderzoek dat beschreven is in deze thesis test het zogenaamde “Snelstal model” in de praktijk en geeft suggesties voor verbeteringen van het model. Hopelijk kan dit onderzoek bijdragen aan het verbeteren van het Snelstal model, er voor zorgen dat de werkelijkheid door dit model nauwkeuriger kan worden bepaald en een bijdrage kan leveren aan het overkoepelende doel: meer inzicht krijgen in de ammoniakemissie van melkveestallen.

Ik wil hier graag mijn begeleider, Dennis Snoek, van harte bedanken voor zijn hulp en advies tijdens het onderzoek. Zijn inzicht in het onderwerp en zijn suggesties voor de opzet van bepaalde delen van het verslag en bijbehorende referenties zorgden voor een correcte en vlotte verslaglegging. Michel Smits wil ik bedanken voor het verlenen van zijn medewerking aan het interview en het aanreiken van bruikbare bronnen voor de literatuurstudie.

Fred Kool

Samenvatting

Voor het verlenen van een vergunning voor de bouw van een nieuwe melkveestal moet onder andere de ammoniakemissie worden bepaald. Dit aangezien ammoniak binnen de veehouderij, maar ook binnen Nederland een sterke vervuiler is. De ammoniakemissie van een stal wordt in eerste instantie door de overheid gesimuleerd met behulp van het simulatiemodel Snelstal. In Snelstal wordt een melkveestal gesimuleerd en wordt voor deze stal de ammoniakemissie berekend. Dit onderzoek omvat een literatuurstudie naar een aantal van de uitgangspunten van het model Snelstal. Zo wordt onderzocht waar melkkoeien in de stal urineren, hoe vaak en wanneer ze dit doen. Ook wordt gekeken naar de invloed van bijvoorbeeld stalinrichting op deze factoren.

Uiteindelijk wordt door middel van simulaties de invloed van het daadwerkelijke urineergedrag van melkkoeien op de totale ammoniakemissie van een ligboxenstal beoordeeld. Hierin wordt het Snelstalmodel gebruikt, een versie van Snelstal met toevoeging van een raster (Rastermodel) en een versie waarbij de rastervakken aangepaste kansen op een urinatie hebben (Kansenkaart). In het model wordt uitgegaan van een standaardsituatie met een 2-1 ligboxenstal met traditionele melkstal. Hierin bevinden zich 100 melkkoeien op een totale roostervloeroppervlakte van 350 m^2.

In Snelstal wordt uitgegaan van urinaties die volledig willekeurig over de stal zijn verdeeld. In dit onderzoek is vastgesteld of de urinaties van melkkoeien zich op bepaalde plaatsen in de stal concentreren. Uit de literatuurstudie blijkt dat melkkoeien met name urineren vanuit de ligbox (38% van alle urinaties) en ook veel terwijl zij aan het voerhek staan (25%). De meeste urinaties vinden plaats als koeien actief zijn (75%) terwijl de meeste tijd wordt gebruikt voor rusten (15 uur). 21,4% van de urinaties vindt plaats binnen drie minuten nadat een koe is opgestaan. Het aantal urinaties is, mede hierdoor, aanzienlijk hoger (tweemaal zo hoog als gemiddeld) rond de momenten van melken en voeren, dit zijn de voornaamste momenten waarop de koeien actief worden. De gemiddelde urineerfrequentie van Holstein-Friesian koeien is 8,8 keer per koe per dag.

De vertaling van de gevonden percentages voor de verschillende urineerlocaties naar de kansenkaart en toepassing hiervan in het simulatiemodel resulteert in een significante afname van de totale ammoniakemissie ($p < 0,01$). Dit effect is consistent en treedt op bij simulaties met een roostervloer zowel als met een sleuvenvloer, zie onderstaande tabel. De sleuvenvloer leidt tot een hogere ammoniakemissie doordat niet voor alle variabelen bekend is hoe zij veranderen ten opzichte van de roostervloer. Dit betekent dat het urineergedrag van melkkoeien van invloed is op de ammoniakemissie van een ligboxenstal.

Tabel: Gemiddelde berekende ammoniakemissie in kg per koe per jaar voor de totale stal (kelder en vloer) met behulp van verschillende simulatiemodellen voor twee soorten vloeren.

Simulatiemodel	Roostervloer	Sleuvenvloer
Snelstal	11,070*	12,073*
Rastermodel	11,203*	12,208*
Kansenkaart	10,995*	11,946*

***Gemiddelden verschillen significant $p < 0,01$**

Inhoudsopgave

1 Inleiding 1
1.1 Wetgeving 1
1.2 Ammoniakemissie 1
1.3 Onderzoekskader 2
1.4 Huidige situatie 2
1.5 Gewenste situatie 3
1.6 Probleemdefinitie 3
1.7 Doel 3
1.8 Onderzoeksvragen 4
1.9 Aanpak 4
1.10 Afbakening 4
1.11 Resultaat 4
2 Literatuurstudie 5
2.1 Urineerlocaties 5
2.2 Urineermoment 7
2.3 Urineerfrequentie 7
3 Materiaal en methoden 9
3.1 Literatuurstudie 9
3.2 Simulaties model 10
3.2.1 Standaardinput 10
3.2.2 Stal 10
3.2.3 Bepalen van de gebieden 10
3.2.4 Bepalen kansen 12
3.2.5 Bepalen waarden kansenkaart 13
3.3 Analyse 14
4 Resultaten 15
4.1 Simulatiemodel 15
4.2 Analyse 16
5 Discussie 19
5.1 Literatuurstudie 19
5.2 Materiaal en methoden 19

5.2.1 Stal 19
5.2.2 Simulaties 20
5.3 Analyse 20
6 Conclusies 23
6.1 Urineerlocaties 23
6.2 Urineermoment 23
6.3 Urineerfrequentie 23
6.4 Urineergedrag 23
6.5 Ammoniakemissie 23
6.6 Hoofdconclusie 24
7 Aanbevelingen 25
Referenties 27

1 Inleiding

Waar in de jaren ’50 en ’60 van de vorige eeuw de aandacht uitging naar een hogere productie binnen de veehouderij ligt inmiddels de focus vooral op dierwelzijn en milieu. Nederland heeft met haar intensieve veehouderij een belangrijke taak in het terugdringen van de druk op het milieu. Deze druk op het milieu bestaat onder andere uit verzuring als gevolg van ammoniakemissie. Het houden van landbouwproductiedieren is één van de hoofdoorzaken van verzuring in Nederland (Heij en Schneider, 1995).

Binnen de veehouderij draagt met name de rundveehouderij bij aan de eerder genoemde verzuring. In 1990 bedroeg de ammoniakemissie vanuit de rundveehouderij 60% van de totale landelijke ammoniakemissie. Ammoniak komt op verschillende plaatsen vrij binnen de rundveehouderij, de stallen zijn met 20% van de totale emissie een belangrijke bron (Lekkerkerk *et al.*, 1995).

1.1 Wetgeving

De Wet Ammoniak en Veehouderij (WAV) is opgesteld ter regulering van de relatief grote hoeveelheid ammoniak die wordt geëmitteerd door de veehouderij en de daarmee samenhangende schade aan het milieu. Aan de hand van deze wet en de bijbehorende Regeling Ammoniak en Veehouderij (RAV) worden de huidige en nieuwe huisvestingssystemen in de veehouderij beoordeeld. Voor diverse huisvestingssystemen zijn emissiefactoren berekend en gemeten. Voor het verlenen van een vergunning voor het bouwen van een stal is deze emissiefactor van groot belang. Een te hoge emissiefactor kan leiden tot het weigeren van een vergunning voor de betreffende stal (InfoMil, 2002; Pronk en Brinkhorst, 2002).

Voor het bepalen van de ammoniakemissie gebruikt de overheid onder andere het computersimulatiemodel ‘Snelstal’. Dit model is in 1998 ontwikkeld aan de hand van het onderzoek van Monteny *et al.* (1998). Voor huisvestingssystemen die niet gangbaar zijn en daardoor niet voorkomen in de lijst met reeds berekende en gemeten emissiefactoren, wordt de ammoniakemissie in eerste instantie bepaald door middel van dit model. Het model speelt daardoor een rol bij de aanvraag van een vergunning voor het bouwen van een nieuwe stal.

1.2 Ammoniakemissie

Ammoniak (NH_3) ontstaat door de hydrolyse van ureum uit urine. Dit proces wordt gekatalyseerd door het enzym urease dat geproduceerd wordt door micro-organismen in vaste mest (vergelijking 1.1). (Monteny en Erisman, 1998)

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \xRightarrow{urease} 2NH_3 + CO_2 \qquad \textbf{(1.1)}$$

De NH_3 die ontstaat is een onderdeel van de zogeheten ‘Total Ammoniacal Nitrogen’ (TAN). Dit is de som van ammoniak en ammonium (NH_4^+) in de urine. Deze beide stoffen zijn in evenwicht aanwezig en dit evenwicht wordt beïnvloed door zowel zuurtegraad als temperatuur (vergelijking 1.2). Een toename van de pH-waarde en/of de temperatuur leiden tot meer NH_3 in de vloeistof. NH_4^+ is niet vluchtig en draagt daarom niet (direct) bij aan de ammoniakemissie. Aanzuren van de drijfmest en/of de stalvloer door spoelen met verdunde formaldehyde verlaagde de NH_3 emissie significant, zoals is beschreven in het review van Monteny en Erisman (Monteny en Erisman, 1998).

$$NH_3 + H_2O \overset{pH,T}{\Longleftrightarrow} NH_4{}^+ + OH^- \quad \textbf{(1.2)}$$

Ammoniak is wel vluchtig en ook hierbij ontstaat een evenwicht, ditmaal tussen de NH_3 in gasvorm en de opgeloste NH_3. Dit evenwicht wordt beïnvloed door de temperatuur zoals volgt uit de wet van Henry (vergelijking 1.3).

$$NH_3(l) \overset{T}{\Longleftrightarrow} NH_3(g) \quad \textbf{(1.3)}$$

De mate waarin de ammoniak vervluchtigt wordt verder bepaald door de concentratie ammoniak in de grenslaag (luchtlaag vlak boven de vloeistof) en die in de lucht erboven (vergelijking 1.4). Dit evenwicht is afhankelijk van de temperatuur en de luchtsnelheid in de grenslaag (Monteny en Erisman, 1998).

$$NH_3(g, bound) \overset{T,v}{\Longleftrightarrow} NH_3(g, air) \quad \textbf{(1.4)}$$

Kortweg: ammoniak emitteert wanneer urine en vaste mest met elkaar in aanraking komen, waarbij de vaste mest overigens niet vers hoeft te zijn om urease te bevatten en het ontstaan van ammoniak te bevorderen. De mate waarin dit gebeurt wordt door meerdere factoren beïnvloed. Dit onderzoek zal aan deze factoren echter verder geen aandacht besteden.

Na verloop van tijd ontstaat door veelvuldig mesten van het melkvee op de vloer van een ligboxenstal een dunne laag mest. Deze laag blijft ook achter na het schuiven en is dus permanent aanwezig in een ligboxenstal. Hierdoor mag verondersteld worden dat de urease die nodig is voor de hydrolyse van ureum op de gehele stalvloer in overmaat aanwezig is. Dit betekent dat de mate van ammoniakemissie nu alleen nog afhankelijk is van de urinaties van de koeien.

1.3 Onderzoekskader

Dit onderzoek is onderdeel van een groter onderzoek naar ammoniakemissie uit ligboxenstallen voor melkvee. In dit onderzoek wordt het Snelstal model nauwkeurig geëvalueerd. Door onderzoek moet blijken of onderdelen van het model moeten worden aangepast om een nauwkeurigere benadering van de ammoniakemissie te krijgen.

In voorgaande onderzoeken is reeds gekeken naar de methoden voor het meten van urineplassen in een stal (de Hoog, 2011), naar het gedrag van urine als het op de vloer terechtkomt (de Jong, 2010; Straver, 2010), plasgroottes op verschillende typen vloeren (Snoek, 2009; Haesen, 2011) en naar het proces van verdamping bij urine. Tevens is het Snelstal model overgezet naar een andere programmeertaal (van Laar, 2011), zodat deze eenvoudiger kan worden aangepast. Dit alles moet tot een nieuw model leiden dat de ammoniakemissie van een stal nauwkeuriger kan voorspellen dan de huidige versie van Snelstal.

1.4 Huidige situatie

In Snelstal wordt een aantal mogelijke locaties voor urineren vastgesteld door de (rooster-) vloeroppervlakte door de gemiddelde plasgrootte te delen. Hierdoor ontstaat een matrix met mogelijke locaties, elke ter grootte van de gemiddelde plasgrootte op dat type vloer. Vervolgens wordt na een vast tijdsinterval een willekeurige locatie gekozen waar een urinatie plaatsvindt. Als een urinatie plaatsvindt krijgt het betreffende element van de matrix een ureumwaarde die na verloop van tijd wordt omgezet in NH_3.

Snelstal heeft enige beperkingen. Als een urinatie plaatsvindt op een element waar nog een plas emitteert wordt deze weggespoeld en verdwijnt het ureum naar de mestkelder. Dit model gaat er vanuit dat urineren gelijkmatig verdeeld over de stalvloer gebeurt. Dit is niet realistisch aangezien op sommige plaatsen in de stal vaker geürineerd wordt dan op andere. Ook kunnen plassen in het huidige model niet overlappen hetgeen in de praktijk uiteraard wel gebeurt. Koeien urineren mogelijk ook niet met een vast tijdsinterval, maar meer geconcentreerd op bepaalde momenten van de dag.

Er is naast het originele Snelstal model ook een versie van dit model beschikbaar in MATLAB (van Laar, 2011). Dit model is reeds aangepast waarbij de stalvloer is opgedeeld in een raster met vakken van 10 bij 10 centimeter. Hierdoor is meer variatie mogelijk in de locaties van plassen en kan gedeeltelijke overlapping van plassen plaatsvinden. Naamvoering voor de modellen binnen dit rapport zijn “Snelstal” voor de MATLAB-versie van het model dat door de overheid gebruikt wordt. De naam “Rastermodel” wordt gebruikt voor ditzelfde model met daarin verwerkt het raster. In het Rastermodel zal aan de hand van dit onderzoek ook een kansenkaart worden toegepast, welke voortkomt uit de in dit werk beschreven literatuurstudie. Door deze toevoeging ontstaat een derde en laatste model, dit krijgt de naam “Kansenkaart” mee.

1.5 Gewenste situatie

In de gewenste situatie komt een verbeterd model beschikbaar, waarin de verbeterde aannames van Snelstal zijn verwerkt. Het model houdt rekening met het natuurlijke urineergedrag van melkvee. Dit wil zeggen dat per rastervak de kans dat hier een urinatie plaatsvindt wordt geïntegreerd in het model. Zodoende kan het model de werkelijke situatie beter benaderen en de daadwerkelijke ammoniakemissie beter voorspellen.

1.6 Probleemdefinitie

Het urineergedrag van melkkoeien is niet bekend. Dit gedrag omvat het aantal urinaties, de locaties hiervan en het moment van urineren. Ook het eventuele effect van dit urineergedrag op de totale ammoniakemissie van een melkveestal is niet bekend.

1.7 Doel

Dit onderzoek heeft twee doelen. Ten eerste het vaststellen van de kans dat een urinatie plaatsvindt voor elk rastervak van de stalvloer op basis van literatuuronderzoek . Ten tweede met behulp van het Snelstal emissiemodel het effect van de nieuwe aannames over urineergedrag op de emissie van een ligboxenstal vaststellen.

Als een significant verschil in urineergedrag optreedt met de huidige aanpak kan de aangepaste kansenkaart worden geïntegreerd in het Rastermodel en daarmee de werkelijkheid beter benaderen. Op deze manier kan ook meer inzicht in het ontstaan en emitteren van ammoniak in een melkveestal worden verkregen. Met dit inzicht kan vervolgens worden getracht de emissie terug te dringen.

1.8 Onderzoeksvragen

Hoofdvraag:

Wat is het effect van het urineergedrag van melkvee op de ammoniakemissie uit een melkveestal?

Deelvragen:

1. Waar urineert melkvee?
2. Wanneer urineert melkvee?
3. Hoe vaak urineert melkvee?
4. Wat is de relatie tussen urineerlocatie, -moment en frequentie en hoe wordt dit beïnvloedt door het staltype en -inrichting?
5. Wat is de ammoniakemissie uit een melkveestal bij verschillende simulaties, waarin al dan niet rekening wordt gehouden met urineergedrag?

1.9 Aanpak

Door middel van een literatuurstudie wordt achterhaald waar, wanneer en hoe vaak koeien in de stal urineren. Dit staat model voor het urineergedrag van het melkvee (vragen 1-3). Aanvullend wordt informatie over de relatie tussen stalinrichting en dit gedrag beoordeeld (vraag 4). Een kansenkaart wordt aan de hand van de voorgaande gegevens berekend. Als laatste zal een aantal simulaties worden gedaan met de verschillende simulatiemodellen. Hierbij staat het effect van het urineergedrag op de ammoniakemissie centraal (vraag 5).

In Nederland worden de meeste melkkoeien gehouden in een ligboxenstal met rooster- of sleuvenvloer. Hierbij wordt de drijfmest opgeslagen onder de rooster- of sleuvenvloer en ligboxen en eventueel in een afgedekte silo buiten het stalsysteem. Met name waar urine en vaste mest samenkomen ontstaat ammoniak. In een ligboxenstal kunnen we daarom twee bronnen identificeren: de vloer en de mestkelder. In dit onderzoek wordt gefocust op de ammoniakemissie van de vloer van ligboxenstallen met melkvee.

1.10 Afbakening

In dit onderzoek wordt gekeken naar het urineergedrag in een ligboxenstal, niet naar andere staltypes. Stalgrootte en -inrichting kunnen wel variëren.

De input van het Rastermodel zal worden aangepast waar het gaat om de kans op een urinatie. Buiten deze aanpassing zal nergens iets aan het model veranderd worden. De effecten hiervan op de ammoniakemissie, die door het model wordt berekend, zullen vervolgens worden geanalyseerd.

Er zullen geen veldobservaties worden verricht om het urineergedrag te bepalen.

1.11 Resultaat

Het resultaat omvat een verslag van het uitgevoerde onderzoek en de uitkomsten hiervan. De kans dat een koe urineert in een bepaald deel van de stal wordt in kaart gebracht. Deze kansenkaart wordt vervolgens toegepast in het emissiemodel.

2 Literatuurstudie

2.1 Urineerlocaties

De urineerlocaties zijn voor de implementatie in het model het belangrijkste onderdeel van het urineergedrag. Om de locaties vast te stellen worden in de stal verschillende gebieden onderscheiden: de ligboxen, de roostervloer achter de ligboxen, de roostervloer in de dwarspaden en de roostervloer aan de voergang, de wachtruimte en de melkstal (Figuur 2-1).

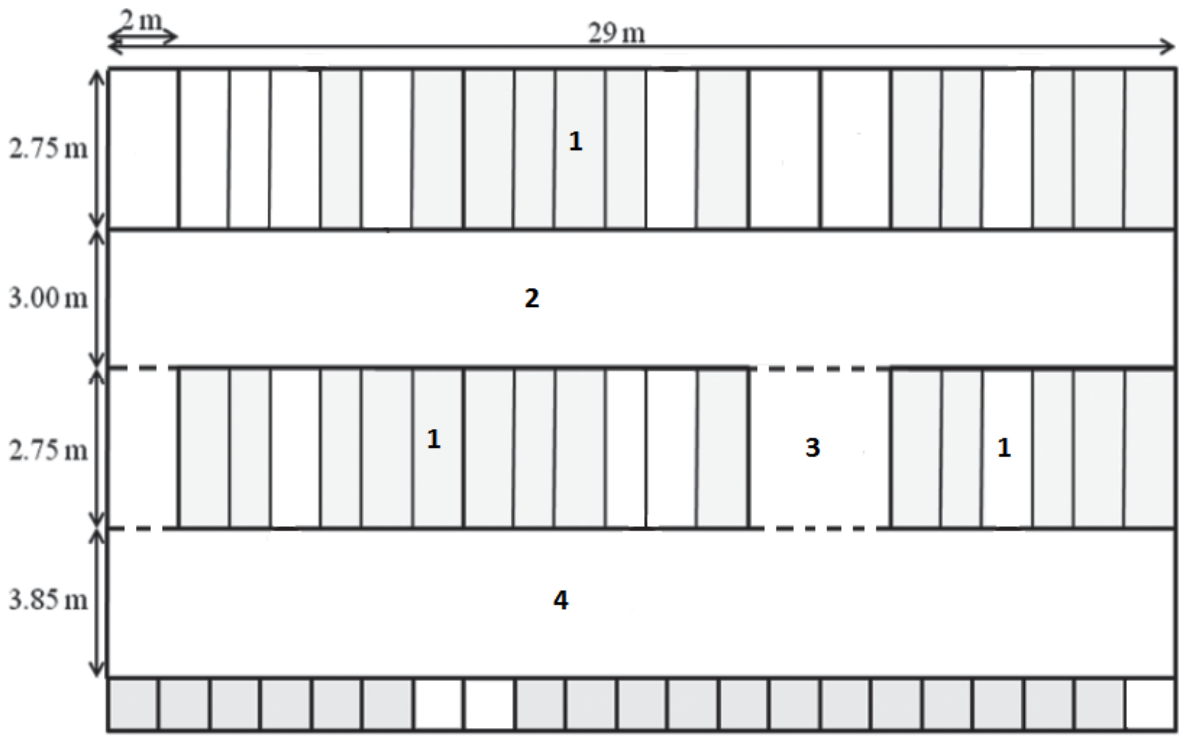
In de wei hangt de ruimtelijke verdeling van urineplassen samen met de tijd die een koe doorbrengt in dat gedeelte van de wei (Oudshoorn *et al.*, 2008). Dit verband lijkt niet te bestaan in heuvel- of bergachtige omgevingen waar koeien meer geconcentreerd op bepaalde locaties urineren (Betteridge *et al.*, 2010). Ook in de onderzoeken van Villettaz Robichaud *et al.* (2011) en Hirata en Higashiyama (1996), in stallen, wordt dit verband niet gevonden. De kans dat een koe op een bepaalde locatie urineert hangt dus niet alleen af van de kans dat een koe zich op die plaats bevindt (Villettaz Robichaud *et al.* 2011). Dit betekent dat de verblijftijden van een koe in de stal niet voldoende zeggen over de urineerlocaties van diezelfde koe.

Afgeleid van de resultaten van Villettaz Robichaud *et al.* (2011) en van Duinkerken *et al.* (2000) kunnen we de grafiek in Figuur 2-2 maken. Hierin is weergegeven hoe vaak een koe in een bepaald gebied van de stal urineert. De verschillende gebieden uit het eerstgenoemde onderzoek worden getoond in Figuur 2-1. Met behulp van Figuur 2-2 kan de kans worden bepaald dat een koe in een bepaald gebied urineert.

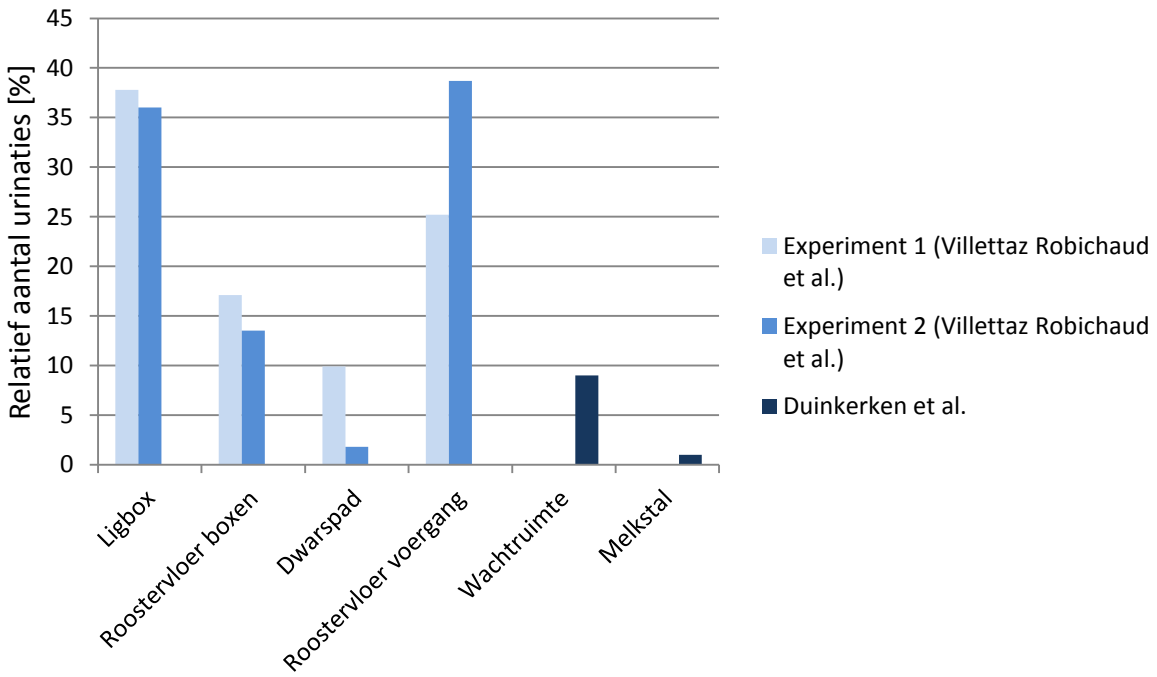
Binnen een bepaalde zone zal echter ook niet op elke plaats even vaak geürineerd worden. De kansverdeling kan dus ook binnen deze zone variëren. Dit effect zal in dit onderzoek niet worden toegepast. In het geval van een automatisch melksysteem (AMS) zullen de kansen licht verschillen. Zo zullen de urinaties in de wachtruimte afnemen, doordat er minder daadwerkelijke wachtruimte aanwezig is. Ook worden niet alle koeien tegelijk uit de ligboxen gehaald en in de wachtruimte gezet om te worden gemolken. Waarom dit van belang is voor het aantal urinaties is te lezen in paragraaf 2.2. Als gevolg van het lagere aantal urinaties in de wachtruimte zal de kans op urinaties in andere gebieden toenemen.

Het is duidelijk dat in het ligboxgedeelte en aan de voergang het meest wordt geürineerd. Ondanks dat hier ook de meeste tijd wordt doorgebracht is de verdeling van de urinaties niet gelijk aan de verdeling van de verblijftijden (Jagtenberg *et al.* 1997). In het ligboxgedeelte wordt relatief meer tijd doorgebracht zonder te urineren. Dit komt overeen met de bevindingen van Aland *et al.* (2002) die in paragraaf 2.2 aan bod zullen komen.

In tegenstelling tot bij het mesten staat de koe bij het urineren vrijwel altijd stil. Dit heeft tot gevolg dat de urine op één plaats valt en daar een plas vormt. Dit betekent dat op plaatsen met veel koeverkeer, zoals bij de uitloop van de melkstal tijdens en vlak na het melken, weinig tot niet geürineerd zal worden. Plaatsen waar koeien voor langere tijd stilstaan of liggen hebben een grotere kans op urinaties. Dit komt overeen met de percentages in Figuur 2-2. Liggend urineren koeien vrijwel niet (Villettaz Robichaud *et al.* 2011).



Figuur 2-1: Plattegrond van de ligboxenstal gebruikt in de experimenten genoemd in Figuur 2-2. Hierin zijn de volgende onderdelen aanwezig: ligboxen (1), roostervloer boxen (2), dwarspad (3) en roostervloer voergang (4). (Villettaz Robichaud *et al.* 2011)



Figuur 2-2: Ruimtelijke verdeling van urinaties in een ligboxenstal met melkstal als percentage van het totaal aantal urinaties op een dag. In experiment 1 bevonden de waterbakken zich in het dwarspad, in experiment 2 in de voergang. (aan de hand van Villettaz Robichaud *et al.* (2011) en van Duinkerken *et al.* (2000))

2.2 Urineermoment

Als de koe rust vertoont deze minder eliminaties (mesten en urineren). Een melkkoe rust ruwweg 15 uur per dag. In deze tijd vindt slechts 35% van de eliminaties plaats. Het aantal urinaties neemt dus toe naarmate de activiteit toeneemt. Dit is met name duidelijk tijdens het voeren of melken, momenten waarop alle koeien tegelijk actief worden dan wel blijven (Aland *et al.*, 2002). Ruim een vijfde (21,4%) van de urinaties vindt plaats binnen drie minuten na het opstaan volgens Villettaz Robichaud *et al.* (2011), wat de waarnemingen van Aland *et al.* (2002) (deels) bevestigt. Ook Smits bevestigt in het interview in bijlage B dat het grootste gedeelte van de koeien urineert als zij voor het melken worden opgedreven. De mate van activiteit lijkt hier geen effect op te hebben. In het onderzoek van Oudshoorn *et al.* (2008) werd de tijd dat koeien mochten grazen verkort. Hierdoor nam de activiteit, lopen en grazen, van de koeien aanzienlijk toe. Het aantal urinaties per koe per uur bleef echter gelijk.

In het geval van bijvoorbeeld een AMS zal alleen tijdens het voeren een toename van het aantal actieve koeien en dus urinaties plaatsvinden. De rest van de dag zullen koeien vrij evenredig over de verschillende stalonderdelen verdeeld zijn. Zoals ook te zien is in bijlage A is het aantal urinaties rond het moment van voeren (en tevens melken) aanzienlijk hoger dan de rest van de dag.

2.3 Urineerfrequentie

In veel onderzoeken over urineren en emissies wordt aandacht besteedt aan de urineerfrequentie. Het verschil tussen individuele dieren is behoorlijk groot, dit blijkt uit de spreiding in sommige onderzoeken (Tabel 2-1). In Snelstal wordt uitgegaan van Holstein-Friesian (HF) melkkoeien en dus zijn vooral gevonden waarden voor deze dieren van belang.

De invoerwaarde van het huidige model is 10 urinaties per koe per dag, gebaseerd op Whitehead (1995). De gevonden waarden dienen dus tevens voor de hele dag te gelden. In Tabel 2-1 staan twee bronnen die wel gewerkt hebben met HF melkkoeien, maar niet de gehele dag hebben geobserveerd. Voor beide onderzoeken geldt dat de melkstal en wachtruimte niet in het observatiegebied lagen. Uit van Duinkerken *et al.* (2000) blijkt dat in deze gebieden 10% van de urinaties terechtkomt, door hiervoor te corrigeren kunnen ook deze onderzoeken worden gebruikt voor het berekenen van een gemiddelde. Dit gemiddelde komt hiermee op 8,8 urinaties per koe per dag te liggen.

Villettaz Robichaud *et al.* (2011) vonden een correlatie van 0,38 tussen mest- en urineerfrequentie. Deze correlatie is niet sterk en de mestfrequentie van koeien voorspelt de urineerfrequentie dus onvoldoende.

Metz en Mekking (1984) constateerden dat in een beperkte ruimte het aantal urinaties toeneemt. Met name de ranglage dieren vertonen aanzienlijk meer urinaties: 20% meer per dag, dan in een grotere vrije ruimte. Zij schrijven dit effect met name toe aan toename van de stress veroorzaakt door een groter aantal confrontaties bij intensiever bezette stallen.

Tabel 2-1: Aantal urinaties per dag, gevonden in verschillende onderzoeken en een aantal randvoorwaarden uit deze onderzoeken.

Onderzoek	Gemiddelde Frequentie [/dag]	Minimum [/dag]	Maximum [/dag]	Hele dag gemeten	Holstein-Friesian
(Sahara *et al.* 1990)	4,3	2,3	8	Onbekend	Onbekend
(van Duinkerken *et al.* 2000)	6,0	Onbekend	Onbekend	Ja	Ja
(Oudshoorn *et al.* 2008)	6,5	Onbekend	Onbekend	Onbekend	Ja
(Villettaz Robichaud *et al.* 2011)	8,2	2	19	Nee	Ja
(Smits *et al.* 1996)	8,6	Onbekend	Onbekend	Nee	Ja
(Aland *et al.* 2002)	9,0	5	18	Ja	Nee
(Hardison *et al.* 1956)	9,4	Onbekend	Onbekend	Ja	Ja
(Smits *et al.* 2003)	10,0	9	11	Ja	Ja
(Metz en Mekking 1984)	11,5	8	14	Nee	Nee

Slechts een beperkt aantal onderzoeken besteden aandacht aan de oorzaken voor deze spreiding. Smits *et al.* (1996) beschreef dat de voersamenstelling zowel het volume per lozing als het aantal urinelozingen per dag sterk beïnvloedt. Bij een gangbaar rantsoen was de urineerfrequentie 8,6 maal per koe per dag. Bij een rantsoen met meer stikstof en zout en verder vergelijkbare samenstelling nam de totale urineproductie met 90% en het aantal urinelozingen met 47% toe. Ook hier zien we echter een gemiddelde van bijna 9 lozingen per koe per dag bij het standaard rantsoen.

3 Materiaal en methoden

3.1 Literatuurstudie

In Tabel 3-1 zijn de zoektermen te vinden die gebruikt zijn tijdens de literatuurstudie. Deze termen zijn in diverse combinaties gebruikt om te zoeken op Scopus, Web of Science en Google Scholar.

Tabel 3-1 Gebruikte zoektermen in de literatuurstudie.

Nederlands		Engels	
Urineergedrag	Koe*	Urine	(Dairy) Cow
Urine	Melkkoe	Urinate	(Dairy) Cows
Urineren	Melkvee	Urination	Cow*
Urinatie	Verkeer	Urin*	Cattle
Urin*	Stal	Manure	Traffic
Mest	Ligboxen	Faeces	Barn
Mesten	Ligboxenstal	Defecate	Hous*
Mestgedrag	Ligbox*	Defecating	Shed
Faeces	Locatie	Defecation	Free stall
Ontlasting	Frequentie	Defecat*	Location
Ontlasten	Gedrag	Eliminating	Locate
Deponeren		Elimination	Frequency
Koe		Eliminat*	Behavior
Koeien		Deposit	Behaviour

***duidt het gebruik van een wildcard aan om verschillende schrijfwijzen of vervoegingen van woorden in één keer te vinden.**

3.2 Simulaties model

3.2.1 Standaardinput

In Tabel 3-2 is de standaardinput van de verschillende simulatiemodellen te zien. Deze input is tevens de belangrijkste maatstaf voor de gelijkheid van de beide modellen. Zo moeten waarden als aantal koeien en vloeroppervlakte overeenkomen. Dit is voor alle variabelen in onderstaande tabel het geval.

Tabel 3-2: Standaardinput, voor beide simulatiemodellen hetzelfde. Verschillen ontstaan door het toepassen van verschillende vloertypen, hierdoor veranderen plasoppervlakte en –dikte (tussen de stippellijnen).

Parameter	Roostervloer	Sleuvenvloer
Aantal runs [#]	1	1
Aantal dagen [#]	50	50
Aantal koeien [#]	100	100
Urineerfrequentie [#/koe/dag]	10	10
Ureum-N concentratie in urine [kg/m^3]	5,0	5,0
TAN-concentratie drijfmest kelder [/gN]	3,5	3,5
Loopvloeroppervlakte [m^2]	350	350
Temperatuur op vloerniveau [°C]	10	10
Windsnelheid op vloerniveau [m/s]	0,15	0,15
Oppervlakte urineplas [m^2]	0,8	1,2
Dikte urineplas [m]	0,00048	0,00037
Zuurtegraad urineplas [pH]	9,4	9,4
Oppervlakte mestkelder [m^2]	350	350
Temperatuur in mestkelder [°C]	10	10
Windsnelheid in mestkelder [m/s]	0,05	0,05
Zuurtegraad mestkelder [pH]	8,4	8,4

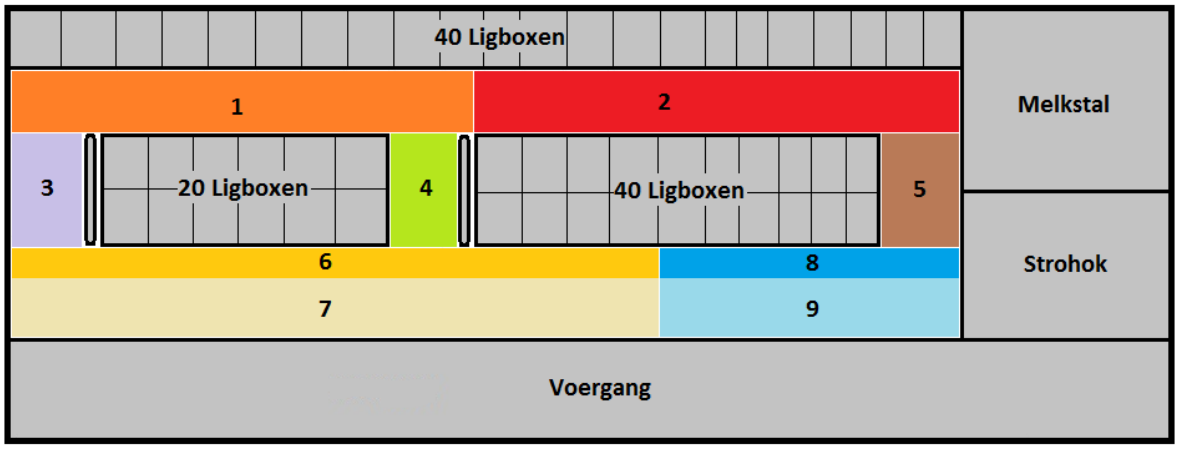
3.2.2 Stal

In het Rastermodel wordt een ligboxenstal gesimuleerd. Deze heeft een 2-1 opzet (zie figuur 3-1) en een ‘traditionele’ melkstal. (Figuur 3-1) De totale stal heeft een breedte van 18 meter en een lengte van 54 meter. De rooster- of sleuvenvloer is 3,5 meter breed en in totaal 100 meter lang. De oppervlakte van de vloer is exact gelijk aan de standaardsituatie in Snelstal: 350 m^2. De ligboxen meten 1,1 bij 2 meter en bieden plaats aan 100 koeien. De voergang is 5 meter breed. De melkstal is 7 meter breed en 10 meter lang en het strohok is 6 meter breed en even lang als de melkstal.

De complete lay-out van een stal wordt gevormd door een matrix. Deze matrix stelt de stal voor in rastervakken van 10 bij 10 centimeter. Deze vakken krijgen een volgnummer om een bepaald deel van de stal aan te duiden. Aan de hand van dit nummer kan bijvoorbeeld worden bepaald of het vak onderdeel van de rooster- of sleuvenvloer is (de genummerde gebieden in Figuur 3-1) of niet (de overige gebieden in Figuur 3-1). Zo wordt de stalmatrix gevuld met nummers die verschillende onderdelen van de ligboxenstal voorstellen.

3.2.3 Bepalen van de gebieden

Ten behoeve van de simulaties wordt een kansenkaart berekend. Deze kan vervolgens in het model worden toegepast om de veranderingen ten opzichte van het ontbreken van deze kansenkaart te kunnen beoordelen. Voor het maken van deze kansenkaart wordt allereerst de stal verdeeld in een aantal gebieden. Deze gebieden zijn weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-1: De verschillende gebieden die binnen de stal worden onderscheiden. Gekleurde en genummerde gebieden zijn vloergebieden. De grijze gebieden zijn overige of 'niet-vloer' gebieden welke niet voor het berekenen van de ammoniakemissie van de stal worden gebruikt.

De gebieden zijn als volgt ingedeeld:

1. De roostervloer tussen de ligboxen.
2. De roostervloer tussen de ligboxen, dit gebied wordt tevens als wachtruimte voor de melkstal gebruikt.
3. Het dwarspad aan de buitenmuurzijde.
4. Het dwarspad midden in de stal.
5. Het dwarspad aan de melkstalzijde, dit gebied wordt tevens gebruikt als uitloop van de melkstal.
6. De roostervloer tussen de ligboxen en de voergang aan de ligboxzijde.
7. De roostervloer tussen de ligboxen en de voergang aan de voergangzijde.
8. De roostervloer tussen de ligboxen en de voergang aan de ligboxzijde dat tevens gebruikt wordt als uitloop van de melkstal.
9. De roostervloer tussen de ligboxen en de voergang aan de voergangzijde dat tevens gebruikt wordt als uitloop van de melkstal.

De scheidingen tussen de verschillende gebieden kunnen worden verplaatst. Dit betekent dat de afmetingen van alle gebieden vrij te kiezen zijn, binnen de eerder gedefinieerde afmetingen van de stal. De gekozen afmetingen zijn terug te vinden in Tabel 3-3.

Tabel 3-3: De verschillende stalgebieden met hun afmetingen (in meters).

Gebied	Lengte	Breedte
1	19	3,5
2	25	3,5
3	4	3,5
4	4	3,5
5	4	3,5
6	29	1,5
7	29	2
8	15	1,5
9	15	2

3.2.4 Bepalen kansen

Voor het bepalen van de kansen op een urinatie gebruiken we de grafiek in Figuur 2-2. De resultaten hiervan zijn kort weergegeven in Tabel 3-4. In het simulatiemodel is het niet mogelijk de melkstal als emitterend oppervlak te behandelen. Om toch op een totale kans van 100% te komen worden de overige kansen gedeeld door 0,99 hetgeen de kansen in de laatste kolom oplevert.

Tabel 3-4: De kans dat een urinatie in een bepaald gebied van de stal valt, aan de hand van experiment 1 in Figuur 2-2.

Gebied	Kans	Kans zonder melkstal
Ligbox	38.00%	38.38%
Vloer ligbox	17.00%	17.17%
Dwarspad	10.00%	10.10%
Vloer voergang	25.00%	25.25%
Wachtruimte	9.00%	9.09%
Melkstal	1.00%	

Voor de bepaling van de kansen worden de afmetingen van de gebieden en de kansen uit Tabel 3-4 gebruikt. Voor een gebied met ligboxen wordt het aantal ligboxen dat aan dit gedeelte roostervloer ligt gedeeld door het totaal van 100 ligboxen. Dit wordt vervolgens vermenigvuldigd met de totale kans op een urinatie bij ligboxen (Ligbox + Vloer ligbox).

De urinaties zullen niet evenredig verdeeld zijn over de drie dwarspaden. Dit komt doordat in het dwarspad bij de melkstal geen waterbak staat en doordat dit dwarspad als uitloop van de melkstal wordt gebruikt. De kans dat een urinatie tussen de voergang en ligboxen aan de ligboxzijde valt wordt vier keer zo groot geacht dan dat deze aan de voergangzijde valt. De kans op een urinatie in gebied 6 wordt bepaald door de grootte van dit gebied (29/44 van de totale “vloer voergang”) en het aandeel urinaties op de vloer aan de voergang. Hierbij moet vervolgens ook de kans worden opgeteld die samenhangt met de ligboxen die aan dit gebied liggen. Dit is voor gebied 6 een aantal van 20 ligboxen. Dus 20/100 van de totale kans op een urinatie vanuit een ligbox. Als dit voor alle gebieden wordt doorgevoerd komen hier vervolgens de kansen uit zoals weergegeven in Tabel 3-5 in de kolom Kansenkaart. Ter vergelijkingen zijn in deze tabel ook de waarden weergegeven als de kans op een urinatie voor elk rastervak gelijk is (rastermodel). De percentages zijn dan alleen afhankelijk van de oppervlakte van de verschillende gebieden.

Tabel 3-5: Kans op een urinatie in een bepaald gebied. Gebieden als in Figuur 3-1.

Gebied	Rastermodel	Kansenkaart
1	19%	15%
2	25%	33%
3	4%	4%
4	4%	4%
5	4%	2%
6	12%	24%
7	17%	3%
8	6%	13%
9	9%	2%

3.2.5 Bepalen waarden kansenkaart

Voor het maken van de kansenkaart moeten deze percentages worden omgezet naar factoren die kunnen worden gebruikt in de in paragraaf 3.2.1 genoemde stalmatrix. Hierbij moet rekening worden gehouden met de oppervlakte van de verschillende gebieden. De bepaalde waarde wordt vervolgens aan elk matrixelement in het gebied toegekend. Een juiste verdeling kan worden bereikt door de elementen van het eerste gebied altijd een waarde 1 te geven. De waarden van de andere elementen worden vervolgens bepaald met behulp van vergelijking 3.1. Alle elementen in een bepaald gebied krijgen de waarden zoals te zien in Tabel .

$$p_n = \frac{per_n}{\left(\frac{per_1}{A_1}\right) \cdot A_n} \qquad \textbf{(3.1)}$$

p = Waarde element gebied
per = Percentage gebied
A = Oppervlakte gebied
n = Gebied (n = 2-9)

Tabel 3-6: De verschillende gebieden met bijbehorende kansen, oppervlaktes en de waarde die elk matrixelement van het betreffende gebied toegekend krijgt in het model Kansenkaart.

Gebied [-]	Kans op urinatie	Oppervlakte [m^2]	Waarde [-]
1	15%	66,5	1,00
2	33%	87,5	1,67
3	4%	14,0	1,27
4	4%	14,0	1,27
5	2%	14,0	0,63
6	24%	43,5	2,45
7	3%	58,0	0,23
8	13%	22,5	2,56
9	2%	30,0	0,30

3.3 Analyse

De resultaten zijn geanalyseerd met SPSS. Met behulp van een oneway ANOVA worden de uitkomsten van de simulatie met elkaar vergeleken. De simulatie van één dag levert 1440 datapunten op: voor elke minuut een datapunt met de waarde van de emissie op dat moment. Voor de analyse wordt een totaal van vijftig dagen per situatie gebruikt wat een totaal van 72.000 datapunten per situatie oplevert.

Voor de simulatie wordt zowel het Snelstal als het Rastermodel gebruikt (paragraaf 1.4). Voor het Rastermodel worden twee opties vergeleken te weten: een optie met gelijke kansen voor de gehele vloer (Rastermodel) en een optie met daarin verwerkt de in dit onderzoek gevonden kansen (Kansenkaart). Zo wordt bepaald of de berekende emissie door het implementeren van respectievelijk het raster en de zones met verschillende kansen significant verandert. De drie modelopties worden voor een roostervloer en een sleuvenvloer apart met elkaar vergeleken, zie Tabel 3-7. Er zal niet vergeleken worden tussen een simulatie met een roostervloer en een sleuvenvloer, omdat hierbij niet alleen het effect van een andere simulatiemethode wordt getoetst.

Tabel 3-7: Samenvatting van de verschillende simulaties die worden doorlopen met gehanteerde afkortingen voor de verschillende simulaties.

Vloer	Model	Afkorting
Roostervloer	Snelstal	1-r
	Rastermodel	2-r
	Kansenkaart	3-r
Sleuvenvloer	Snelstal	1-s
	Rastermodel	2-s
	Kansenkaart	3-s

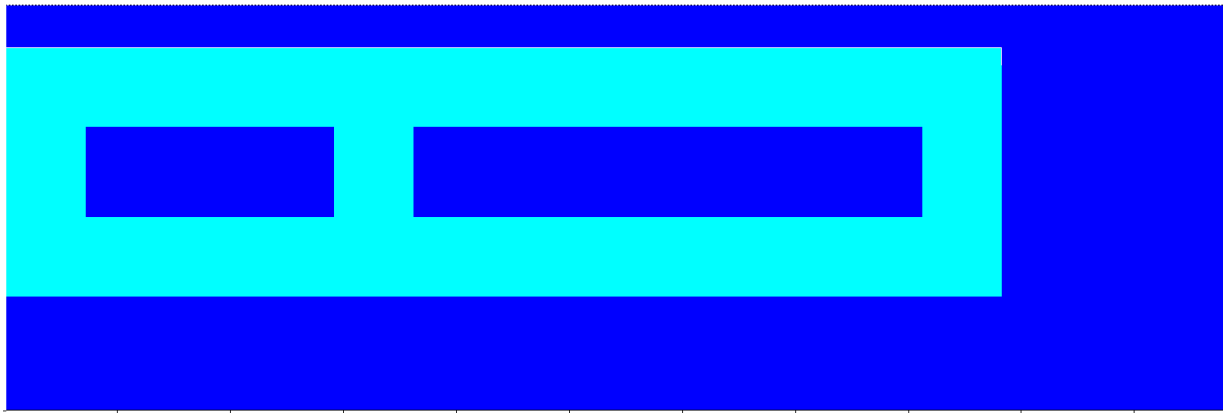
Voor de analyse wordt eerst gekeken naar de verdeling van de data. Als de gegevens normaal verdeeld zijn liggen zowel de scheefheid als platheid tussen de -2 en 2. Als dit het geval is kunnen de gegevens als normaal verdeeld worden beschouwd (Kenney en Keeping, 1951; Kenney en Keeping, 1962).

In het geval van een normale verdeling is het vervolgens van belang of van gelijke varianties mag worden uitgegaan. Om dit te bepalen wordt Levene's test toegepast (Levene 1960). In het geval van gelijke varianties van de verschillende groepen zal de Tukey-test worden gebruikt als post-hoc analyse. Mogen gelijke varianties niet worden aangenomen dan zal de Games-Howel test worden uitgevoerd. Deze is vergelijkbaar met de Tukey-test, maar laat ongelijke varianties toe (Garson).

4 Resultaten

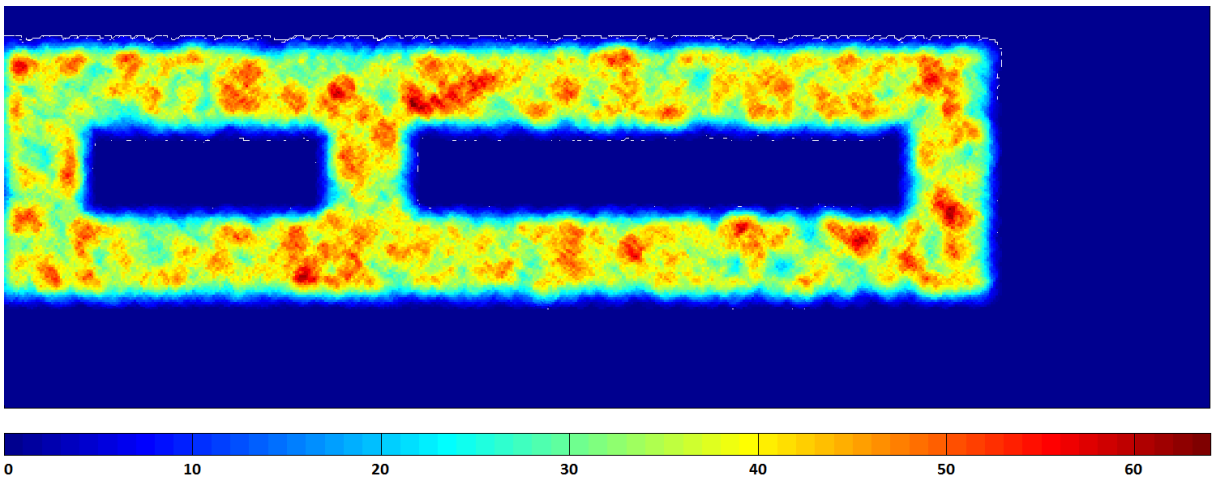
4.1 Simulatiemodel

Het Rastermodel geeft naast numerieke ook visuele output in de vorm van figuren van de stal. Één van de figuren van de stal is degene in Figuur 4-1. Voor het model is alleen de vloer van belang, dus is het belangrijk dit aan het begin van de simulatie te onderscheiden van de rest van de stal. Het visuele resultaat hiervan is Figuur 4-1. De indeling van de stal is reeds beschreven in paragraaf 0 en gevisualiseerd in Figuur 3-1.

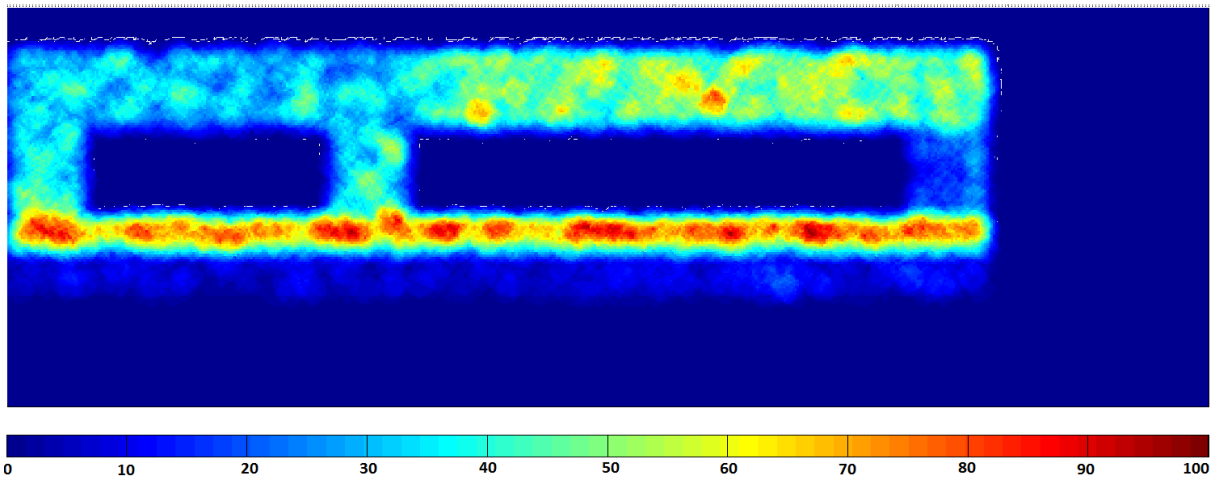


Figuur 4-1: Plattegrond van de stal waarin onderscheid wordt gemaakt tussen vloer- (licht) en niet-vloeroppervlak (donker).

Na het doorlopen van een simulatie is voor elk rastervak bekend hoeveel urinaties hierop terecht zijn gekomen tijdens een run. In Figuur 4-2 en Figuur 4-3 is het verschil in concentratie tussen de verschillende situaties te zien. Merk op dat de maximale waarde in Figuur 4-2 lager is dan die in Figuur 4-3.



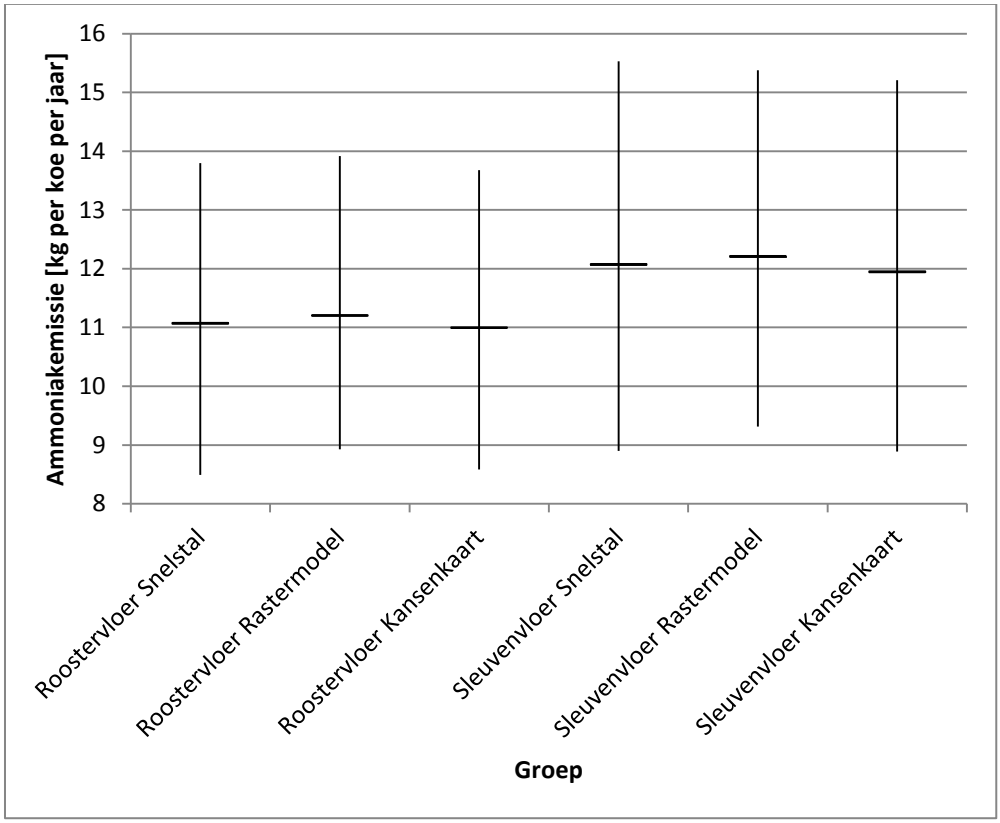
Figuur 4-2: Weergave van het aantal urinaties per rastervak aan het eind van de laatste dag van een run op een sleuvenvloer met gelijke kans. De waarden variëren van 0 (donkerblauw) tot 64 (donkerrood) urinaties per locatie.



Figuur 4-3: Weergave van de concentratie van het aantal urinaties aan het eind van de laatste dag van een run op een sleuvenvloer met gebruik van de kansenkaart. De waarden variëren van 0 (donkerblauw) tot 100 (donkerrood) urinaties per locatie.

4.2 Analyse

In Figuur 4-4 is de verdeling van de datapunten van de verschillende situaties te zien. Opvallend is de relatief grote spreiding en het zeer smalle betrouwbaarheidsinterval. In Figuur 4-4 is zichtbaar dat de verschillende gemiddelde ammoniakemissies significant van elkaar verschillen bij een betrouwbaarheidsniveau van 95%.



Figuur 4-4: Boxplot met daarin de verschillende gesimuleerde situaties. De boxen omvatten het 95% betrouwbaarheidsinterval, daarbij zijn de gemiddelde ammoniakemissies (van de totale stal: vloer én kelder) elk significant verschillend van elkaar. (Aan de hand van de data in bijlage C)

Opvallend is verder dat de gemiddelden toenemen bij het toepassen van het raster en weer afnemen als ook de kansenkaart wordt toegepast. Dit is duidelijker te zien in Tabel 4-1. Hierin is ook te zien dat voor alle situaties de scheefheid en platheid tussen de -2 en 2 liggen en dus een normale verdeling mag worden aangenomen voor alle situaties.

Tabel 4-1: Beschrijvende statistische eigenschappen van de verschillende situaties.

Situ-atie*	Data-punten	Gemid-delde	Standaard Afwijking	Std. Fout	Scheefheid		Platheid	
					Statistiek	Std. Fout	Statistiek	Std. Fout
1-r	72000	11,070	,800	,003	,043	,009	-,183	,018
2-r	72000	11,203	,803	,003	,037	,009	-,184	,018
3-r	72000	10,995	,772	,003	,013	,009	-,161	,018
1-s	72000	12,073	,991	,004	,023	,009	-,189	,018
2-s	72000	12,208	,989	,004	,015	,009	-,212	,018
3-s	72000	11,946	,943	,004	-,009	,009	-,176	,018

***1,2 en 3 staan voor respectievelijk: Snelstal, Rastermodel en Kansenkaart. R en s staan voor respectievelijk een rooster- en een sleuvenvloer.**

Uit Levene's test (Tabel 4-2) blijkt dat het verschil in varianties van de verschillende groepen significant is en gelijke varianties dus niet mogen worden aangenomen.

Tabel 4-2: Resultaat van Levene's test.

Levene Statistiek	Vrijheidsgraden tussen groepen	Vrijheidsgraden binnen groepen	Sig.
1753.363	5	431994	,000

Naar aanleiding van de uitkomst van Levene's test wordt voor de Games-Howell post-hoc analyse gekozen. Dit levert de resultaten in Tabel 4-3 op. Hier valt vooral de mate van significantie op: alle vergeleken gemiddelde ammoniakemissies verschillen significant van elkaar. In de post-hoc-analyse worden niet alle simulaties met elkaar vergeleken, zoals in paragraaf 0 reeds is aangegeven. De absolute verschillen in gemiddelde emissie zijn klein in vergelijking tot de emissiewaarden.

Tabel 4-3: Resultaat van de Games-Howell post-hoc-analyse van de oneway ANOVA vergelijking tussen de verschillende simulaties.

(I) Simulatie **	(J) Simulatie **	Verschil gemiddelden (I-J)	Standaard Fout	Significantie	99% Betrouwbaarheidsinterval	
					Ondergrens	Bovengrens
1-r	2-r	-,133*	,004	,000	-,147	-,119
	3-r	,075*	,004	,000	,061	,089
2-r	1-r	,133*	,004	,000	,119	,147
	3-r	,208*	,004	,000	,194	,222
3-r	1-r	-,075*	,004	,000	-,089	-,061
	2-r	-,208*	,004	,000	-,222	-,194
1-s	2-s	-,135*	,005	,000	-,152	-,117
	3-s	,127*	,005	,000	,110	,144
2-s	1-s	,135*	,005	,000	,117	,152
	3-s	,261*	,005	,000	,244	,279
3-s	1-s	-,127*	,005	,000	-,144	-,110
	2-s	-,261*	,005	,000	-,279	-,244

***. Het verschil tussen de gemiddelden is significant bij het 0,01 betrouwbaarheidsniveau.**

****1,2 en 3 staan voor respectievelijk: Snelstal, Rastermodel en Kansenkaart. R en s staan voor respectievelijk een rooster- en een sleuvenvloer.**

5 Discussie

5.1 Literatuurstudie

Op het gebied van urineergedrag van melkkoeien is niet veel onderzoek gedaan. Twee studies (Smits *et al.*, 1996; Villettaz Robichaud *et al.*, 2011) hebben urineerlocaties vastgesteld en bepaald hoe vaak hier geürineerd wordt. De twee studies komen overeen en vullen elkaar aan. Hieruit blijkt dat vrijwel alle onderdelen van de stal invloed hebben op het urineergedrag van melkkoeien. De onderdeelspecifieke mate van invloed blijven echter onduidelijk. Voor dit onderzoek is de kansenkaart voor de modelstal gebaseerd op de genoemde studies. Verschillende gebieden krijgen een grotere of kleinere kans op een urinatie. Binnen dit onderzoek is geprobeerd aan te tonen of een kansenkaart leidt tot significante verschillen van de NH_3-emissie, vergeleken met het Snelstal model zonder kansenkaart. Het is niet de bedoeling om de NH_3-emissie van specifieke praktijksituaties te bepalen. Om deze reden is de huidige kennis van de mate van invloed, uit de twee studies, voldoende.

Voor het bepalen van de urineerfrequentie van melkkoeien zijn een groot aantal bronnen beschikbaar. Deze zijn echter niet specifiek op deze frequentie gericht en dus wordt dit onderdeel slechts zijdelings benoemd. De gevonden gemiddelden (Villettaz Robichaud *et al.* (2011) vonden een correlatie van 0,38 tussen mest- en urineerfrequentie. Deze correlatie is niet sterk en de mestfrequentie van koeien voorspelt de urineerfrequentie dus onvoldoende.

Metz en Mekking (1984) constateerden dat in een beperkte ruimte het aantal urinaties toeneemt. Met name de ranglage dieren vertonen aanzienlijk meer urinaties: 20% meer per dag, dan in een grotere vrije ruimte. Zij schrijven dit effect met name toe aan toename van de stress veroorzaakt door een groter aantal confrontaties bij intensiever bezette stallen.

Tabel 2-1) hebben een behoorlijk grote spreiding. Hierop zullen verschillende factoren van invloed zijn, waaronder het ras van de melkkoe. Om deze laatste reden is de gemiddelde urineerfrequentie in paragraaf 2.3 berekend met alleen waarden voor HF melkkoeien. Aangezien de kansenkaart al een significant effect heeft zou ook een aanpassing van de urineerfrequentie een groot effect kunnen hebben. De gevonden gemiddelde urineerfrequentie is 12% lager dan degene die in Snelstal gebruikt wordt. Dit maakt het aannemelijk dat aanpassing van deze frequentie een vrijwel even grote daling in de NH_3-emissie teweeg brengt. Uit de literatuurstudie blijkt dat grote spreiding optreedt in gevonden waarden. Voor het aanpassen van de urineerfrequentie in het model dient echter een meer eenduidige waarde te worden gevonden of gemeten. Het aanpassen van het model valt buiten de grenzen van dit onderzoek.

Het urineermoment van melkkoeien blijkt in grote mate samen te hangen met de momenten van melken en voeren: de momenten waarop de koe actief is (Aland *et al.*, 2002; Villettaz Robichaud *et al.*, 2011). De variatie in de concentratie van de urinaties die te zien is in de figuur in bijlage A is behoorlijk. Gedurende sommige uren wordt tot wel driemaal zoveel geürineerd als gedurende andere. De totale ammoniakemissie zal hierdoor in werkelijkheid significant lager zijn dan berekend in het model waarin uitgegaan wordt van een gelijkmatige verdeling van de urineermomenten over de dag. Omdat ook voor dit effect een aanpassing van het model nodig is zijn de gevonden gegevens toereikend om een algemeen beeld te schetsen van de momenten waarop koeien urineren.

5.2 Materiaal en methoden

5.2.1 Stal

Voor het gedrag van de koeien zijn afmetingen en inrichting van de stal van groot belang. De aannames met betrekking tot de afmetingen van de stal zelf zijn zo gekozen om het Snelstal model zo dicht mogelijk te benaderen. Zo moesten het vloeroppervlak en aantal koeien overeenkomen. Voor de afmetingen van de stalgebieden zijn vooral de afmetingen van de koe en het aantal koeien in ogenschouw genomen. In werkelijkheid zullen de koeien waarschijnlijk opgedreven worden richting de melkstal, al dan niet met behulp van een opdrijfhek. Hierdoor ligt de lengte van de wachtruimte niet vast, in het model is een gemiddelde waarde voor de grootte hiervan aangenomen. Ook de uitloop van de melkstal is geen duidelijk afgebakend gebied in de praktijksituatie. In het model is dit gebied vooral bedoeld om duidelijk te maken op welk deel van de roostervloer aan de voergang tijdens het melken meer koeverkeer plaatsvindt. De verdeling van ditzelfde deel van de vloer in voergangzijde en ligboxzijde is gebaseerd op de lengte van de koe. De koeien die in het voerhek staan zullen aan de ligboxzijde urineren. Doordat koeien in het voerhek staan zullen lopende koeien zich ook langs de ligboxzijde bewegen. Hierdoor zal in de praktijk een duidelijk onderscheid ontstaan in het aantal urinaties tussen beide gebieden. Voor een betere benadering van de werkelijkheid zijn bronnen of waarnemingen nodig voor het bepalen van de afmetingen van alle gebieden. Zeker gezien het effect van de huidige kansenkaart op de ammoniakemissie lijkt dat een goed idee. Voor het bepalen van het effect van het urineergedrag op de ammoniakemissie zijn de in dit onderzoek aangenomen waarden voldoende specifiek.

In de simulatiemodellen worden de melkstal en het strohok niet in de emissieberekening betrokken terwijl ook hier eliminaties plaats zullen vinden. De uiteindelijke ammoniakemissie is dus niet de volledige emissie. In de melkstal wordt over het algemeen regelmatig gespoeld met water om de vloer en de rest van de melkstal schoon te houden. Tevens vindt in de melkstal slechts een zeer klein

gedeelte van de urinaties (1%) plaats. Deze urineplassen zullen door het wegspoelen met water ook niet de kans krijgen uit te emitteren. Het strohok zal niet altijd koeien huisvesten en de ammoniakemissie uit dit hok zal ook anders zijn dan van een roostervloer. De bijdrage van beide stalonderdelen is naast moeilijk te berekenen dus waarschijnlijk ook zeer klein en om die redenen niet meegenomen in de simulatiemodellen.

De gebruikte modellen bieden de mogelijkheid om ook andere stalindelingen (rastermodel) en managementopties te simuleren. Deze zullen mogelijk ook een andere kansenkaart tot gevolg hebben. De tijd die beschikbaar was voor dit onderzoek liet echter niet toe andere opties te analyseren. Als het effect, dat zich in dit onderzoek voordoet, doorzet zal meer concentratie van de urinaties een lagere ammoniakemissie tot gevolg hebben. Dus het veranderen van de melk- of voerstrategie (meer verspreid over de dag) leidt waarschijnlijk tot een spreiding van activiteit en urineermomenten en hierdoor tot hogere ammoniakemissie. Andere situaties waarin de hele kudde vaker naar één bepaalde activiteit wordt gestuurd zullen juist tot een hogere concentratie en dus lagere ammoniakemissie leiden. Onderzoek zou deze stelling nader moeten bewijzen.

5.2.2 Simulaties

Bij de keuze van het aantal dagen per simulatie is er een afweging gemaakt tussen de representativiteit van de uitkomst enerzijds en de rekentijd en verwerkingsmogelijkheden anderzijds. Om ervoor te zorgen dat de data nog verwerkt konden worden met SPSS en Microsoft Excel is vervolgens voor een duur van vijftig dagen gekozen.

5.3 Analyse

In de analyse worden wel de verschillende modellen met elkaar vergeleken maar niet de verschillende vloertypen. Dit is gedaan omdat de insteek van dit onderzoek is om te kijken naar de verschillen in emissie veroorzaakt door het urineergedrag van de koeien en niet naar de verschillen veroorzaakt door de verschillende vloertypen. In het model heeft vloertype alleen invloed op de grootte en dikte van de plas (Tabel 3-2). In de praktijk zullen ook andere omstandigheden, zoals in de mestkelder, van belang zijn. Zo zal een lagere windsnelheid in de mestkelder tot minder gasuitwisseling en ammoniakemissie leiden. Indien een vergelijking tussen de vloeren in een vervolgonderzoek meegenomen wordt in de analyse, verdient het aanbeveling om ook andere bouwtechnische onderdelen in het model te verwerken.

6 Conclusies

6.1 Urineerlocaties

Melkkoeien urineren niet op alle plaatsen in een ligboxenstal evenveel. De verdeling van de urineerlocaties is slecht gecorreleerd met de verblijftijden van de koeien op de verschillende plaatsen in de stal. De urineerlocaties blijken het meest afhankelijk van de activiteit van de koeien. Aan de ligboxkant tussen het voerhek en de ligboxen wordt het meest geürineerd. Hierna is de kans op urinaties het hoogst in de wachtruimte en de dwarspaden in de stal.

6.2 Urineermoment

Het moment waarop de melkkoeien urineren hangt vooral samen met de activiteit van de koeien. Deze wordt in grote mate beïnvloed door de momenten van voeren en melken. Als de koeien actief worden na een periode van rust is de kans dat de koe urineert groot. Het aantal urinaties rond de momenten van voeren en melken is tot twee maal zo hoog als het daggemiddelde.

6.3 Urineerfrequentie

De urineerfrequentie verschilt sterk per dier en zelfs van dag tot dag bij dezelfde dieren. Veel factoren zijn hierop van invloed, zoals het rantsoen en de sociale interacties. De gemiddelde urineerfrequentie van HF melkkoeien is 8,8 keer per koe per dag.

6.4 Urineergedrag

Het urineergedrag is een combinatie van zowel de urineerlocatie, het urineermoment als de urineerfrequentie. Dit verschilt sterk per dier. Bij beweiding, de meest natuurlijke situatie, is de verdeling van urinaties zowel in tijd als ruimte gelijkmatig. Dit is in de ligboxenstal niet het geval. Hier zal een koe op bepaalde plaatsen vaker urineren dan op andere. Een koe staat over het algemeen stil tijdens het urineren. Dit heeft zowel als gevolg dat de koe op één plaats urineert, als dat de koe vaker zal urineren op plaatsen waar deze stil staat of heeft stil gelegen. In gedeelten van de stal waar meer koeverkeer plaatsvindt en dus ook relatief weinig koeien stilstaan zal relatief weinig geürineerd worden.

De stalinrichting heeft invloed op de concentratie van urinaties op bepaalde plaatsen. De precieze relatie is door middel van een literatuurstudie echter moeilijk vast te stellen.

6.5 Ammoniakemissie

Zoals te zien is in Figuur 4-2 en Figuur 4-3 zijn de urinaties minder gelijkmatig verdeeld over het staloppervlak na het toepassen van het urineergedrag van de melkkoeien. Dit heeft tot gevolg dat in bepaalde delen van de stal, waar de urinaties zich meer concentreren, de urineplassen relatief vaker worden weggespoeld. In dit geval zullen plassen niet de kans krijgen om volledig uit te emitteren en zodoende neemt de totale ammoniakemissie af. Dit deel van de theorie wordt ondersteund door de statistische analyse, waaruit duidelijk wordt dat het urineergedrag een significant effect heeft op de ammoniakemissie van de stal. In de situaties met een roostervloer ligt de totale ammoniakemissie rond de 11 kg NH^3 per koe per jaar, in die met een sleuvenvloer rond de 12 kg NH^3 per koe per jaar. Dit is hoger dan de emissieniveaus die in de RAV worden aangenomen, zo is bijvoorbeeld in het geval van een sleuvenvloer en permanent opstallen de ammoniakemissie volgens de RAV: 9,2 kg NH^3 per koe per jaar(Overheid 2012).

6.6 Hoofdconclusie

Het model SNELSTAL wordt door de overheid gebruikt om ammoniakemissies in te schatten ten behoeve van vergunningen voor oud- en nieuwbouw van rundveestallen. Het model snelstal gaat uit van een homogene verspreiding in tijd en plaats van urineren van de koeien. Dit onderzoek toont aan dat er sprake is van een concentratie in tijd en plaats van het urineren. Dus heeft het urineergedrag van koeien, een verlagende, invloed op de ammoniakemissie van de stal.

7 Aanbevelingen

De verschillende gebieden die in dit onderzoek worden aangeduid kunnen nog verder worden onderverdeeld. Met name de gebieden vlak achter de ligboxen zullen een lagere concentratie hebben dan het midden van deze gebieden. Deze zones zijn echter wel moeilijker te definiëren en hier zou onderzoek naar moeten worden gedaan. Of dit ook daadwerkelijk invloed heeft op de ammoniakemissie hangt af van de toename van de concentratie in bijvoorbeeld het gebied in het midden van de roostervloer tussen de ligboxen en de afname vlakbij de ligboxen. Het effect zal waarschijnlijk vergelijkbaar zijn met het effect van het toepassen van de kansenkaart, maar dit zou een statistische analyse moeten uitwijzen.

Hiernaast blijkt uit de literatuurstudie ook dat het urineermoment niet gelijkmatig over de dag verdeeld is maar pieken en dalen kent. Dit houdt waarschijnlijk verband met de toenemende activiteit van de koeien op deze momenten. (Aland *et al.* 2002) Over het algemeen wordt voeren en melken vrij kort na elkaar gedaan. Dit heeft tot gevolg dat niet te bepalen is wat het effect is van het melken en wat het effect is van het voeren op het urineermoment van de melkkoeien. Om dit effect te kunnen simuleren zal het model moeten worden aangepast. Dit zal net als het verfijnen van de kansenkaart een toenemende concentratie van urinaties en dus toenemende wegspoeling van urineplassen tot gevolg hebben.

De gemiddelde urineerfrequentie gevonden in de literatuur wijkt behoorlijk (12%) af van de waarde die gebruikt wordt in het model. Aangezien de toepassing van de kansenkaart een significant lagere ammoniakemissie teweeg brengt is het waarschijnlijk dat ook het aanpassen van de urineerfrequentie de totale ammoniakemissie significant beïnvloedt. Het lijkt voor de betrouwbaarheid van het model goed nogmaals dieper in te gaan op de gemiddelde urineerfrequentie van melkkoeien. Hierbij zal de uitdaging vooral zijn recente bronnen te vinden betreffende het juiste koeienras. Aangezien ook vele andere factoren, waaronder het rantsoen, een belangrijke rol spelen zal het lastig zijn een eenduidig gemiddelde te vinden.

De beste nabootsing van de werkelijkheid zou een dynamische versie van de kansenkaart zijn. Op sommige momenten van de dag is bekend waar de koeien zich bevinden, bijvoorbeeld wanneer deze in de wachtruimte verblijven voor het melken, en kan de kansenkaart hierop worden aangepast. Zo kunnen naar gelang de dag verstrijkt en bepaalde gebeurtenissen plaatsvinden of juist niet de kansen een aantal maal worden veranderd. Ook hier kunnen uiteraard weer vraagtekens worden gezet bij de toegevoegde waarde van deze extra complexiteit in de berekening.

Referenties

Aland, A., L. Lidfors en I. Ekesbo (2002). "Diurnal distribution of dairy cow defecation and urination." Applied Animal Behaviour Science **78**: 43-54.

Betteridge, K., C. Hoogendoorn, D. Costall, M. Carter en W. Griffiths (2010). "Sensors for detecting and logging spatial distribution of urine patches of grazing female sheep and cattle." Computers and Electronics in Agriculture **73**(1): 66-73.

de Hoog, D.C. (2011). Meetmethoden voor oppervlaktebepaling van urineplassen op betonnen stalvloeren. Wageningen, Farm Technology Group.

de Jong, R.H. (2010). Urinetransport van verschillende vloeren in een koeienstal. Wageningen, Farm Technology Group.

Garson, D. Quantitative research in public administration. - GLM (Univariate), ANOVA, and ANCOVA Course material. North Carolina, North Carolina State University.

Haesen, G.P.M.J. (2011). A new floor design for a dairy cow house to reduce ammonia emission - The design approach of a new floor design and related experiments. Wageningen, Farm Technology Group.

Hardison, W.A., H.L. Fisher, G.C. Graf en N.R. Thompson (1956). "Some Observations on the Behavior of Grazing Lactating Cows." Journal of Dairy Science **39**(12): 1735-1741.

Heij, G.J. en T. Schneider (1995). Dutch priority programme on acidification. Final report third phase Dutch priority programme on acidification. Bilthoven, RIVM.

Hirata, M. en M. Higashiyama (1996). "Spatial distribution of faeces by cattle in a daytime grazing system." American Journal of Agricultural Science **9**(5): 603-610.

InfoMil (2002). Handreiking Ammoniak en Veehouderij. Den Haag, InfoMil.

Jagtenberg, C.J., A.J.H. van Lent en A.T.J. van Scheppingen (1997). Vrij- en eenrichtingsverkeer bij automatisch melken, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), publicatie 121.

Kenney, J.F. en E.S. Keeping (1951). Mathematics of statistics, part 2 - Princeton, New York, Van Nostrand.

Kenney, J.F. en E.S. Keeping (1962). Mathematics of statistics, part 1 - Princeton, New York, Van Nostrand.

Lekkerkerk, L.J.A., G.J. Heij en M.J.M. Hootsmans (1995). Ammoniak: de feiten. Bilthoven, RIVM.

Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. - Contributions to probability and statistics: essays in honor of Harold Hotelling. I. Olkin, H. Hotelling, W. Hoeffding et al., Stanford University Press: pp. 278-292.

Metz, J.H.M. en P. Mekking (1984). "Crowding phenomena in dairy cows as related to available idling space in a cubicle housing system." Applied Animal Behaviour Science **12**: 63-78.

Monteny, G.J. en J.W. Erisman (1998). "Ammonia emission from dairy cow buildings: A review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction." Netherlands Journal of Agricultural Science **46**(3-4): 225-247.

Monteny, G.J., D.D. Schulte, A. Elzing en E.J.J. Lamaker (1998). "A conceptual mechanistic model for the ammonia emissions from free stall cubicle dairy cow houses." Transactions of the ASAE **41**(1): 193-201.

Oudshoorn, F., T. Kristensen en E. Nadimi (2008). "Dairy cow defecation and urination frequency and spatial distribution in relation to time-limited grazing." Livestock Science **113**(1): 62-73.

Overheid (2012). "Regeling ammoniak en veehouderij." Bekeken 16-01-2012 via http://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/geldigheidsdatum_16-01-2012.

Pronk, J.P. en L.J. Brinkhorst. (2002). "Wet ammoniak en veehouderij." Bekeken 16-01, 2012, via http://wetten.overheid.nl/BWBR0013402/geldigheidsdatum_16-01-2012.

Sahara, D., T. Ichikawa, Y. Aihara, H. Kawanishi en M. Nagashima (1990). "Eliminative and Reposing Behavior of Dairy Cows in the Stanchion Stall Barn." Japanese Journal of Zootechnical Science **61**: 249-254.

Smits, M.C.J., G.J. Monteny en G. van Duinkerken (2003). "Effect of nutrition and management factors on ammonia emission from dairy cow herds: models and field observations." Livestock Production Science **84**(2): 113-123.

Smits, M.C.J., A.M. van Vuuren en H. Gunnink (1996). Beperking ammoniakemissie uit een melkveestal door veevoedingsmaatregelen: effecten van N-excretie in urine en urinelozingsfrequentie, Wageningen, IMAG-DLO.

Snoek, J.W. (2009). Effect of floor design in a dairy cow house on ammonia emission - Design approach and run of experiments. Wageningen, Farm Technology Group.

Straver, J. (2010). Onderzoek naar druppelvorming onder een vloerelement in een koeienstal. Wageningen, Farm Technology Group.

van Duinkerken, G., R.L.G. Zom, K. Sikkema en T.V. Vellinga (2000). Siëstabeweiding, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), publicatie 143.

van Laar, T. (2011). Improved modeling of ammonia emissions from dairy cow houses. Wageningen, Farm Technology Group.

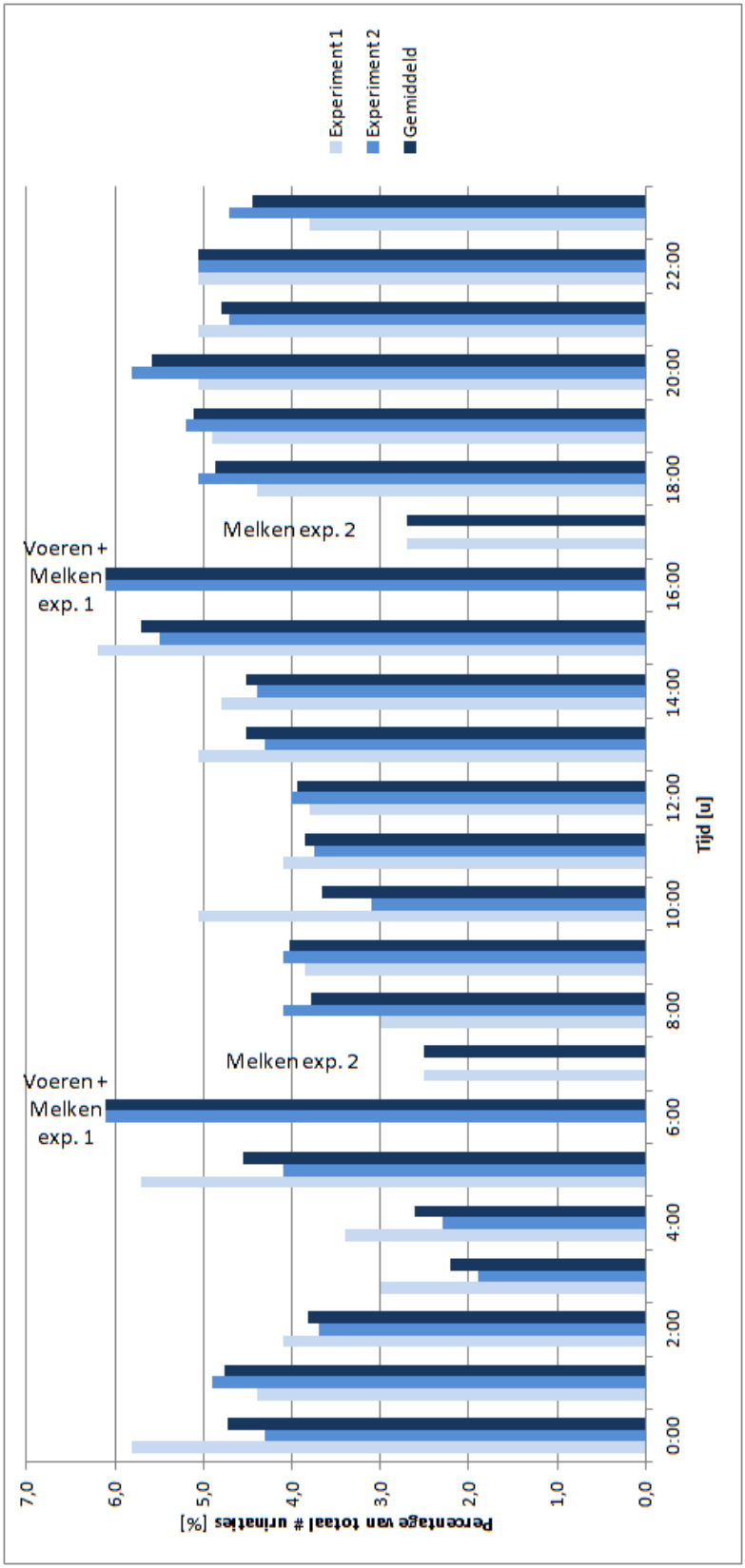
Villettaz Robichaud, M., A.M. de Passillé, D. Pellerin en J. Rushen (2011). "When and where do dairy cows defecate and urinate?" Journal of Dairy Science **94**(10): 4889-4896.

Whitehead, D.C. (1995). Grassland nitrogen. Wallingford, CAB International.

Bijlagen

A. Urineermoment 31
B. Interview 33
C. Resultaten statistische analyse 35

A. Urineermoment



Figuur A-1: Verdeling van de urinaties in de tijd (Villettaz Robichaud *et al.*, 2011).

B. Interview

Voor aanvullende informatie en een extra perspectief op de gevonden omschrijving van het urineergedrag heeft een interview met de heer M.C.J. Smits plaatsgevonden. De heer Smits heeft onderzoek verricht naar het urineren van koeien en bijvoorbeeld het invloed van rantsoenen hierop.

Vraag 1: Wat is uw onderzoekservaring met het urineergedrag van melkkoeien en het waarnemen hiervan?

Ik heb voornamelijk emissieonderzoek verricht waarbij ook waarnemingen van urinaties werden verricht. De waarnemingen en het urineergedrag waren niet het hoofddoel bij deze onderzoeken. Er werd gewerkt met beeld- en geluidsopnames welke later geanalyseerd werden. Aan de hand hiervan werden de frequentie en locatie van urinaties bepaald.

Vraag 2: Is het urineergedrag beschreven in het hoofdstuk Literatuurstudie volgens u realistisch?

De getallen ogen realistisch, maar het beste zou zijn als het urineergedrag kan worden gekoppeld aan het overige gedrag en het verkeer van de melkkoeien. Met betrekking tot koeverkeer in een robotstal is onderzoek gedaan door onder andere Delvier, Halachmi en Ketelaar.

Vraag 3: Heeft kuddegedrag een merkbare invloed op het urineergedrag van melkkoeien?

Alle koeien vertonen min of meer hetzelfde gedrag, omdat zij ook globaal dezelfde behoeftes hebben op een dag. Hierdoor zal ook het urineergedrag tussen verschillende melkkoeien overeenkomen. Dus het is niet zozeer het kuddegedrag dat urinaties beïnvloed.

Vraag 4: Verwacht u een verschil tussen het urineergedrag van koeien tussen het gebruik van een melkrobot of een traditionele melkstal?

Ik heb hier nog nooit naar gekeken. Ik verwacht dat door het ontbreken van vaste melktijden er minder patroon in het gedrag van de melkkoeien zit. De urinaties zullen ook bij een traditionele melkstal al redelijk verspreid over de stal plaatsvinden.

Voldoet de kansverdeling (Tabel 3-5), voor een denkbeeldige ligboxenstal, volgens u?

Ik ben het eens met de kansverdeling volgens de figuur (Figuur 3-1) en bijbehorende kansverdeling. Ik zie geen waarden waar ik me niet in kan vinden.

Wat is de beste aanpak voor het doen van waarnemingen naar urineergedrag? (bijvoorbeeld met betrekking tot: waarnemingsduur, -methode)

Ik zou zo lang en zo veel mogelijk waarnemen voor het vormen van een robuust beeld van het urineergedrag. Verder raad ik het gebruik van een video- en microfoonsysteem aan. Als je in de stal bent tijdens de waarnemingen beïnvloed je daarmee ook het gedrag van de melkkoeien, hierdoor zijn je waarnemingen bij voorbaat onbetrouwbaar. Ik zou ook proberen verschillende groepen te meten, waarbij je de rantsoenen aanpast om verschillende urineerfrequenties en –composities in de groepen kunt realiseren.

C. Resultaten statistische analyse

Tabel C-1: Statistische gegevens van de verschillende simulaties. Waarden staan voor de ammoniakemissie in kg per koe per jaar.

		95% Betrouwbaarheidsinterval			
Situatie	**Gemiddelde**	**Ondergrens**	**Bovengrens**	**Minimum**	**Maximum**
1-r	11,070	11,064	11,076	8,492	13,798
2-r	11,203	11,197	11,209	8,925	13,917
3-r	10,995	10,989	11,001	8,582	13,676
1-s	12,073	12,066	12,080	8,901	15,530
2-s	12,208	12,200	12,215	9,315	15,379
3-s	11,946	11,939	11,953	8,886	15,206
Totaal	11,582	11,579	11,586	8,496	15,530

***1,2 en 3 staan voor respectievelijk: Snelstal, Rastermodel en Kansenkaart. R en s staan voor respectievelijk een rooster- en een sleuvenvloer.**