



Gasvormige emissies uit vrijloopstallen met houtsnipperbodems

Ammoniak-, lachgas- en methaanemissie op stalniveau

H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, K. Blanken, P.J. Galama

RAPPORT 1163



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Gasvormige emissies uit vrijloopstallen met houtsnipperbodems

Ammoniak-, lachgas- en methaanemissie op stalniveau

H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, K. Blanken, P.J. Galama

Het eerste deel van dit onderzoek is door Wageningen Livestock Research uitgevoerd voor het publiek-private samenwerkingsprogramma Duurzame Zuivelketen, gefinancierd door ZuivelNL en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (projectnummer BO-22.02-012-005 en BO-22.04-005-010). Het tweede deel is volledig gefinancierd door ZuivelNL.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, mei 2019

Rapport 1163

Dooren, H.J.C. van, J.M.G. Hol, K. Blanken, P.G. Galama, 2019. *Gasvormige emissies uit vrijloopstallen met houtsnipperbodems; Ammoniak-, lachgas- en methaanemissie op stalniveau*. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 1163.

Samenvatting:

Emissiemetingen op stalniveau van vrijloopstallen met een composterende bodem van houtsnippers zijn uitgevoerd op vier locaties. De ammoniak-, methaan- en lachgasemissie is bepaald per dierplaats per jaar. Resultaten laten een reductie in de ammoniakemissie zien van 31% maar een stijging in de methaanemissie van 34% en een 14 keer hogere lachgasemissie vergeleken met een referentiesysteem met ligboxen.

Summary:

Measurements of emission of ammonia, methane and laughing gas from compost bedded pack barns for dairy cows are presented. Ammonia emission was reduced by 31% but methane emission increased by 34% and emission of laughing gas were 14 times higher than a references slurry based housing system.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/476122> 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 gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1163

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Bodemmateriaal en compostering	10
	1.2 Perspectief voor emissiereductie in vrijloopstallen	10
	1.3 Bestaande kennis en ervaringen	11
	1.4 Doelstelling	12
2	Materiaal en methoden	13
	2.1 Beschrijving meetlocaties	13
	2.1.1 Meetlocatie 1 (Dalfsen)	13
	2.1.2 Meetlocatie 2 (Balkbrug)	14
	2.1.3 Meetlocatie 3 (Heibloem)	15
	2.1.4 Meetlocatie 4 (Dairy Campus)	16
	2.2 Uitvoering van emissiemetingen	20
	2.2.1 Emissiemetingen in de natuurlijk geventileerde stallen	20
	2.2.2 Emissiemetingen in de mechanisch geventileerde stallen	21
	2.2.3 Bijdrage van beluchting ligbed aan emissies	21
	2.2.4 Gebruikte meetmethoden en meetapparatuur	22
	2.3 Gegevensverwerking en analyse	23
3	Resultaten en discussie	25
	3.1 Landbouwkundige gegevens	25
	3.2 Overzicht van concentraties en emissies	28
	3.3 Ammoniakemissie	31
	3.4 Methaanemissie	32
	3.5 Lachgasemissie	33
	3.6 Bijdrage van ligbed aan CO ₂ productie	34
	3.7 Temperatuur in het ligbed	35
	3.8 Vergelijking met literatuur	36
	3.9 Reflectie op het werkingsprincipe	36
	3.10 Betrouwbaarheid en plausibiliteit van de metingen	37
	3.11 Aandeel afzuiging in emissies	37
	3.12 Totaal gasvormig stikstofverlies uit de stal en bedrijf.	37
4	Conclusies en aanbevelingen	39
	4.1 Conclusies	39
	4.2 Aanbevelingen	39
	Literatuur	40
	Bijlage 1 Stalplattegronden	42
	Bijlage 2 Fluxkamermetingen	46

Woord vooraf

De resultaten die in dit rapport beschreven worden maken onderdeel uit van meerjarig onderzoek naar de prestaties van vrijloopstallen voor melkvee met een organische bodem. Daarbij werd vooral aandacht gegeven aan de onderwerpen dierenwelzijn, melkkwaliteit en milieu.

Dit onderzoek dat zich richt op de gasvormige emissies uit vrijloopstallen is van belang voor een vergelijking van dit relatief nieuwe huisvestingssysteem voor melkvee met de gangbare manieren van huisvesting. De resultaten van dit en eerder onderzoek zijn te vinden op www.vrijloopstallen.nl of www.verantwoordeveehouderij.nl.

Het project is in eerste instantie gefinancierd vanuit het programma Duurzame Zuivelketen waarin overheid en bedrijfsleven (waaronder ZuivelNL) participeren. Het tweede deel is volledig gefinancierd door ZuivelNL (www.zuivelnl.nl) en betreft extra metingen op twee praktijkbedrijven en de metingen op Dairy Campus.

We danken de deelnemende veehouders, families Langenkamp, Koonstra en Hartman hartelijk voor hun medewerking.

Auteurs

Samenvatting

De belangrijkste reden voor de veehouders om over te stappen van een ligboxenstal naar een vrijloopstal is meestal de wens om beter dierenwelzijn te realiseren en de beschikking te krijgen over andere soorten mest. De overstap naar een vrijloopstal heeft echter ook effect op veel andere aspecten van de bedrijfsvoering zoals economie, stikstofstromen en emissies.

Eén van de aspecten die steeds aan bod zijn gekomen in eerder onderzoek is het gevolg van de omschakeling voor de emissie van ammoniak, lachgas en methaan. Omdat deze metingen vrijwel allemaal werden uitgevoerd met een fluxkamer op een relatief klein oppervlak is er nog geen goed inzicht in de emissies op stalniveau.

Deze gasvormige verliezen houden nauw verband met de uitvoering van de stal, het gebruikte (organisch) materiaal en het management van het ligbed. Verliezen beïnvloeden de stikstof- en koolstofkringloop op een melkveebedrijf en kunnen op langere termijn tot daling van de productiviteit op een melkveebedrijf leiden. Verliezen in de vorm van genoemde gassen hebben een negatief effect op het milieu door verzuring, vermesting of de bijdrage aan het versterkte broeikas-effect. Daarom is het belangrijk deze verliezen vast te stellen en te vergelijken met het gangbare huisvestingssysteem met ligboxen. Op basis van deze ervaringen en de resultaten van eerder onderzoek naar milieuaspecten lijken vrijloopbodems waarin houtsnippers worden gecomposteerd en die regelmatig bewerkt en belucht worden de meeste kans van slagen te hebben wat betreft management en milieuprestaties.

Het doel van dit project is daarom inzicht te krijgen in de ammoniak-, lachgas- en methaanemissie op stalniveau van vrijloopstallen met een ligbed van composterende houtsnippers dat regelmatig belucht en bewerkt wordt.

Om de doelstelling te behalen zijn emissiemetingen uitgevoerd op 3 praktijkbedrijven en op Dairy Campus in Leeuwarden. De stallen op de drie praktijkbedrijven zijn natuurlijk geventileerd. Daar is het absolute emissieniveau bepaald van ammoniak, methaan en lachgas. Op Dairy Campus zijn zogenaamde case-control metingen uitgevoerd in twee daarvoor ingerichte, mechanisch geventileerde afdelingen. Daarmee is de emissiereductie van de vrijloopafdelingen ten opzichte van een ligboxenafdeling (referentie) bepaald. Alle stallen hadden een vrijloopbodems met composterende houtsnippers die dagelijks bewerkt en belucht werd.

Voor het vaststellen van de emissies uit de natuurlijk geventileerde stallen (locaties 1-3) wordt gebruikt gemaakt van de tracergas ratio methode op basis van de CO₂ massabalans. Voor het inschatten van de bijdrage van de bodem aan de CO₂ productie in de stal is gebruik gemaakt van fluxkamermetingen. Voor het vaststellen van de emissies uit de mechanisch geventileerde afdelingen op locatie 4 is gebruik gemaakt van twee afdelingen voorzien van elk twee ventilatoren met meetwaaiers en smookkleppen.

De metingen hebben plaatsgevonden tussen 8 april 2014 en 7 november 2017.

De gemiddelde ammoniakemissie bedraagt 9.0 kg NH₃ per dierplaats per jaar (SD: 5.3 kg). Dit is gelijk aan een reductie van 31% ten opzichte van de geldende emissiefactor voor overige huisvesting systemen (A100) van 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar.

De gemiddelde methaanemissie bedraagt 189.9 kg CH₄ per dierplaats per jaar (SD: 116.2). Dit is een verhoging van 34% ten opzichte van de emissiefactor voor overige huisvesting systemen (A100) beschreven in Mosquera en Hol (2012) van 141.7 kg CH₄ per dierplaats per jaar.

De gemiddelde lachgasemissie bedraagt 3.2 kg N₂O per dierplaats per jaar (SD: 3.1 kg). Dit is 14.0 keer hoger dan de emissiefactor voor overige huisvesting systemen (A100) beschreven in Mosquera en Hol (2012) van 0.23 kg N₂O per dierplaats per jaar.

De gemiddelde CO₂ productie uit het ligbed bedraagt 29 gram CO₂ per m² per uur (SD: 20.7) en was gemiddeld gelijk aan 89% van de productie van CO₂ door de aanwezige dieren en drijfmest. Daarmee lijkt aangetoond dat de bijdrage van het ligbed aan de CO₂ productie niet te verwaarlozen is.

Opvallend is dat de bijdrage van de afzuiging (via de ventilator) op locatie 2 en 3 aan de totale ammoniakemissie erg beperkt is: gemiddeld 0.77% van de totale ammoniakemissie uitgedrukt in kg per dier per jaar verliet de stal via de afzuiging. Gezien de lage bijdrage aan de ammoniakemissie is het niet zinvol deze afzuiging te voorzien van een chemische luchtwasser om de ammoniak te

verwijderen. De bijdrage aan de methaan- en lachgasemissie was daarentegen veel groter. Gemiddeld verlaat 12.5% van de totale methaanemissie in kg per dier per jaar en 39.7% van de totale lachgasemissie via de afzuiging de stal. Verwijdering van broeikasgassen door biofiltratie of andere oxidatietechnieken zouden dus wel een wezenlijke bijdrage kunnen leveren aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen.

In vergelijking met de verliezen bepaald door balansmetingen zijn de totale stikstofverliezen door gasvormige emissies iets lager. Dat wordt mogelijk verklaard doordat er ook stikstof verloren kan gaan als andere, niet gemeten, gassen (bijvoorbeeld N₂).

De compostering in de vrijloopstallen lijkt het midden te houden tussen intensieven en extensieve compostering zoals bekend uit composteringliteratuur. De vermindering van de ammoniakemissie wordt mogelijk verklaard doordat een deel van het gevormde ammonium vastgelegd wordt in biomassa van micro-organismen.

Voor volgende onderzoek wordt aanbevolen emissiemetingen te combineren met balansmetingen om beter inzicht te krijgen in de onderlinge relatie. Ook zou meer aandacht gegeven moeten worden aan het meten van de factoren waarvan uit composteringsonderzoek bekend is dat ze emissie van ammoniak en broeikasgassen beïnvloeden. Gedacht wordt met name aan C/N verhouding en porositeit van het ligbed en de pH.

Daarnaast zou ook gekeken moeten worden naar de effecten van het langdurig gebruik van gecomposteerd bodemmateriaal als meststof om de verliezen op bedrijfsniveau te kunnen inschatten.

1 Inleiding

Sinds 2009 zijn ruim 50 melkveehouders in Nederland voor de huisvesting van hun melkvee overgestapt van een ligboxenstal naar een vrijloopstal. Ze werden vaak geïnspireerd door voorbeelden van een dergelijke stal in de Verenigde Staten of Israël waar deze stalconcepten al langer in gebruik zijn. In de Verenigde Staten zijn met name in de staten Minnesota en Kentucky onder de naam 'compost bedded pack barns' veel van dergelijke stallen gebouwd. Kenmerk van een vrijloopstal is dat de functiegebieden liggen en lopen niet meer van elkaar gescheiden zijn maar gecombineerd worden in één groot ligbed zonder individuele ligplaatsen. De uitvoering van dat ligbed verschilt van bedrijf tot bedrijf maar bestaat in vrijwel alle gevallen uit een zachte bodem van organisch materiaal. Een vrijloopstal verschilt van de potstal door meer ligruimte per dier, een grotere diversiteit aan bodemmateriaal en door bewerking en beluchting van het ligbed.

De belangrijkste reden voor de veehouders om over te stappen van een ligboxenstal naar een vrijloopstal is meestal de wens om beter dierenwelzijn te realiseren en de beschikking te krijgen over andere soorten mest. De overstap naar een vrijloopstal heeft echter ook effect op veel andere aspecten van de bedrijfsvoering zoals economie, stikstofstromen en emissies.

De vrijloopstal is al sinds 2007 onderwerp van onderzoek, gericht op deze verschillende aspecten en de gevolgen die dit type huisvesting heeft op het bedrijf als geheel en de omgeving. In Galama *et al.* (2015) en Galama (2014) is een overzicht gegeven van de toenmalige stand van zaken gebaseerd op uitgebreid onderzoek op 10 praktijkbedrijven.

Eén van de aspecten die steeds aan bod zijn gekomen is het gevolg van de omschakeling voor de emissie van ammoniak, lachgas en methaan. Deze gasvormige verliezen houden nauw verband met de uitvoering van de stal, het gebruikte (organisch) materiaal en het management van het ligbed. Verliezen beïnvloeden de stikstof- en koolstofkringloop op een melkveebedrijf en kunnen op langere termijn tot daling van de productiviteit op een melkveebedrijf leiden. Verliezen in de vorm van genoemde gassen hebben een negatief effect op het milieu door verzuring, vermesting of de bijdrage aan het versterkte broeikaseffect. Daarom is het belangrijk deze verliezen vast te stellen en te vergelijken met het gangbare huisvestingssysteem met ligboxen. In de Boer (2015a, 2015b, 2016a en 2016b) zijn de verliezen op vier melkveebedrijven bepaald door het opstellen van een gedetailleerde stikstof-, fosfor- en kalibalans van de vrijloopstallen. Daarmee wordt over een langere tijd het gemiddelde verlies van stikstof bepaald maar kan geen uitspraak gedaan worden over de vorm waarin dit verlies plaatsvindt. Stikstof (N) kan vervluchtigen in de vorm van ammoniak (NH₃), lachgas (N₂O), stikstofoxiden (NO_x) en stikstofgas (N₂). Verlies van koolstof is niet bepaald in de genoemde balansmetingen en kan plaatsvinden als methaan (CH₄) en kooldioxide (CO₂). Daarom zijn naast balansmetingen ook directe metingen van deze gasvormige verliezen uitgevoerd aan emissies van een vrijloopbodem. Deze metingen zijn beschreven in Galama *et al.* (2015) en Galama (2014) en in van Dooren *et al.* (2012) en van Dooren *et al.* (2016). Omdat deze metingen vrijwel allemaal werden uitgevoerd met een fluxkamer op een relatief klein oppervlak is er nog geen goed inzicht in de emissies op stalniveau. Bovendien zijn deze metingen gedaan in een periode dat de vrijloopstal nog erg in ontwikkeling was en er nog volop geëxperimenteerd werd met verschillende materialen voor het ligbed, de frequentie en manier van bewerking van het ligbed en het beschikbaar oppervlak per dier. Tenslotte is ook meer inzicht in de emissies van (met name ammoniak) nodig om te kunnen komen tot een emissiefactor voor dit huisvestingssysteem die kan worden opgenomen in bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Tot nu toe worden vrijloopstallen in het Besluit emissiearme huisvesting (Beh) vrijgesteld van de maximale emissiewaarden voor ammoniak en worden ze ingedeeld in categorie A1.100 (overige) huisvestingssystemen met een emissiefactor van 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Daarbij wordt een vrijloopstal omschreven als 'een huisvestingssysteem voor melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar zonder ligboxen en voorzien van een zachte, vochtdoorlatende of absorberende bodem, waarbij het totale oppervlak ten minste het aantal dieren maal 10 vierkante meter bedraagt'.

1.1 Bodemmateriaal en compostering

Het soort organisch materiaal dat in de praktijk gebruikt wordt voor de bedding en het management van de vrijloopbodem kan van bedrijf tot bedrijf verschillen. In Galama et al. (2015) zijn de belangrijkste verschillen tussen vrijloopstallen met een organische bodem beschreven. Doel is altijd om een droog ligbed te creëren, waarbij verschillende methoden worden gebruikt. De vier bedrijven die in dit rapport beschreven worden, gebruiken allemaal houtsnippers als bodemmateriaal. Ook hebben ze alle vier een beluchtingsstelsel onder het ligbed aangebracht waarmee door zuigen of door blazen lucht in de bedding wordt gebracht. Tenslotte wordt de toplaag op alle bedrijven dagelijks bewerkt om de geproduceerde mest met de bovenste laag van de bedding te vermengen en deze laag weer los te maken. Doel van dit alles is een composteringsproces op gang te brengen waarbij een gedeelte van het bodemmateriaal, een mengsel van houtsnippers en mest, onder aerobe omstandigheden wordt afgebroken door micro-organismen zoals bacteriën en schimmels. Bij die afbraak van organische stof ontstaat warmte waardoor (een gedeelte van) de urine verdampt en de bedding opdroogt. De beschikbaarheid van zuurstof speelt tijdens de compostering een centrale rol. Is er op enig moment of plaats te weinig zuurstof voorhanden dan is de kans groot dat bij de afbraak van organische stof (C) ook methaan ontstaat. Methaanemissie is onwenselijk omdat het een sterk broeikasgas is dat leidt tot opwarming van de aarde. Bij compostering speelt ook stikstof (N) een belangrijke rol. De belangrijkste bron van stikstof is het ureum in de urine van de koeien. Dit ureum wordt snel omgezet in ammonium en verder in ammoniak of nitraat. Deze vrij beschikbare, minerale stikstof kan door micro-organismen opgenomen en vastgelegd worden waardoor het niet meer vrij beschikbaar is en niet meer leidt tot emissies. De mate van vastlegging is afhankelijk van de omstandigheden tijdens de compostering zoals beschikbaarheid van voldoende koolstof (C/N-verhouding), zuurtegraad (pH) en beschikbaarheid van vocht en zuurstof. Ook de mest (feces) van de koeien en het bodemmateriaal bevat stikstof maar in een vorm die niet direct beschikbaar is en pas door afbraak van organische stof tijdens compostering in minerale vorm beschikbaar komt. De organische stof in de bedding is afkomstig van houtsnippers en van de mest (feces). Het verloop van het composteringsproces en met name de beschikbaarheid van zuurstof bepaald de vorm waarin N verloren gaat. Mogelijkheden zijn onder andere ammoniak (NH_3), lachgas (N_2O) en stikstofgas (N_2). Deze laatste vorm is onschadelijk voor het milieu en vertegenwoordigt alleen een verlies van stikstof voor bemesting maar is niet te meten omdat lucht voor het grootste deel uit stikstofgas (N_2) bestaat. De andere vormen zijn wel meetbaar en zijn beide ongewenst voor het milieu omdat ze leiden tot verzuring en vermisting (NH_3) of tot opwarming van de aarde (N_2O).

1.2 Perspectief voor emissiereductie in vrijloopstallen

De werkingsprincipes die bijdragen aan de reductie van de ammoniakemissie in een vrijloopstal zijn:

1. Het snel wegzakken van de urine in de bodem. Urine is de directe bron van ammoniakemissie in melkveestallen. Op een dichte (betonnen) oppervlak blijft een urineplas makkelijk enige tijd liggen en is er tijd voor de omzetting van ureum naar ammonium en de verdere vervluchtiging als ammoniak. In een vrijloopbodem zakt de urine snel weg in het ligbed en wordt nauwelijks blootgesteld aan luchtbeweging en zal daardoor maar beperkt emitteren.
2. Fixatie van ammonium-N in organische stof. Wanneer er in de bedding compostering plaatsvindt kan bij een relatieve overmaat aan (beschikbare) koolstof (C) het vrijkomende ammonium-N door microflora in de bedding vastgelegd worden in organische vorm. De stikstof is dan niet meer beschikbaar als bron voor ammoniakemissie. Een relatieve overmaat van C ten opzichte van N (hoge C/N verhouding) treedt naar verwachting vooral op bij vers bodemmateriaal in de eerste maanden na start of vernieuwing en aanvulling van het beddingmateriaal. De binding van ammoniak door micro-organismen loopt alleen goed wanneer het vochtgehalte in het bed niet te hoog (< 50%) of te laag is. Met name in de winterperiode kan het lastig zijn om de bedding droog te houden.
3. Omzetting naar andere vormen van stikstof. De vrijkomende ammonium-N (voornamelijk) uit de urine die niet gebonden wordt aan de koolstof (C) kan bij voldoende hoog zuurstofgehalte worden omgezet (genitrificeerd) in nitraat (NO_3^-). Voor een goede compostering moet voldoende zuurstof beschikbaar blijven en moet daarom het bed luchtig te houden. In de praktijk betekent dit het

dagelijks omwerken (omwoelen) van de bedding en het beluchten van de bedding via een stelsel van buizen in de vloer onder de bedding. Voor de uiteindelijke afvoer van de stikstof als stikstofgas (N₂) moet de nitrificatie gevolgd worden door denitrificatie. Denitrificatie vindt plaats bij een zuurstofarme of zuurstofloze omstandigheden waarbij het eerder gevormde nitraat wordt omgezet in zuurstof en stikstof. Bij zowel nitrificatie als denitrificatie kan als tussenproduct het broeikasgas lachgas (N₂O) ontstaan.

Het proces van nitrificatie en denitrificatie is moeilijk te sturen. Het verloop van beide processen en de aansluiting op elkaar is afhankelijk van de omstandigheden in het bed die per locatie kunnen variëren. De temperatuur, de hoeveelheid zuurstof en de heersende pH zijn de belangrijkste parameters. Bij ongunstige omstandigheden is de kans op emissie van lachgas (N₂O) groot.

4. Verlaging van de emissie van overig vloeroppervlak. Omdat dieren een aanzienlijk deel van de dag verblijven in het ligbed zal de hoeveelheid mest en urine die op het overig loopoppervlak terecht komt afnemen. De emissie van die (meestal betonnen) loopvloer wordt in belangrijke mate bepaald door de hoeveelheid urine die erop terecht komt. De emissie per m² zal daarom naar verwachting lager zijn dan verwacht kan worden op basis van de (definitieve, voorlopige of bijzondere) emissiefactor die aan het vloersysteem verleend zijn bij toepassing in een ligboxenstal.
5. De beschikbaarheid van zuurstof bepaalt ook in grote mate de vorm waarin koolstof verloren gaat. Compostering is een biologisch proces waarbij organische stof (C) via oxidatie wordt afgebroken en de C beschikbaar komt in andere vormen. In het ideale geval komt deze C alleen beschikbaar als kooldioxide (CO₂) maar bij complexe organische stof of onder omstandigheden waarbij niet voldoende zuurstof beschikbaar is ontstaat ook het broeikasgas methaan (CH₄).

Samenvattend zijn er processen en omstandigheden denkbaar waardoor de ammoniakemissie in een vrijloopstal lager kan zijn dan die van een ligboxenstal met een betonnen roostervloer en een mestopslag onder de vloer maar kunnen het grotere leefoppervlakte per dier, de uitvoering van een gedeelte van de stal als betonnen loopvloeren en de variatie in omstandigheden tijdens gebruik ook leiden tot een hogere ammoniakemissie en/of het ontstaan van andere onwenselijke emissies.

1.3 Bestaande kennis en ervaringen

Voor een goed verlopende compostering in het ligbed is het belangrijk dat de omstandigheden bij start en gedurende het gebruik optimaal zijn en blijven. Op basis van ervaringen in de praktijk zijn een aantal voorwaarden geformuleerd die daaraan bij moeten dragen. In de Boer et al (2015) wordt deze ervaring samengevat. Daaruit zijn een aantal vuistregels af te leiden:

- Per dier is ongeveer 15 m² per dier aan ligbed beschikbaar.
- De bedding is minimaal ca. 40 cm en maximaal ca. 90 cm dik. Voldoende volume in verhouding tot oppervlak is belangrijk om temperatuurschommelingen zoveel mogelijk te voorkomen. Daalt de temperatuur in de bedding dan neemt de verdamping van vocht af en kan de bedding te nat worden waardoor het composteringsproces tot stilstand komt. De bedding moet echter ook niet te dik zijn om gebrek zuurstof in sommige delen of lagen te voorkomen.
- De bedding is opgebouwd uit een combinatie van fijn en grof en jong en ouder materiaal. Fijner, jong materiaal is beter toegankelijk en vaak makkelijker afbreekbaar en draagt zo bij aan een hoge C/N-verhouding. Dat is nodig voor het snelle starten van de compostering en binding van stikstof. Grover, ouder materiaal is nodig om voldoende structuur en porositeit te behouden.
- De toplaag van de bedding wordt dagelijks bewerkt. Bewerking van de bovenlaag van het ligbed heeft als functie het mengen van de mest (feces) en het inbrengen van lucht. Daarbij zijn de externe omstandigheden bepalend voor de intensiteit van de bewerking. In de zomer moet het bed goed en diep worden losgewerkt voor de afvoer van warmte, in de winter moet juist minder intens worden bewerkt om afkoeling tegen te gaan. Intensief mengen met zwaar materieel heeft als nadeel dat de onderste lagen van het ligbed verdichten en minder toegankelijk zijn voor lucht (zuurstof).

-
- De bedding wordt dagelijks belucht door lucht door de bedding te blazen of te zuigen via een stelsel van buizen in de bodem van het ligbed. Ook hierin moet een balans gezocht worden tussen inbrengen van zuurstof en afvoer van water(damp) en afkoeling van de bedding.
 - Er wordt regelmatig nieuw materiaal toegevoegd om het verlies van volume te compenseren maar vooral om nieuwe energie toe te voeren aan het composteringsproces. Dit is met name van belang in perioden waarin de warmteverliezen naar de omgeving hoog en de verdamping laag is (najaar en winter).
 - Het bodemmateriaal moet worden vervangen bij een vochtgehalte boven de 50% of wanneer het materiaal is uitgecomposteerd. De temperatuur van de bedding en de C/N verhouding zijn daarvoor indicatoren. Eventueel kan alleen de bovenste laag al eerder worden vervangen als deze, vooral in de winter, klad wordt. Grover materiaal kan worden uitgezeefd en opnieuw worden gebruikt.

Op basis van deze ervaringen en de resultaten van eerder onderzoek naar milieuaspecten lijken vrijloopbodems waarin houtsnippers worden gecomposteerd en die regelmatig bewerkt en belucht worden de meeste kans van slagen te hebben wat betreft management en milieuprestaties. Houtsnippers bieden aan de ene kant voldoende beschikbare koolstof en behouden aan de andere kant ook tijdens compostering voldoende structuur om de beschikbaarheid van zuurstof te kunnen garanderen. Actieve beluchting draagt bij aan de toetreding van zuurstof omdat de buizen in de vloer van de het ligbed onvoldoende oppervlak bieden voor alleen passieve beluchting. Het regelmatig mengen van de toplaag brengt lucht in de vrijloopbodem maar zorgt ook voor menging van mest, urine en houtsnippers.

1.4 Doelstelling

Het doel van dit project is om inzicht te krijgen in de ammoniak-, lachgas- en methaanemissie op stalniveau van vrijloopstallen met een ligbed van composterende houtsnippers dat regelmatig belucht en bewerkt wordt. De metingen hebben tevens tot doel om als basis te kunnen dienen voor de vaststelling van een emissiefactor in de Rav.

2 Materiaal en methoden

Om de doelstelling te behalen zijn emissiemetingen uitgevoerd op 3 praktijkbedrijven en op Dairy Campus in Leeuwarden. De stallen op de drie praktijkbedrijven zijn natuurlijk geventileerd. Daar is het absolute emissieniveau bepaald van ammoniak, methaan en lachgas. Op Dairy Campus zijn zogenaamde case-control metingen uitgevoerd in twee daarvoor ingerichte, mechanisch geventileerde afdelingen. Daarmee is de emissiereductie van de vrijloopafdelingen ten opzichte van een ligboxenafdeling (referentie) bepaald. Alle stallen hadden een vrijloopbodem met composterende houtsnippers die dagelijks bewerkt en belucht werd. In de hierna volgende paragrafen en in de genoemde bijlagen wordt een beschrijving gegeven van de volgende punten:

- Omschrijving van de stallen, bedding en bijbehorende bedrijfsvoering per vrijloopstal (2.1; Bijlage 1)
- De uitvoering van de emissiemetingen (2.2)
- De wijze van verwerking van de gegevens (2.3).

2.1 Beschrijving meetlocaties

2.1.1 Meetlocatie 1 (Dalfsen)

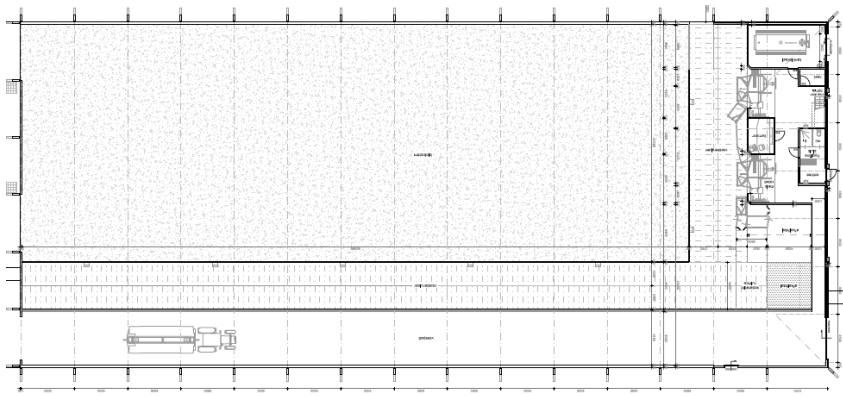
De metingen op deze locatie vonden plaats in de vrijloopstal van maatschap Langenkamp-Niens in Dalfsen. Deze vrijloopstal is in april 2013 in gebruik genomen. De bodem bestaat uit een pot van 55 cm diep gevuld met houtsnippers. In de vloer van de pot is een buizensysteem aangelegd (om de 2 meter) waarmee de mogelijkheid ontstaat om lucht door het bed heen te blazen. Dit gebeurde 3-5 keer per dag gedurende 10-20 minuten per keer. De toplaag werd dagelijks omgewoeld met een trekkeraangedreven frees. Afhankelijk van de conditie van het bed werd de frequentie en de duur van de beluchting aangepast. Het doel was snel te composteren op relatief hoge temperaturen (50-55 °C). Gemiddeld werd een bedding 9 maanden gebruikt waarna een deel werd verwijderd en nieuwe houtsnippers werden toegevoegd. Het moment van vervanging van de bedding was afhankelijk van de conditie van de bedding en de beschikbaarheid van de houtsnippers.

In deze stal waren gedurende de metingen naast de melkkoeien ook droogstaande koeien en hoog drachtige pinken gehuisvest. Deze waren van elkaar gescheiden door een stroomdraad. Binnen de verschillende groepen konden de dieren zich vrij bewegen. De stal bestond uit een grote ligruimte (bedding), een Ecovloer (BWL 2010.34 met emissiefactor van 7.0 kg NH₃ per dierplaats per jaar) achter het voerhek en voor de melkrobots, een voergang en een ruimte waar de twee melkrobots geplaatst waren. Er waren drie aparte ruimtes beschikbaar waar dieren om verschillende redenen tijdelijk gehuisvest konden worden (separatieruimtes). Een plattegrond van de stal is weergegeven in Figuur 1. De schematische plattegrond van de stal is weergegeven in Figuur 10 in Bijlage 1. In de stal was er altijd voer aan het voerhek beschikbaar, drinkwater was beschikbaar via waterbakken die aan de randen van de bedding waren geplaatst. De bedding had een oppervlak van 1391 m², de roostervloer een oppervlak van 422 m². Daarmee was voor dagelijks gebruik gemiddeld 23 m² per dier (exclusief separatieruimtes) beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar, waarvan 77% bestond uit bedding. De roostervloer werd elke 2 uur geschoven met een mestrobot.

Het rantsoen voor de melkkoeien bestond voornamelijk uit ruwvoer aangevuld met bijproducten. Daarnaast werd een hoeveelheid krachtvoer gevoerd. Het ruwvoer bestond uit graskuil, snijmaïskuil, koolzaadstro en hennepkuil. Als bijproducten werden maïsvlokken, bietenperspulp, sojaschroot en raapzaadschroot gevoerd. Ruwvoer en bijproducten werden als gemengd rantsoen aan het voerhek verstrekt en krachtvoer tijdens het melken in de robot en in één krachtvoerbox in de stal. De hoeveelheid krachtvoer werd op basis van productieniveau en leeftijd, per dier verstrekt. Het ruwvoer werd in de ochtend in de stal gebracht en gedurende de dag regelmatig aangeschoven. Voor de droge koeien en de hoog drachtige pinken werd een afwijkend rantsoen gevoerd dat geheel uit ruwvoer bestond.

De stal werd natuurlijk geventileerd, en was aan 3 kanten open. Alleen de kopgevel waar de ruimte voor het melken was gesitueerd was dicht (westzijde). Bij alle drie overige zijden was het mogelijk om de ventilatieopeningen in te stellen. De openingen waren daarvoor voorzien van gordijnen van dicht zeildoek. De gordijnen konden per wand op iedere gewenste hoogte worden ingesteld. De voergang was afsluitbaar met dichte deuren. In het midden van de stal, onder de open nok, was een grote mengventilator geplaatst om luchtbeweging in de stal te creëren. Het draaien van deze ventilator was afhankelijk van de staltemperatuur. Tijdens de metingen werd de kopgevel afgesloten met genoemd windbreekgaas. De ventilatieopeningen in de zijgevels werden tijdens metingen vastgezet op het niveau passend bij weersomstandigheden. De ventilator werd uitgezet.

Op dit bedrijf werd weidegang toegepast maar de metingen werden echter uitgevoerd wanneer alle dieren in de stal waren. Alle melkgevende koeien werden door de melkrobot gemolken. Gemiddeld werden de koeien 2.9 keer per dag gemolken. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.



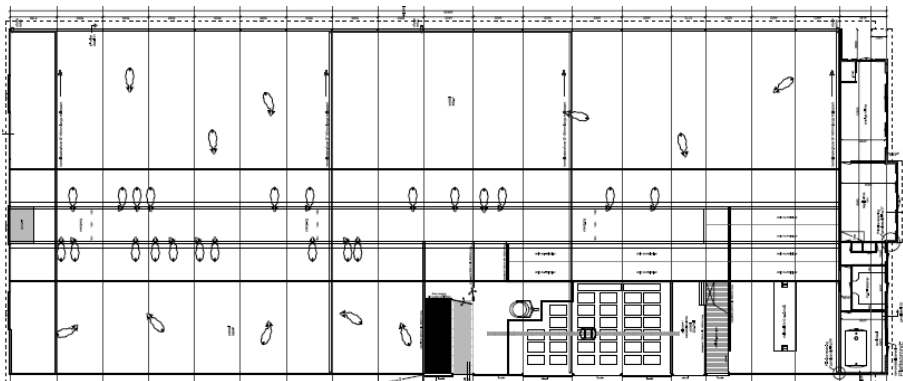
Figuur 1 Plattegrond van meetlocatie 1 (Dalfsen).

2.1.2 Meetlocatie 2 (Balkbrug)

De tweede meetlocatie was in de vrijloopstal van de familie Koonstra in Vinkebuurt vlak bij Balkbrug. De vrijloopstal is in 2015 in gebruik genomen. De bodem bestaat uit een pot van 85 cm diep gevuld met houtsnippers in twee lagen. De onderste laag bevatte voornamelijk grove houtsnippers en de bovenste laag voornamelijk fijnere houtsnippers. In de vloer van de pot was een buizensysteem (iedere 1.5 meter) aangelegd waarmee de mogelijkheid ontstaat om lucht door het bed heen te zuigen. De afzuiging stond 24 uur per dag aan op maximale ventilatiecapaciteit. Wanneer de toplaag van de bedding te droog werd, werd de afzuiging handmatig tijdelijk uitgezet. De toplaag wordt dagelijks omgewoeld met een trekkeraangedreven frees éénmaal per week gecombineerd met woelpoot om de diepere lagen los te maken. Het doel was snel te composteren op relatief hoge temperaturen (50-55 °C).

De bovenbouw is als serrestal (ID-agro) uitgevoerd. In deze stal werden naast melkgevende koeien ook droge koeien en jongvee gehuisvest. Per diergroep konden dieren zich vrij bewegen in de stal. De stal bestond uit twee grote ligruimtes (bedding), een Agrifloor van Zeus Beton (BWL 2010.24 met een emissiefactor van 11.8 kg NH₃ per dierplaats per jaar) achter het voerhek en in de wachtruimte voor de melkstal. In de stal waren verder aanwezig: een 2x10 zij-aan-zij melkstal (rapid exit) en separatierruimtes voor de melkkoeien. Tenslotte werden jonge klaveren in een afgesloten ruimte in de stal opgefokt. Er werd ruwvoer gevoerd met een voerrobot (Lely Vector). De voergang is daarom smal en in de stal was een voerkeuken aanwezig. Een plattegrond van de stal is weergegeven in Figuur 2. De schematische indeling van de stal wordt weergegeven in Figuur 11 in Bijlage 1. Water en ruwvoer waren altijd beschikbaar, water in de waterbakken aan de randen van de bedding en ruwvoer aan voerhek. De bedding had een oppervlak van 1807 m² (waarvan 1356 m² voor melkkoeien). Het permanent toegankelijke deel van de loopvloer had een oppervlak van 583 m² (waarvan 402 m² voor melkkoeien). Voor dagelijks gebruik was voor melkkoeien gemiddeld 20 m² per dier (exclusief separatierruimtes) beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar waarvan 77% bestond uit ligbed.

Het rantsoen voor de melkkoeien bestond tijdens de metingen voornamelijk uit ruwvoer aangevuld met bijproducten en krachtvoer. Het ruwvoer bestond uit graskuil en maiskuil (een mengsel van snijmais, MKS en CCM). Als bijproduct werk bierborstel gevoerd. Het krachtvoer bestond uit sojaschroot, rapzaadschroot en een mineralenmengsel. Ruwvoer, bijproducten en krachtvoerders werden als totaal gemengd rantsoen verdeeld over de dag aan het voerhek gevoerd. De stal werd natuurlijk geventileerd en was aan 3 kanten open. Alleen de zijwand waar de ruimte voor het melken was gesitueerd was dicht. Bij alle 3 de kanten was het mogelijk om de ventilatieopeningen in te stellen. De opening van de zijwanden kon worden verkleind met dichte gordijnen. De gordijnen konden per zijwand op iedere hoogte worden ingesteld. De wand aan de kopse kant kon met deuren voor een groot deel worden afgesloten. Daarnaast was gordijn met een fijn windbreekgaas beschikbaar waarmee het resterende deel van de kopgevel kon worden afgesloten. Hiermee werd de ventilatie door deze wand sterk beperkt. Ook delen van het dak konden worden geopend. Bij de uitvoering van de metingen was het dak altijd gesloten en waren alle zijwanden op een niveau ingesteld dat paste bij de heersende weersomstandigheden. De deuren in de kopgevel waren dicht en de rest was afgesloten met windbreekgaas. Op dit bedrijf werd weidegang toegepast. Ten behoeve van de metingen werden de dieren gedurende 24 uur binnen gehouden. Alle melkgevende koeien werden tweemaal per dag in de melkput gemolken. Iedere morgen werd de bedding met behulp van een spitmachine bewerkt. Dit nam ongeveer 20 minuten in beslag. Gedurende deze periode konden er geen melkkoeien in de ligruimte komen. De betonnen vloer werd tussen om de twee uur geschoven met een mestrobot. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.



Figuur 2 Plattegrond van meetlocatie 2 (Koonstra).

2.1.3 Meetlocatie 3 (Heibloem)

De metingen op deze locatie vonden plaats in de vrijloopstal van de familie Hartman in Heibloem. Deze vrijloopstal is in 2012 in gebruik genomen. In deze vrijloopstal worden uitsluitend melkgevende dieren gehouden. De dieren konden zich vrij bewegen door de hele stal. De bodem bestond uit een pot van 86 cm diep gevuld met grove (geshredderde) houtsnippers, tijdens de laatste meting aangevuld met stro. In de vloer van de pot is een buizensysteem (ieder 1.5 meter) aangelegd waarmee de mogelijkheid ontstaat om lucht door het bed heen te zuigen. Dit systeem is aangebracht door de Christiaens Groep, een bedrijf dat gespecialiseerd is in composteringsinstallaties. Gedurende de dag werd een beperkt aantal keren korte tijd lucht door het ligbed gezogen. De aansturing daarvan verliep automatisch op basis van temperatuursensoren die de vloer van de bedding en in de luchtstroom waren aangebracht. De toplaag werd dagelijks bewerkt met een trekkerangedreven spitmachine en om de paar weken werd de onderlaag gewoeld. Het doel was langzaam te composteren op relatief lage temperatuur (tot 35 °C).

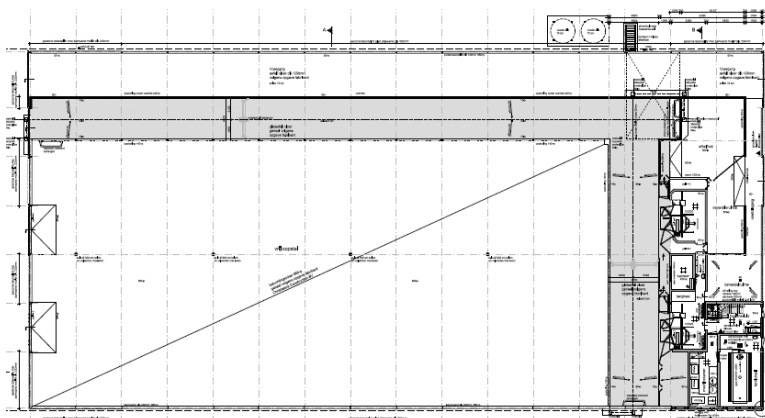
De stal bestond uit een grote ligruimte (1479 m²), een dichte gietasfalt vloer achter het voerhek en voor de twee melkrobots (388 m²), een voergang en een aantal technische ruimtes. Er waren twee aparte ruimtes beschikbaar waar dieren om verschillende redenen tijdelijk gehuisvest konden worden (afkalf- en separatuurruimten) uitgevoerd als strohokken. Een plattegrond van de stal is weergegeven in Figuur 3. De schematische indeling van de stal wordt weergegeven in Figuur 12 in Bijlage 1. Water en ruwvoer waren altijd beschikbaar. Water in de waterbakken aan de randen van de bedding en op

de gietasfaltvloer en ruwvoer aan voerhek. Voor dagelijks gebruik was gemiddeld 17.9 m² per dier (exclusief separatuimtes) beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar waarvan 79% bestond uit ligbed. De gietasfaltvloer (BWL2012.01 met een emissiefactor van 11.7 kg NH₃ per dierplaats per jaar) lag in een V-vorm onder een lichte helling. De urine kon via een goot in het midden van de vloer direct wegstromen naar het einde van de stal.

Het rantsoen voor de melkkoeien bestond tijdens de metingen voornamelijk uit ruwvoer aangevuld met krachtvoer. Het ruwvoer bestond uit graskuil, snijmaïskuil, luzernekuil, grashooi en koolzaadstro en werd als gemengd rantsoen één keer per dag ('s ochtends) aan het voerhek verstrekt en verschillende keren aangeschoven. Het krachtvoer werd tijdens het melken in de robot verstrekt. De hoeveelheid krachtvoer werd op basis van productieniveau en leeftijd, per dier bepaald.

De bovenbouw is als serrestal (ID-agro) uitgevoerd. De stal werd natuurlijk geventileerd, en was aan 3 kanten open. Alleen de zijwand waar de melkrobots waren gesitueerd was dicht. Bij alle 3 de kanten was het mogelijk om de ventilatieopeningen in te stellen. De opening van de zijwanden kon worden verkleind met dichte gordijnen van zeildoek. De gordijnen konden per zijwand op iedere hoogte worden ingesteld. De wand aan de kopse kant kon door deuren voor een groot deel worden afgesloten. Daarnaast was gordijn met een fijn windbreekgaas beschikbaar waarmee het resterende deel kon worden afgesloten. Hiermee werd de ventilatie door deze wand sterk beperkt. Het dak kon ook meer of minder worden geopend. Tijdens de uitvoering van de metingen was het dak altijd gesloten, en werd het zeildoek in de zijwanden ingesteld op een vaste hoogte die paste bij de heersende weersomstandigheden.

Op dit bedrijf werd geen weidegang toegepast. Alle melkgevende koeien werden door de melkrobot gemolken. Gemiddeld werden de koeien 2.8 keer per dag gemolken. Iedere morgen werd de bedding bewerkt met een cultivator. De dichte asfaltvloer werd tussen 5:00 en 23:00 uur om de twee uur geschoven met een getrokken mestschuif. De gietasfalt vloer werd tijdens het schuiven licht besproeid met water om aankoeken van mest tegen te gaan. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet. In Bijlage 1 is een plattegrond van de stal opgenomen.



Figuur 3 Plattegrond van meetlocatie 3 (Heibloem).

2.1.4 Meetlocatie 4 (Dairy Campus)

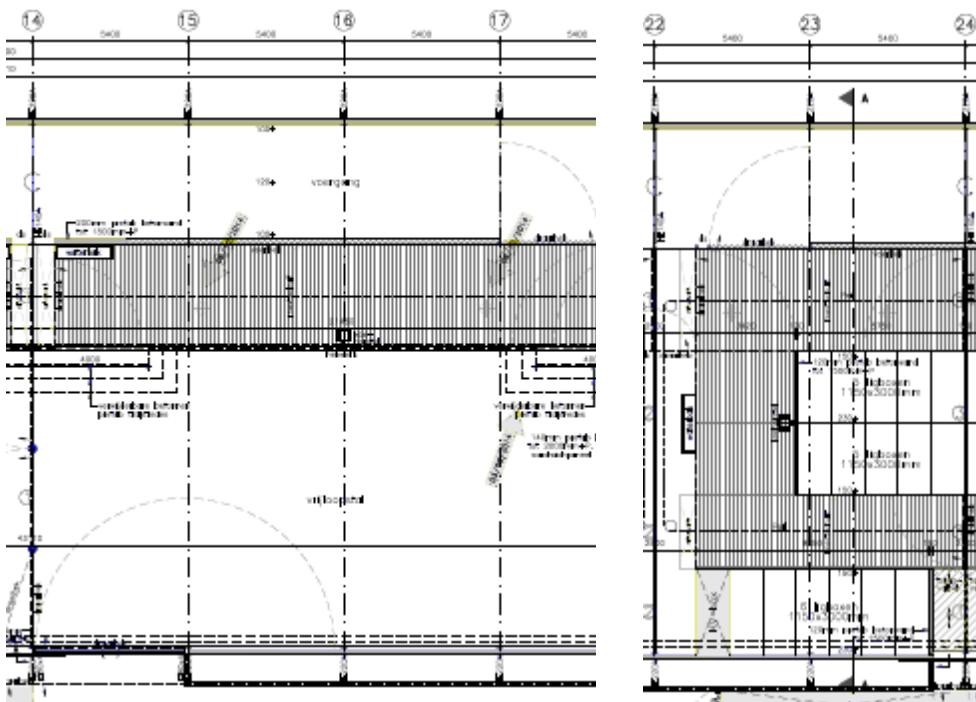
De vierde meetlocatie was Dairy Campus in Leeuwarden. De metingen vonden plaats in de twee afdelingen van de emissiemeetstal op Dairy Campus, Leeuwarden. Eén van die afdelingen was ingericht als vrijloopstal, de andere was ingericht als ligboxenstal (referentieafdeling). In beide afdelingen waren 16 dieren gehuisvest. Een plattegrond van de stal is weergegeven in Figuur 4. De schematische indeling van beide afdelingen is weergegeven in Figuur 13 in Bijlage 1.

Op Dairy Campus zijn de metingen onder case-control omstandigheden uitgevoerd. De ligboxenstal was uitgerust met een betonnen roostervloer en 16 ligboxen met een breedte van 1.15 meter en een lengte van 2.5 meter voor een binnenrij en 3 meter voor een buitenrij.

De vrijloopafdeling was voorzien van een pot met een diepte van 1.25 meter en gevuld met houtsnippers. In de vloer van de pot was om een buizensysteem aangelegd (iedere twee meter) waardoor om de twee uur 10 minuten lucht door het ligbed geblazen werd. Het ligbed werd dagelijks bewerkt door een trekkerangedreven frees. Boven het ligbed was een grote horizontale ventilator

geïnstalleerd om extra luchtbeweging te creëren die echter tijdens de metingen niet gebruikte werd. De loopvloer achter het voerhek was uitgevoerd als betonroostervloer. De mestkelder onder de roosters was voorzien van een luchtmixsysteem van DSD stalinrichting waarmee dagelijks de drijfmest in de kelder gemixt werd. De roostervloer was voorzien van een getrokken mestschuif die elke twee uur de mest verwijderde. Tijdens metingen was in de vrijloopafdeling de helft van het voerhek en de bijbehorende roostervloer niet toegankelijk voor de dieren. Hiervoor is gekozen om het roosteroppervlak per dier in de mestgang achter het voerhek voor vrijloop- en referentieafdeling gelijk te houden. Het niet gebruikte deel van de roostervloer was tijdens de metingen afgedekt met landbouwplastic en het onderliggende kelderdeel was afgescheiden van de rest van de mestkelder. Beide afdelingen waren verder voorzien van een krachtvoerbox, een waterbak en een koeborstel. Het rantsoen bestond voornamelijk uit ruwvoer aangevuld met bijproducten en krachtvoer. Het ruwvoer bestond uit graskuil en maiskuil. Als bijproducten werden tarwemeel, gemalen soja, DairyFit en een mineralenmengsel gebruikt. Ruwvoer en bijproducten werden éénmaal per dag als gemengd rantsoen verstrekt aan het voerhek en twee keer per dag aangeschoven. De koeien werden twee keer per dag gemolken in een buiten de stal gelegen melkstal waar een gedeelte van het krachtvoer verstrekt werd. Per melkbeurt waren de dieren maximaal 2 uur uit de afdeling. Deze periode is niet meegenomen in de emissieberekeningen. De koeien kregen geen weidegang.

De bovenbouw van beide afdelingen bestond uit een dak van geïsoleerde dakplaten en een afsluitbare open nok met lichtplaten. De beide zijgevels waren voorzien van vogelgaas en een oprolbaar gordijn van dicht zeildoek. De afdelingen zijn beide tevens voorzien van een mechanisch ventilatiesysteem met twee ventilatoren met een diameter van 80 centimeter voorzien van meetwaaier en smookklep. Tijdens de metingen was de nok gesloten, waren de beide zijwanden afgesloten met zeildoek en werd mechanisch geventileerd. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet. In Bijlage 1 is een plattegrond van de stal opgenomen.



Figuur 4 Plattegrond van meetlocatie 4 (Dairy Campus)

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken van de stallen op de gemeten locaties.

Kenmerk	Locatie 1 (Dalfsen)		Locatie 2 (Balkbrug)		Locatie 3 (Heibloem)		Locatie 4 (Dairy Campus)	
							Vrijloopafdeling	Ligboxafdeling
Oriëntatie nok	Zie Figuur 10		Zie Figuur 11		Zie Figuur 12		Zie Figuur 13	Zie Figuur 13
Totale stal								
	Lengte (m)	75.8	90.5		72.1		21.6	10.8
	Breedte (m)	32.4	37.6		35.1		18.6	18.5
	Goothoogte (m)	4.5	5.5		5.5		4.5	4.5
	Nokhoogte (m)	11.0	7.2		6.8		8.2	8.2
	Oppervlak (m ²)	2456	3399		2533		401	191
	Inhoud (m ³)	19062	22545		16126		2557	1231
Ventilatie	Principe	Natuurlijk	Natuurlijk		Natuurlijk		Mechanisch	Mechanisch
	Dakvorm	Zadeldak	Serrestal		Serrestal		Zadeldak	Zadeldak
	Inlaat en uitlaat	Zijwanden en nok	Zijwanden en dak ¹		Zijwanden en dak ¹		Zijwanden en kokers	Zijwanden en kokers
Ligbed	Diergroepen ²	MK, DK, DJV	MK	DK en DJV	MK		MK	MK
	Lengte (m)	62.5	90.5		56.7		21.6	-
	Breedte (m)	22.3	15.0		26.1		10.3	-
	Diepte (m)	0.55	0.85		0.86		1.47	-
	Oppervlak (m ²)	1391	1356		1479		223	49 ³
Loopvloer	Uitvoering	Ecovloer (BWL2010.34)	Agrifloer (BWL2010.24)		Asfaltvloer (BWL2012.01)		Roostervloer+bellenmixsysteem	Roostervloer
	Oppervlak (m ²)	422	402		414		69	73
Overige ruimten	Separatie-, afkalf- en ziekenstal (m ²)	70.1	62		72.1		-	-
	Wachtruimte (m ²)	-	141		-		-	-
	Kalveren (m ²)	-	43		-		-	-
Mestkelder	Inhoud (m ³)	823	2200		-		97	174
Beschikbaar oppervlak	Aantal dierplaatsen ⁴	93	91		31		99	15 ⁵
	Beschikbare loopvloer(m ² /dier)	4.5/3.0	4.4/3.3		5.8/3.9		4.2/2.8	4.6/3.0
	Verhouding ligbed:loopvloer	77:23	77:23		71:29		78:22	79:24
								40:60

¹ Tijdens metingen was het dak gesloten² MK: melkkoeien; DK:droge koeien; DJV: drachtig jongvee³ Oppervlakte ligboxen⁴ Bij 15 m² ligbed per dier⁵ Aantal ligboxen

Bewerking ligbed						
	Techniek	Frees	Frees en woelpoot	Spitmachine en woelpoot	Frees	-
	Frequentie	1x per dag	1x per dag	1x per dag	1x per dag	-
Beluchting ligbed						
	Techniek	Blazen	Zuigen	Zuigen	Blazen	-
	Frequentie	Afhankelijk van de conditie van het ligbed	Continue	Afhankelijk van de conditie van het ligbed	10 minuten per uur	-
	Buisafstand h.o.h. (m)	2	1.5	1.5	2	-
	Afstand gaatjes (m)	0.40	1	1	1	-
Drijfmest						
	Opslag	In de stal	In de stal	Buiten de stal	In de stal	In de stal
	Mixfrequentie	Dagelijks	> 3mnd	> 3mnd	Dagelijks	>3 mnd
Reiniging loopvloer						
	Techniek	Mestrobot	Mestrobot	Mestschuif	Mestschuif	Geen
	Frequentie	2x per uur	2x per uur	2x per uur	2x per uur	n.v.t.
Melksysteem						
		Melkrobot	Melkstal	Melkrobot	Melkstal	Melkstal
Voeding						
	Techniek	Voermengwagen	Voerrobot	Voermengwagen	Voermengwagen	Voermengwagen
	Samenstelling ⁶	GK,MK,BP,KV	GK,MK,BP,KV	GK,MK,BP,KV	GK,MK,BP,KV	GK,MK,BP,KV
Weidegang ⁷						
		Beperkt	Beperkt	Geen	Geen	Geen
	Aantal uren/dag en dagen/jaar	6/120	6/120	6/120	-	-

⁶ GK: Graskuil; MK: Maiskuil; BP: Bijproducten; KV: Krachtvoer

⁷ Niet tijdens metingen

2.2 Uitvoering van emissiemetingen

De emissie van ammoniak, methaan en lachgas is het resultaat van een bijdrage aan het concentratieniveau van deze (doel)gassen door processen die in de stal plaatsvinden. Om deze bijdrage te kunnen vaststellen zijn concentratiemetingen nodig in de stal en in de lucht die de stal binnen komt. Alleen meting van de doelgassen is echter niet voldoende. Ook de hoeveelheid lucht die de stal verlaat moet worden vastgesteld. Voor mechanisch geventileerde stallen kan die afgeleid worden van de meetwaai in de ventilatiekamer. Voor natuurlijk geventileerde stallen kan het ventilatieniveau berekend worden door gebruik te maken van een tracergas. Elk gas met een bekende productie in de stal die leidt tot voldoende concentratieverschil met de binnenkomende lucht is bruikbaar. In de praktijk van het emissiemetingen wordt gebruik gemaakt van kooldioxide (CO₂). Op locaties 1 t/m 3 zijn de emissiemetingen uitgevoerd onder natuurlijk geventileerde omstandigheden, op locatie 4 bij mechanische ventilatie.

2.2.1 Emissiemetingen in de natuurlijk geventileerde stallen

Voor het vaststellen van de emissies uit de natuurlijk geventileerde stallen (locaties 1-3) wordt gebruikt gemaakt van de tracergas ratio methode op basis van de CO₂ massabalans. Kern van die aanpak is een meting van de mengverhouding tussen tracergas (CO₂) en doelgas (NH₃, CH₄ en N₂O). Uit deze mengverhouding en de achtergrondconcentraties is het ventilatiedebiet te berekenen. De productie van het tracergas (CO₂) door de aanwezige dieren en de aanwezige drijfmest wordt daarbij berekend met de CIGR-rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008):

$$PCO_2(\text{melkgevend}) = 0.2 * \left[\frac{(5.6 * m^{0.75} + 22 * Y_1 + 1.6 * 10^{-5} * p^3)}{1000} \right]$$

$$PCO_2(\text{droog}) = 0.2 * \left[\frac{(5.6 * m^{0.75} + 1.6 * 10^{-5} * p^3)}{1000} \right]$$

$$PCO_2(\text{drachtig jongvee}) = 0.2 * \left[\frac{\left(7.64 * m^{0.69} + Y_2 * \left(\frac{23}{M} - 1 \right) * \left(\frac{57.27 + 0.0302 * m}{1 - 0.171 * Y_2} \right) + 1.65 * 10^{-5} * p^3 \right)}{1000} \right]$$

$$PCO_2(\text{jongvee}) = 0.2 * \left[\frac{6.44 * m^{0.70} + \frac{13.3 * Y_2 * (6.28 + 0.0118 * m)}{(1 - 0.3 * Y_2)}}{1000} \right]$$

Met:

PCO₂= Productie CO₂ in m³/h

m= gemiddelde gewicht (kg)

Y₁= melkproductie (kg/dier/dag)

p= dagen in dracht

M= energiewaarde van het voer (MJ/kg ds); M=10 voor ruwvoer.

Y₂= gewichtstoename (kg/dag); Y₂=0.5

Hiervoor zijn gemiddelde gegevens van diergewicht, melkproductie en aantal dagen in dracht nodig. Voor melkkoeien (droog en melkgevend) is een gewicht van 650 kg en 160 dagen in dracht aangenomen als specifieke gegevens ontbraken. Voor drachtig jongvee is dat respectievelijk 400 kg en 140 dagen in dracht. Voor het gewicht van overig jongvee is 250 kg verondersteld. Alleen op locatie 4 (Dairy Campus) waren diergewichten beschikbaar.

Omdat in de bedding van het ligbed compostingsprocessen kunnen optreden (en zelfs gestimuleerd worden) is het nodig om de kooldioxide (CO₂) die daarbij gevormd wordt op te tellen bij de CO₂-productie van de dieren en de drijfmest. Aangezien er geen standaard berekeningsmethode is zoals de CIGR-rekenregels voor de productie van de dieren, is een schatting gedaan van de CO₂ productie uit de bedding tijdens de metingen op basis van meting van de CO₂ productie in de dagen voorafgaand

aan of volgend op de emissiemeting. Deze meting van de CO₂-productie is uitgevoerd met een gesloten fluxkamer en elke meting is 15-20 keer per meetdag herhaald verspreid over het ligbed. Concentratie van CO₂ is gemeten met een multigasanalyser (Innova 1312, LumaSence Technologies) die voorzien is van een infrarood bron en werkt volgens het principe van foto-akoestisch spectroscopie (PAS). De emissie is berekend volgens de methode beschreven in Hutchinson en Mosier (1981). De gemiddelde emissie is per stalmeting toegevoegd aan de CO₂ productie van de dieren en de drijfmest. Meer details over de gebruikte fluxkamer en berekeningsmethode zijn opgenomen in Bijlage 2. Tijdens elke fluxkamer meting is de temperatuur van het ligbed op drie diepten (0, 20 en 40 cm) bepaald met een steeklans verbonden met een Testo 435-4.

Voor het meten van de verschillende gasconcentraties in de stal en van ingaande lucht zijn verschillende methoden en apparaten gebruikt. Een overzicht is gegeven in Tabel 2. De precieze locatie van de meetpunten op de verschillende locaties is aangegeven in de stalplattegronden (Bijlage 1).

Meting van staltemperatuur en -luchtvochtigheid tijdens meetdagen is uitgevoerd met sensoren (Rotronic Instrument Corp.) met een nauwkeurigheid van respectievelijk ± 1.0 °C en $\pm 2\%$ en opgeslagen in een datalogstelsel (CR1000, Campbell Scientific).

2.2.2 Emissiemetingen in de mechanisch geventileerde stallen

Voor het vaststellen van de emissies uit de mechanisch geventileerde afdelingen op locatie 4 is gebruik gemaakt van de daar aanwezige voorzieningen. Elke afdeling was uitgerust met twee ventilatoren voorzien van een meet- en smoorunit (Fancom) met een maximale ventilatiecapaciteit van elk ongeveer 21,000 m³/h. Het ventilatieniveau werd gereguleerd door een regelcomputer (Fancom FC14) en was ingesteld op een vaste waarde (50% van de maximale ventilatiecapaciteit). Het gerealiseerde ventilatieniveau werd gelogd (CR1000, Campbell Scientific) en aan de hand van de beschikbare relatie tussen aantal omwentelingen van de meetwaaier en de hoeveelheid lucht (kalibratielijns) is het debiet berekend. In elke koker zijn twee monsterleidingen aangebracht waardoor lucht die de stal verlaat bemonsterd werd. Eén set van deze monsterleidingen is via een meetpuntomschakelaar (MPO) en een convertor (voor de omzetting van ammoniak naar NO_x) verbonden met een NO_x-analyser (T200, Teledyne API) die werkt volgens het chemoluminescentie principe. Gegevens van deze concentratiemetingen en meting van staltemperatuur en luchtvochtigheid zijn opgeslagen in een eerder genoemde datalogger (CR1000, Campbell Scientific). De andere set monsterleidingen is gebruikt voor de bemonstering van uitgaande lucht met de longmethode voor bepaling van de concentratie van kooldioxide, methaan en lachgas. Buiten de stal waren vier punten op ongeveer 10 meter van de stal aangebracht voor de meting van de achtergrondconcentraties (zie Tabel 2). De ventilatiegordijnen voor de inlaatopeningen waren tijdens de metingen gesloten.

2.2.3 Bijdrage van beluchting ligbed aan emissies

Op alle locaties wordt de bedding tijdens gebruik belucht. Bij locatie 1 en 4 gebeurde dit door lucht door de bedding heen te *blazen*. Deze lucht levert geen bijdrage aan ventilatie of emissie anders dan die op stalniveau gemeten wordt. Extra metingen aan ingebrachte lucht is daarom niet noodzakelijk. Bij locatie 2 en 3 werd lucht uit de bedding *afgezogen* en buiten de stal gebracht. De eventuele emissie die op deze manier de stal verlaat moet wel meegenomen worden in de emissiemeting en -berekening. Daarvoor is tijdens de stalmetingen het debiet van de luchtstroom en daarin de concentratie van ammoniak, lachgas en methaan vastgesteld. Voor de bepaling van het debiet is een koker met daarin een meetwaaier gemonteerd aan de uitlaat van de afzuiging. Het pulssignaal van deze meetwaaier is gelogd op een dataloggers (CR1000, Campbell Scientific) en aan de hand van de beschikbare relatie tussen aantal omwentelingen van de meetwaaier en de hoeveelheid lucht (kalibratielijns) is het debiet berekend. In deze koker is een monsternamelpunt aangebracht waarmee concentratiemetingen zijn uitgevoerd. De gebruikte methode is opgenomen in het overzicht van Tabel 2.

2.2.4 Gebruikte meetmethoden en meetapparatuur

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de gebruikte meetapparatuur tijdens de metingen op de verschillende locaties. De apparaten en de bijbehorende meetprincipes staan onder de tabel beschreven.

Tabel 2 Overzicht van gebruikte meetmethoden en -apparatuur.

Locatie	Meetpunt	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Stal	OPL	OPL	LM	LM
	Achtergrond	NC	PAS	LM	LM
2	Stal	NC	LM/PAS	LM	LM
	Achtergrond	NC	PAS	SW	SW
	Afzuiging	FTIR		FTIR	FTIR
3	Stal	NO _x /NC	LM	LM	LM
	Achtergrond	NC	LM	LM	LM
	Afzuiging	NO _x /NC		LM/FTIR	LM/FTIR
4	Stal	NO _x		LM	LM
	Achtergrond	NC		LM	LM

NC: Natchemische methode; OPL: Open pad laser; LM: Longmethode; NO_x: Chemoluminescentie; FTIR: Fourier Transform Infrared spectroscopy; PAS: Photoacoustic spectroscopy (Innova 1312, LumaSense Technologies); SW: standaardwaarde.

Open pad laser (OPL)

Hierbij wordt licht met een golflengte die specifiek is voor de te meten concentratie van het doelgas door een ruimte gestuurd en via een reflector weer opgevangen. De moleculen van het te meten doelgas die zich in het pad van het licht bevinden zullen een deel van het uitgezonden licht absorberen. Door het verschil in intensiteit van het uitgezonden en weer ontvangen licht te vergelijken met een referentie is de concentratie van het doelgas langs het hele lichtpad af te leiden. Deze methode is gebruikt voor het meten van de concentratie van CO₂ en NH₃ in de stal. Er is gebruik gemaakt van apparatuur van Boreal Laser Inc. type Gasfinder2.

Foto-akoestische spectroscopie (PAS)

Ook deze methode maakt gebruik van het feit dat gasmoleculen in een mengsel licht van een specifieke golflengte absorberen. Hierdoor nemen de gasmoleculen energie op. Wanneer dat in een gesloten reactiekamer gebeurt zal dat leiden tot verhoging van de temperatuur en druk. Door een pulserende lichtbron met een specifieke golflengte te gebruiken ontstaat een drukgolf die met microfoons gedetecteerd kan worden. De sterkte van dat signaal is een maat voor de concentratie van het doelgas. Door de golflengte te variëren kunnen verschillende gassen in het mengsel gedetecteerd worden en ontstaat een multigas analyzer. Deze methode is toegepast voor het meten van de achtergrondconcentratie van CO₂ en de concentratie van CO₂ in de fluxkamer die gebruikt werd voor de bepaling van de CO₂ productie in het ligbed. Er is gebruik gemaakt van apparatuur van LumaSense Technologies type Innova 1312.

Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR)

Ook deze methode maakt gebruik van het feit dat gasmoleculen in een mengsel licht van een specifieke golflengte absorberen. In tegenstelling tot de eerdere beschreven technieken wordt hier geen specifieke golflengte maar een breedspectrum infraroodbron in gezet. Door analyse van het gedetecteerde spectrum en vergelijking met een bibliotheek van opgeslagen spectra is de concentratie van de aanwezige gassen in het sample te herleiden. Daarmee is het mogelijk concentraties verschillende doelgassen in één keer te bepalen. Deze methode is gebruikt voor de bepaling van NH₃, CH₄ en N₂O in de uitlaat van de afzuiging uit het ligbed. Er is gebruik gemaakt van een FTIR van Gaset Technologies type DX400.

Chemoluminescentie (NO_x)

Bij deze methode is het licht dat uitgezonden wordt door een gas na een chemische reactie een maat voor de concentratie van dat gas. Uit de reactie van ozon (O₃), gegenereerd in de analyzer, met NO_x in de monsterlucht ontstaat NO₂ in een aangeslagen, hoog energetische staat. Wanneer dat NO₂ terugvalt naar de normale, laag energetische staat, zendt het licht uit. Het aantal fotonen dat daarbij uitgezonden wordt is een maat voor de NO_x concentratie. Deze methode is gebruikt voor de bepaling van NH₃ in stallucht en in de uitlaat van de afzuiging uit het ligbed. Er is gebruik gemaakt van een NO_x analyzer van Teledyne API type T200.

Natchemische methode met wasflessen en impingers (NC)

Bij deze methode, beschreven door Wintjens (1993), wordt via een monsterleiding lucht met een bekende en constante hoeveelheid (~1.0 l/min) aangezogen door een pomp (Thomas Industries Inc. model 607cd32) en door een impinger geleid. Deze impinger is geplaatst in een wasfles met daarin 100 ml salpeterzuur (0.05M). De ammoniak in de lucht lost daardoor op in de vloeistof. Om zeker te zijn dat alle ammoniak uit de monsterlucht oplost, worden twee flessen in serie geschakeld. Na een vaste monstertijd (meestal circa 24 uur) wordt in het laboratorium de ammoniumconcentratie bepaald met een fotospectrometer. De monsterflow wordt bepaald met een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp). Met deze ammoniumconcentratie, de bemonsteringduur en de -flow te combineren kan de gemiddelde ammoniakconcentratie van de bemonsterde lucht berekend worden. Deze methode is gebruikt voor bepaling van de ammoniakconcentratie van de stallucht en de achtergrond.

Longmethode (LM)

Bij deze methode, beschreven door Ogink en Mol (2002) wordt gebruik gemaakt van een vat met daarin een 40 liter Nalofaan monsterzak. Met een pomp (Thomas Industries Inc. model 607cd32) wordt d.m.v. een kritisch glascapillair, langzaam lucht uit een afgesloten vat gezogen (~0.02 l/min). Daardoor ontstaat onderdruk in het vat en zal de monsterzak zich langzaam vullen met lucht die via een aangesloten monsterleiding wordt aangevoerd van de te bemonsteren locatie. Na een vaste monstertijd (meestal 24 uur) wordt het vat afgesloten en naar een laboratorium gebracht. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster wordt daar bepaald met een gaschromatograaf (GC8000, Interscience; kolom: Molsieve 5A (CH₄, CO₂) en Haysep Q (N₂O); detector: FID (CH₄), ECD (N₂O) en HWD (CO₂)). Met deze concentratie en de bemonsteringsduur kan de gemiddelde concentratie van doelgassen berekend worden. Deze methode is gebruikt voor bepaling van de concentratie van CO₂, CH₄ en N₂O in stallucht en achtergrond.

2.3 Gegevensverwerking en analyse

De verwerking van de gegevens sluit aan bij de gekozen gemengde meetstrategie. Voor de locaties 1 t/m 3 wordt de absolute emissie berekend volgens:

$$E_{ij} = V_{ij} * (C_{uit_{ij}} - C_{in_{ij}})$$

Waarbij:

E_{ij} = emissie in kg/dierplaats op meetdag i en locatie j

V_{ij} = gemiddeld ventilatiedebiet in m³/dierplaats op meetdag i en locatie j

C_{uit_{ij}} = gemiddelde concentratie van doelgas in uitgaande lucht in kg/m³ op meetdag i en locatie j

C_{in_{ij}} = gemiddelde concentratie van doelgas in ingaande lucht in kg/m³ op meetdag i en locatie j

Elk E_{ij} wordt vermenigvuldigd met 365 om de EF_{ij} op jaarbasis te berekenen.

Voor locatie 4 wordt de emissie berekend volgens:

$$E_{ijk} = V_{ijk} * (C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}})$$

Waarbij:

E_{ij} = emissie in kg/dierplaats op meetdag i, locatie j en afdeling k

V_{ij} = gemiddeld ventilatiedebiet in m³/dierplaats op meetdag i, locatie j en afdeling k

$C_{uit_{ij}}$ = gemiddelde concentratie van doelgas in uitgaande lucht in kg/m^3 op meetdag i , locatie j en afdeling k

$C_{in_{ij}}$ = gemiddelde concentratie van doelgas in ingaande lucht in kg/m^3 op meetdag i , locatie j en afdeling k .

Vervolgens wordt per meetdag de verhouding van de emissies berekend door de emissie van de vrijloopafdeling te delen door de emissie van de referentieafdeling. De gemiddelde verhouding tussen de emissies uit beide afdelingen over alle meetdagen wordt vermenigvuldigd met de emissiefactor die hoort bij de referentieafdeling (13 kg NH_3 per dierplaats per jaar) om de emissiefactor (EF_{ij}) van de vrijloopafdeling te berekenen.

De EF_{vrijloop} wordt berekend als het gemiddelde van alle emissiefactoren (EF_{ij}).

3 Resultaten en discussie

3.1 Landbouwkundige gegevens

De metingen hebben plaatsgevonden tussen 8 april 2014 en 7 november 2017. Een overzicht van de belangrijkste landbouwkundige gegevens tijdens de emissiemetingen op de verschillende locatie is opgenomen in Tabel 3 (locatie 1), Tabel 4 (locatie 2), Tabel 5 (locatie 3) en Tabel 6 en Tabel 7 (locatie 4).

Tabel 3 *Belangrijkste landbouwkundige gegevens tijdens metingen op locatie 1 (Dalfsen).*

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	9-10-2014	30-10-2014	16-12-2014	23-3-2015	2-6-2015	13-7-2015
Dagnummer in het kalenderjaar	282	303	350	82	153	194
Buitentemperatuur ¹ (°C)	14.6	12.4	4.3	5.5	13.6	17.7
Relatieve luchtvochtigheid buiten ¹ (%)	83	98	94	80	64	92
Staltemperatuur (°C)	15.9	14.8	n.b.	7.1	14.9	19.7
Relatieve luchtvochtigheid stal (%)	78	99	n.b.	89	73	100
Windrichting ¹ (graden)	205	164	221	212	201	237
Windsnelheid 10 m hoogte ¹ (m/s)	3.3	2.0	3.6	5.0	4.0	3.4
Aantal dieren	69	64	73	90	92	98
waarvan melkgevende koeien	68	64	65	73	75	75
waarvan droge koeien	0	0	8	4	6	8
waarvan drachtig jongvee	1	0	0	13	11	15
Aandeel droge koeien	0%	0%	11%	5%	7%	10%
Aandeel drachtig jongvee	1%	0%	0%	17%	14%	18%
Bezetting (bij 15 m ² /dier)	74%	69%	78%	97%	99%	105%
Oppervlakte ligbed per dier (m ² /dier)	20.2	21.7	19.0	15.5	15.1	14.2
Oppervlakte loopvloer per dier (m ² /dier)	6.1	6.6	5.8	4.7	4.6	4.3
Melkproductie (kg per koe per dag)	25.8	25.3	24.9	22.9	22.3	25.9
Melk (% eiwit)	3.6	3.6	3.6	3.4	3.5	3.5
Melk (% vet)	4.7	4.8	4.8	4.5	4.3	4.4
Melkproductie (kg FPCM per koe per dag)	28.2	28.0	27.6	24.4	23.2	27.4
Ureumgehalte (mg/100 g)	18	21	19	19	17	20
Hygiëne en diergezondheid	Geen bijzonderheden					

¹Weergegevens zijn afkomstig van het weerstation in Heino (www.knmi.nl); n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 4 *Belangrijkste landbouwkundige gegevens tijdens metingen op locatie 2 (Balkbrug).*

Meting	1	2	3
Datum	19-3-2015	21-4-2015	7-9-2015
Dagnummer in het kalenderjaar	78	111	250
Buitentemperatuur ¹ (°C)	5.2	7.9	14.2
Relatieve luchtvochtigheid buiten ¹ (%)	92	83	87
Staltemperatuur (°C)	7.2	9.3	15.3
Relatieve luchtvochtigheid stal (%)	95	95	100
Windrichting ¹ (graden)	205	299	310
Windsnelheid 10 m hoogte ¹ (m/s)	3.1	3.0	2.0

Meting	1	2	3
Aantal dieren	90	90	90
waarvan melkgevende koeien	75	70	72
waarvan droge koeien	2	3	3
waarvan drachtig jongvee	13	17	15
Jongvee (overig)	55	55	55
Aandeel droge koeien	3%	4%	4%
Aandeel drachtig jongvee	17%	23%	20%
Aandeel overig jongvee	61%	61%	61%
Bezetting (excl. overig jongvee) bij 15 m ² /dier	99%	99%	99%
Oppervlakte ligbed melkkoeien (m ² /dier)	15.1	15.1	15.1
Oppervlakte loopvloer melkkoeien (m ² /dier)	4.5	4.5	4.5
Oppervlakte ligbed jongvee (m ² /dier)	8.2	8.2	8.2
Oppervlakte loopvloer jongvee (m ² /dier)	3.3	3.3	3.3
Melkproductie (kg per koe per dag)	21.7	23.3	22.8
Melk (% eiwit)	3.63	3.63	3.63
Melk (% vet)	4.18	4.20	4.18
Melkproductie (kg FPCM per koe per dag)	22.6	24.3	23.7
Ureumgehalte (mg/100g)	21	21	21
Hygiëne en diergezondheid	Geen bijzonderheden		

¹Weergegevens zijn afkomstig van het weerstation in Heino (www.knmi.nl); n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 5 Belangrijkste landbouwkundige gegevens tijdens metingen op locatie 3 (Heibloem).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	8-4-2014	1-9-2014	11-12-2014	23-2-2016	7-7-2016	12-12-2016
Dagnummer in het kalenderjaar	98	244	345	54	189	347
Buitentemperatuur ¹ (°C)	10.4	16.7	3.1	1.3	15.2	5.7
Relatieve luchtvochtigheid buiten ¹ (%)	68	81	87	85	82	91
Staltemperatuur (°C)	12.0	19.8	5.0	4.1	17.3	6.9
Relatieve luchtvochtigheid stal (%)	64	76	85	89	80	89
Windrichting ¹ (graden)	284	111	205	243	217	166
Windsnelheid 10 m hoogte ¹ (m/s)	3.3	1.0	5.2	1.7	3.2	2.3
Aantal dieren	105	103	100	108	106	108
waarvan melkgevende koeien	105	103	100	108	106	108
waarvan droge koeien	0	0	0	0	0	0
waarvan drachtig jongvee	0	0	0	0	0	0
Aandeel droge koeien	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Aandeel drachtig jongvee	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bezetting (bij 15 m ² /dier)	106%	104%	101%	109%	107%	109%
Oppervlakte ligbed per dier (m ² /dier)	14.1	14.4	14.8	13.7	14.0	13.7
Oppervlakte loopvloer per dier (m ² /dier)	3.7	3.8	3.9	3.6	3.7	3.6
Melkproductie (kg per koe per dag)	29.5	30.3	27.9	31.0	32.4	30.0
Melk (% eiwit)	3.5	3.4	3.6	3.6	3.4	3.5
Melk (% vet)	4.3	4.2	4.1	4.4	3.9	4.4
Melkproductie (kg FPCM per koe per dag)	30.9	31.0	28.9	32.8	32.1	31.8
Ureumgehalte (mg/100 g)	23	23	24	25	24	23
Hygiëne en diergezondheid	Geen bijzonderheden					

¹Weergegevens zijn afkomstig van het weerstation in Eil (www.knmi.nl); n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 6 Belangrijkste landbouwkundige gegevens tijdens metingen in afdeling 61 (vrijloopstal) op locatie 4 (Dairy Campus).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	29-11-2016	14-12-2016	28-3-2017	8-6-2017	10-10-2017	5-11-2017
Dagnummer in het kalenderjaar	329	347	86	159	283	307
Buitemtemperatuur ¹ (°C)	1.5	7.3	9.7	14.3	14.0	6.9
Relatieve luchtvochtigheid buiten ¹ (%)	87.4	97.8	84.1	84.6	92.2	86.2
Staltemperatuur (°C)	4.5	10.4	12.7	15.6	16.3	9.0
Relatieve luchtvochtigheid stal (%)	99	100	98	100	100	98
Windrichting ¹ (graden)	213	154	215	217	224	234
Windsnelheid 10 m hoogte ¹ (m/s)	3.2	3.7	4.6	6.1	5.9	2.8
Aantal dieren	15	15	16	16	15	16
waarvan melkgevende koeien	15	15	16	16	15	16
waarvan droge koeien	0	0	0	0	0	0
waarvan drachtig jongvee	0	0	0	0	0	0
Aandeel droge koeien	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Aandeel drachtig jongvee	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bezetting (bij 15 m ² /dier)	100%	100%	107%	107%	100%	107%
Oppervlakte ligbed per dier (m ² /dier)	14.8	14.8	13.9	13.9	14.8	13.9
Oppervlakte loopvloer per dier (m ² /dier)	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2
Gemiddeld diergewicht (kg)	694	694	628	632	636	662
Melkproductie (kg per koe per dag)	27.4	27.9	31.6	34.1	27.5	29.3
Melk (% eiwit)	3.6	3.8	3.6	3.7	3.6	3.7
Melk (% vet)	4.2	4.9	4.4	4.5	4.4	4.5
Melkproductie (kg FPCM per koe per dag)	28.5	31.8	33.5	37.0	29.2	31.8
Ureumgehalte (mg/100 g)	19	24	30	19	21	20
Hygiëne en diergezondheid	Geen bijzonderheden					

¹Weergegevens zijn afkomstig van het weerstation in Leeuwarden (www.knmi.nl); n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 7 Belangrijkste landbouwkundige gegevens tijdens metingen in afdeling 72 (referentie) op locatie 4 (Dairy Campus).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	29-11-2016	14-12-2016	28-3-2017	8-6-2017	10-10-2017	5-11-2017
Dagnummer in het kalenderjaar	329	347	86	159	283	307
Buitemtemperatuur ¹ (°C)	1.5	7.3	9.7	14.3	14.0	6.9
Relatieve luchtvochtigheid buiten ¹ (%)	87.4	97.8	84.1	84.6	92.2	86.2
Staltemperatuur (°C)	4.8	10.6	n.b.	16.2	16.5	11.1
Relatieve luchtvochtigheid stal (%)	99	100	n.b.	88	100	99
Windrichting ¹ (graden)	213	154	215	217	224	234
Windsnelheid 10 m hoogte ¹ (m/s)	3.2	3.7	4.6	6.1	5.9	2.8
Aantal dieren	16	15	16	16	16	16
waarvan melkgevende koeien	16	15	16	16	16	16
waarvan droge koeien	0	0	0	0	0	0
waarvan drachtig jongvee	0	0	0	0	0	0
Aandeel droge koeien	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Aandeel drachtig jongvee	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bezetting	107%	100%	107%	107%	107%	107%
Oppervlakte ligbed per dier (m ² /dier)						

Meting	1	2	3	4	5	6
Oppervlakte loopvloer per dier (m ² /dier)	4.6	4.9	4.6	4.6	4.6	4.6
Gemiddeld diergewicht (kg)	665	671	638	654	637	661
Melkproductie (kg per koe per dag)	27.8	26.9	29.9	27.8	25.5	31.8
Melk (% eiwit)	3.5	3.7	3.5	3.5	3.7	3.1
Melk (% vet)	4.0	4.5	4.4	4.4	4.6	3.7
Melkproductie (kg FPCM per koe per dag)	28.1	29.1	31.6	29.5	28.0	30.3
Ureumgehalte (mg/100 g)	20	27	32	22	21	16
Hygiëne en diergezondheid	Geen bijzonderheden					

¹Weergegevens zijn afkomstig van het weerstation in Leeuwarden (www.knmi.nl); n.b.: geen data beschikbaar.

De metingen op de vier locatie hebben allemaal plaatsgevonden in opeenvolgende tijdvakken van twee maanden, behalve op locatie 4 waar de vierde en vijfde meting in hetzelfde tijdvak zijn uitgevoerd. Op locatie 3 vielen die tweemaandelijks perioden niet binnen één jaar maar waren verdeeld over twee perioden in 2014 en 2016.

De emissiefactor voor ammoniak wordt in de Regeling ammoniak en veehouderij uitgedrukt in kg per *dierplaats* per jaar. In een ligboxenstal is het begrip *dierplaats* goed te definiëren als een afgebakende ligplaats (ligbox) voor één dier. In een vrijloopstal ontbreekt een duidelijk afgebakende ligplaats en zal het aantal *dierplaatsen* in een stal op een andere manier moeten worden omschreven. Voor andere diercategorieën is het minimum leefoppervlak per dier zoals beschreven in welzijnsregelgeving of geldende adviesnormen het uitgangspunt maar ook die ontbreken voor melkvee (in vrijloopstallen). In deze rapportage is een norm van 15 m² per dier gehanteerd, gebaseerd op de praktijkervaringen beschreven in paragraaf 1.3. Bij deze norm daalt de bezetting bij de eerste drie metingen op locatie 1 onder de grens van 90%. Reden voor deze lage bezetting van de in opbouw zijnde veestapel. Het gemiddelde beschikbare oppervlak over alle locaties per dier was 15.1 m² aan ligbed en 3.9 m² aan loopvloer.

De melkproductie lag bij de vierde en vijfde meting op locatie 1 onder de 25 kg meetmelk per dier per dag en bedroeg respectievelijk 24.4 en 23.2 kg per dier per dag. De gemiddelde melkproductie over alle metingen was 29.0 kg meetmelk per dier per dag met een vetgehalte van 4.4%, een eiwitgehalte van 3.6% en een ureumgetal van 22.

Het ureumgehalte in de melk was tijdens alle metingen groter dan 15 mg per 100 gram.

De CO₂ concentratie was nooit hoger dan 3000 ppm en het aandeel ruwvoer in het rantsoen was altijd groter dan 50%.

3.2 Overzicht van concentraties en emissies

Een overzicht van de gemeten concentraties van CO₂, NH₃, CH₄ en N₂O en de daaruit berekende ventilatie en emissie per emissiemeting is voor de verschillende locaties opgenomen in Tabel 8 (locatie 1), Tabel 9 (locatie 2), Tabel 10 (locatie 3) en Tabel 11 en Tabel 12 (locatie 4).

Tabel 8 Overzicht concentraties en emissies van ammoniak, methaan en lachgas op locatie 1 (Dalfsen).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	9-10-2014	30-10-2014	16-12-2014	23-3-2015	2-6-2015	13-7-2015
Kooldioxide (CO ₂)						
Concentratie stal (ppm)	633	704	707	612	625	685
Concentratie achtergrond (ppm)	418	570	430	438	417	455
Productie dieren (m ³ /uur)	18.9	17.5	19.6	22.3	22.0	23.7
Productie bedding (m ³ /uur)	15.8	10.2	58.1	36.6	33.7	27.6
Aantal aanwezige dieren	69	64	73	90	92	98
Ventilatie-debiet (m ³ /dier/uur)	2340	3245	3851	3760	2901	2274

Meting	1	2	3	4	5	6
Ammoniak (NH₃)						
Concentratie stal (ppm)	0.24	0.48	0.34	0.51	0.23	0.34
Concentratie achtergrond (ppm)	0.06	0.05	0.09	0.11	0.08	0.07
Emissie (kg per dier per jaar)	2.6	8.6	6.7	11.6	3.3	3.8
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	1.9	5.9	4.7	9.1	2.7	4.0
Methaan (CH₄)						
Concentratie stal (ppm)	n.b.	15.90	21.91	n.b.	7.15	15.62
Concentratie achtergrond (ppm)	n.b.	2.00	2.00	n.b.	2.00	2.00
Emissie (kg per dier per jaar)	n.b.	263.4	502.9	n.b.	107.1	180.9
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	n.b.	181.3	351.5	n.b.	86.3	190.6
Lachgas (N₂O)						
Concentratie stal (ppm)	n.b.	0.30	0.26	n.b.	0.32	0.47
Concentratie achtergrond (ppm)	n.b.	0.28	0.28	n.b.	0.28	0.28
Emissie (kg per dier per jaar)	n.b.	0.7		n.b.	2.2	6.8
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	n.b.	0.5		n.b.	1.8	7.2

n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 9 Overzicht concentraties en emissies van ammoniak, methaan en lachgas op locatie 2 (Balkbrug).

Meting	1	2	3
Datum	19-3-2015	21-4-2015	7-9-2015
Kooldioxide (CO₂)			
Concentratie stal (ppm)	522	508	469
Concentratie achtergrond (ppm)	445	452	427
Productie dieren (m ³ /uur)	22.1	21.9	21.4
Productie bedding (m ³ /uur)	8.9	4.2	4.2
Aantal aanwezige dieren	90	90	90
Ventilatie-debiet (m ³ /dier/uur)	4474	5118	6668
Ventilatie-debiet afzuiging (m ³ /uur)	2304	2677	2202
Ammoniak (NH₃)			
Concentratie stal (ppm)	0.65	0.28	0.27
Concentratie afzuiging (ppm)	0.32	0.17	0.67
Concentratie achtergrond (ppm)	0.10	0.07	0.10
Emissie (kg per dier per jaar)	15.2	6.7	7.0
Emissie afzuiging (kg per dier per jaar)	0.03	0.02	0.09
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	15.1	6.6	7.0
Methaan (CH₄)			
Concentratie stal (ppm)	7.78	4.90	n.b.
Concentratie afzuiging (ppm)	43.74	28.06	11.11
Concentratie achtergrond (ppm)	1.85	1.85	1.85
Emissie (kg per dier per jaar)	164.7	96.7	n.b.
Emissie afzuiging (kg per dier per jaar)	6.7	4.8	1.4
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	169.5	100.4	n.b.
Lachgas (N₂O)			
Concentratie stal (ppm)	0.33	0.38	n.b.
Concentratie afzuiging (ppm)	6.81	8.72	10.24
Concentratie achtergrond (ppm)	0.19	0.19	0.19
Emissie (kg per dier per jaar)	3.8	6.1	n.b.
Emissie afzuiging (kg per dier per jaar)	1.1	1.6	1.5
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	4.8	7.6	n.b.

n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 10 Overzicht concentraties en emissies van ammoniak, methaan en lachgas op locatie 3 (Heibloem).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	8-4-2014	1-9-2014	11-12-2014	23-2-2016	7-7-2016	12-12-2016
Kooldioxide (CO ₂)						
Concentratie stal (ppm)	689	635	593	547	504	538
Concentratie achtergrond (ppm)	564	417	417	412	393	417
Productie dieren (m ³ /uur)	31.1	29.9	29.7	33.7	32.1	32.9
Productie bedding (m ³ /uur)	18.0	3.9	15.5	9.2	19.2	21.7
Aantal aanwezige dieren	105	103	100	108	106	108
Ventilatiedebiet (m ³ /dier/uur)	3748	1508	2569	2944	4343	4165
Ventilatiedebiet afzuiging (m ³ /uur)	967	1273	862	1229	1143	1203
Ammoniak (NH ₃)						
Concentratie stal (ppm)	0.49	0.61	1.04	0.85	0.86	0.82
Concentratie afzuiging (ppm)	0.66	1.42	0.03	1.33	0.04	0.03
Concentratie achtergrond (ppm)	0.05	0.04	0.05	0.08	0.09	0.27
Emissie (kg per dier per jaar)	10.0	5.4	15.9	14.0	20.6	14.3
Emissie afzuiging (kg per dier per jaar)	0.03	0.11		0.09		
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	10.7	5.7	16.0	15.4	22.1	15.7
Methaan (CH ₄)						
Concentratie stal (ppm)	7.51	11.61	15.60	17.35	11.62	17.93
Concentratie afzuiging (ppm)	55.82	19.04	589.28	2492	1789	15.55
Concentratie achtergrond (ppm)	2.62	3.25	4.58	2.52	2.49	5.49
Emissie (kg per dier per jaar)	106.9	73.6	165.3	254.9	231.7	302.5
Emissie afzuiging (kg per dier per jaar)	2.86	1.14	29.42	165.47	112.47	0.65
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	116.4	77.8	196.7	458.5	368.5	330.7
Lachgas (N ₂ O)						
Concentratie stal (ppm)	0.46	0.53	0.26	0.34	0.59	0.38
Concentratie afzuiging (ppm)	2.85	25.64	10.23	6.42	3.56	0.41
Concentratie achtergrond (ppm)	0.40	0.48	0.25	0.34	0.46	0.39
Emissie (kg per dier per jaar)	3.42	1.20	0.56	0.00	8.75	<0
Emissie afzuiging (kg per dier per jaar)	0.36	5.09	<0	1.11	0.54	0.00
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	4.0	1.2	0.6	1.2	9.9	0.0

n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 11 Overzicht concentraties en emissies van ammoniak, methaan en lachgas uit afdeling 61 (vrijloopstal) op locatie 4 (Dairy Campus).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	29-11-2016	14-12-2016	28-3-2017	8-6-2017	10-10-2017	5-11-2017
Kooldioxide (CO ₂)						
Concentratie stal (ppm)	628	641	555	784	627	678
Concentratie achtergrond (ppm)	443	456	456	465	408	464
Productie dieren (m ³ /uur)	4.5	4.5	4.8	5.0	4.3	4.8
Productie bedding (m ³ /uur)	3.7	3.5	2.1	6.5	5.1	8.6
Ventilatiedebiet CO ₂ (m ³ /dier/uur)	2934	2879	3581	2253	2753	3333
Ventilatiedebiet mechanisch (m ³ /dier/uur)	1864	1809	715	1044	1202	1150
Ammoniak (NH ₃)						
Concentratie stal (ppm)	0.87	1.34	1.13	0.97	1.06	0.76
Concentratie achtergrond (ppm)	0.06	0.05	0.06	0.09	0.06	0.24
Emissie (kg per dier per jaar)	9.4	14.5	4.7	5.7	7.5	3.7
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	9.4	14.5	5.1	6.0	7.7	4.0

Meting	1	2	3	4	5	6
Methaan (CH₄)						
Concentratie stal (ppm)	24.32	19.48	11.31	n.b.	29.00	26.07
Concentratie achtergrond (ppm)	2.55	2.85	2.70	n.b.	2.54	3.12
Emissie (kg per dier per jaar)	251.8	186.7	38.1	n.b.	197.4	163.7
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	251.8	186.7	40.7	n.b.	203.0	174.6
Lachgas (N₂O)						
Concentratie stal (ppm)	0.40	0.51	0.49	n.b.	0.54	0.50
Concentratie achtergrond (ppm)	0.33	0.45	0.38	n.b.	0.47	0.39
Emissie (kg per dier per jaar)	0.8	0.7	0.5	n.b.	0.6	0.8
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	0.8	0.7	0.5	n.b.	0.6	0.9

n.b.: geen data beschikbaar.

Tabel 12 Overzicht concentraties en emissies van ammoniak, methaan en lachgas uit afdeling 72 (referentie) op locatie 4 (Dairy Campus).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	29-11-2016	14-12-2016	28-3-2017	8-6-2017	10-10-2017	5-11-2017
Kooldioxide (CO₂)						
Concentratie stal (ppm)	595	623	667	817	593	654
Concentratie achtergrond (ppm)	443	456	456	465	408	464
Productie dieren (m ³ /uur)	4.8	4.3	4.7	4.6	4.3	5.0
Ventilatie-debiet CO ₂ (m ³ /dier/uur)	2273	2057	1381	1044	1837	1855
Ventilatie-debiet mechanisch (m ³ /dier/uur)	1549	1625	704	694	1057	965
Ammoniak (NH₃)						
Concentratie stal (ppm)	1.80	2.13	3.34	1.87	1.61	1.96
Concentratie achtergrond (ppm)	0.06	0.05	0.06	0.09	0.06	0.24
Emissie (kg per dier per jaar)	16.7	21.0	14.3	7.6	10.2	10.3
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	16.7	19.7	14.3	7.6	10.1	10.3
Methaan (CH₄)						
Concentratie stal (ppm)	24.38	19.90	26.94	n.b.	35.76	33.11
Concentratie achtergrond (ppm)	2.55	2.85	2.70	n.b.	2.54	3.12
Emissie (kg per dier per jaar)	209.9	171.9	105.8	n.b.	217.8	179.6
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	209.9	161.2	105.8	n.b.	215.9	179.6
Lachgas (N₂O)						
Concentratie stal (ppm)	0.33	0.48	0.41	n.b.	0.47	0.42
Concentratie achtergrond (ppm)	0.33	0.45	0.38	n.b.	0.47	0.39
Emissie (kg per dier per jaar)	0.2	0.3	0.2	n.b.	0.0	0.2
Emissie (kg per dierplaats per jaar)	0.2	0.3	0.2	n.b.	0.0	0.2

n.b.: geen data beschikbaar.

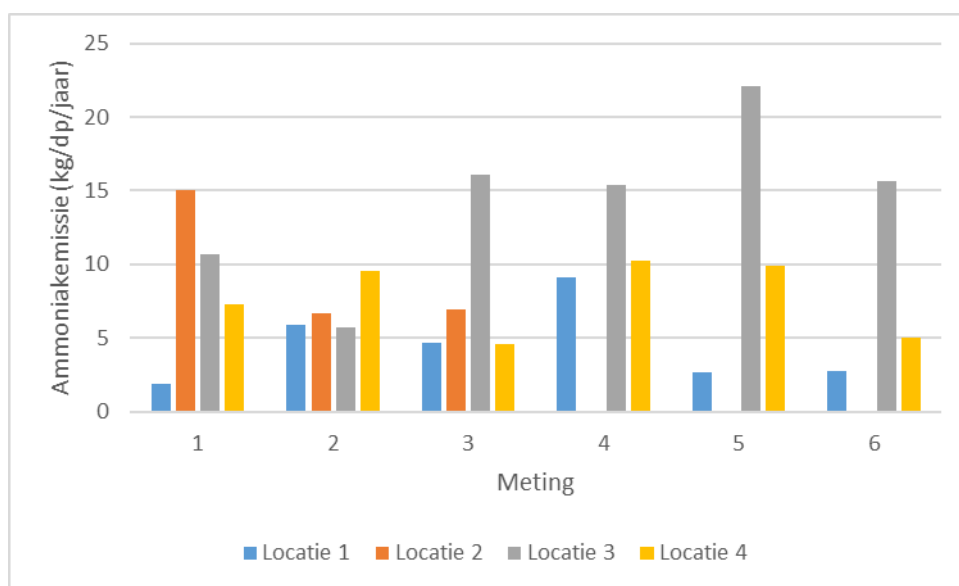
3.3 Ammoniakemissie

In Tabel 13 en Figuur 5 zijn de resultaten van de metingen van de ammoniakemissie per dierplaats per jaar samengevat. Voor locatie 4 wordt de emissiefactor berekend uit de verhouding tussen de emissies per dierplaats per jaar zoals gemeten in de twee afdelingen.

Tabel 13 Samenvatting van resultaten ammoniakemissies in kg per dierplaats per jaar.

Meting	1	2	3	4	5	6	Gemiddelde	
Locatie 1	1.9	5.9	4.7	9.1	2.7	2.7	4.5	
Locatie 2	15.1	6.6	7.0				9.6	
Locatie 3	10.7	5.7	16.0	15.4	22.1	15.7	14.3	
Locatie 4	Vrijloop	9.4	14.5	5.1	6.0	7.7	4.0	7.8
	Referentie	16.7	19.7	14.3	7.6	10.1	10.3	13.1
	Verhouding	0.56	0.73	0.35	0.79	0.76	0.39	0.6
	Emissiefactor	7.3	9.5	4.6	10.3	9.9	5.0	7.8

De gemiddelde ammoniakemissie bedraagt 9.0 kg NH₃ per dierplaats per jaar (SD: 5.3 kg). Dit is gelijk aan een reductie van 31% ten opzichte van de geldende emissiefactor voor overige huisvesting systemen (A100) van 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Het verschil is significant (p=0.001) bij een éézijdige T-test (VSN International, 2017).



Figuur 5 Overzicht van de ammoniakemissie in kg per dierplaats per jaar van de verschillende locaties.

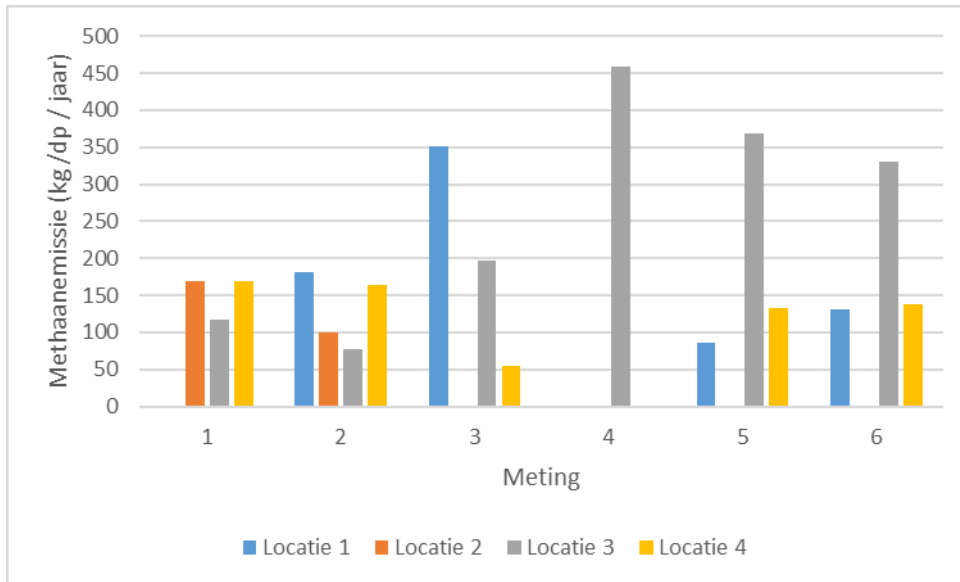
3.4 Methaanemissie

In Tabel 14 en Figuur 6 zijn de resultaten van de metingen van de methaanemissie per dierplaats per jaar samengevat. Voor locatie 4 wordt de emissiefactor berekend uit de verhouding tussen de emissies per dierplaats per jaar zoals gemeten in de twee afdelingen.

Tabel 14 Samenvatting van resultaten methaanemissies in kg per dierplaats per jaar.

Meting	1	2	3	4	5	6	Gemiddelde
Locatie 1		181.3	351.5		86.3	131.9	187.7
Locatie 2	169.5	100.4					135.0
Locatie 3	116.4	77.8	196.7	458.5	368.5	330.7	258.1
Locatie 4	Vrijloop	251.8	186.7	40.7	203.0	174.6	171.4
	Referentie	209.9	161.2	105.8	215.9	179.6	174.5
	Verhouding	1.20	1.16	0.38	0.94	0.97	0.93
	Emissiefactor	170.0	164.1	54.5	133.2	137.8	131.9

De gemiddelde methaanemissie bedraagt 189.9 kg CH₄ per dierplaats per jaar (SD: 116.2). Dit is een verhoging van 34% ten opzichte van de emissiefactor voor overige huisvesting systemen (A100) beschreven in Mosquera en Hol (2012) van 141.7 kg CH₄ per dierplaats per jaar. Het verschil is significant (p=0.053) bij een éézijdige T-test (VSN International, 2017). Een aantal emissiewaarden ligt erg laag, zelfs onder de enterische methaanproductie van volwassen melkvee van rond 125 kg CH₄ per dier per jaar (van Bruggen et al., 2018). Getwijfeld moet worden aan de juistheid van deze metingen. Als ze verwijderd worden uit de dataset stijgt de gemiddelde methaanemissie naar 215.0 kg CH₄ per dierplaats per jaar (SD:112.8); een stijging van 52% ten opzichte van de emissiefactor van de referentie.



Figuur 6 Overzicht van de methaanemissie in kg per dierplaats per jaar van de verschillende locaties.

3.5 Lachgasemissie

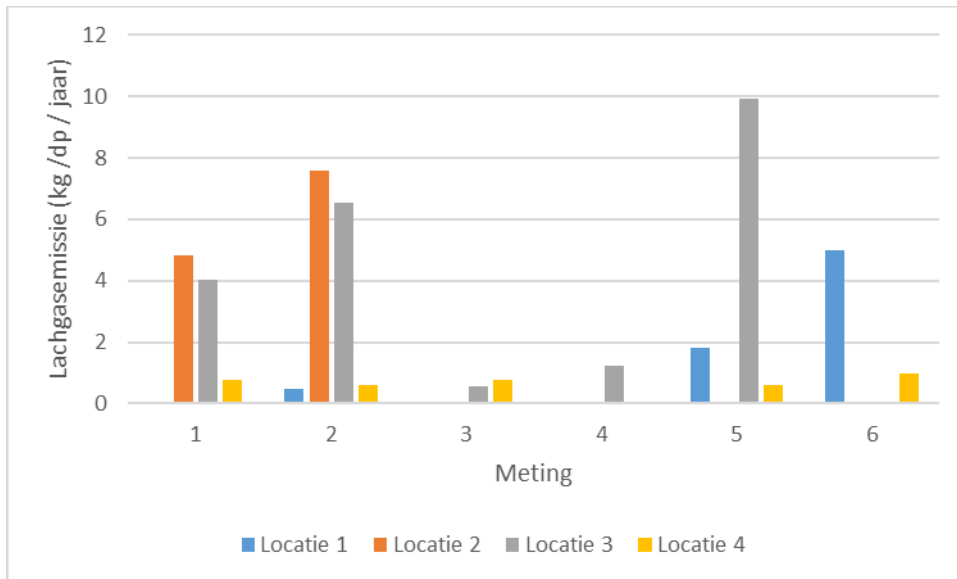
In Tabel 15 en Figuur 7 zijn de resultaten van de metingen van de lachgasemissie per dierplaats per jaar samengevat. Voor locatie 4 wordt de emissiefactor berekend uit de verhouding tussen de emissies per dierplaats per jaar zoals gemeten in de twee afdelingen.

Tabel 15 Samenvatting van resultaten lachgasemissies in kg per dierplaats per jaar.

Meting	1	2	3	4	5	6	Gemiddelde
Locatie 1		0.5			1.8	5.0	2.4
Locatie 2	4.8	7.6					6.2
Locatie 3	4.0	6.5	0.6	1.2	9.9		4.5
Locatie 4							
Vrijloop	0.8	0.7	0.5		0.6	0.9	0.7
Referentie	0.2	0.3	0.2			0.2	0.2
Verhouding	3.32	2.62	3.33			4.21	3.4
Emissiefactor	0.8	0.6	0.8			1.0	0.8

De gemiddelde lachgasemissie bedraagt 3.2 kg N₂O per dierplaats per jaar (SD: 3.1 kg). Dit is 14.0 keer hoger dan de emissiefactor voor overige huisvesting systemen (A100) beschreven in Mosquera en Hol (2012) van 0.23 kg N₂O per dierplaats per jaar. Het verschil is significant (p=0.002) bij een éézijdige T-test (VSN International, 2017). De lachgasemissie is beduidend hoger dan die van de

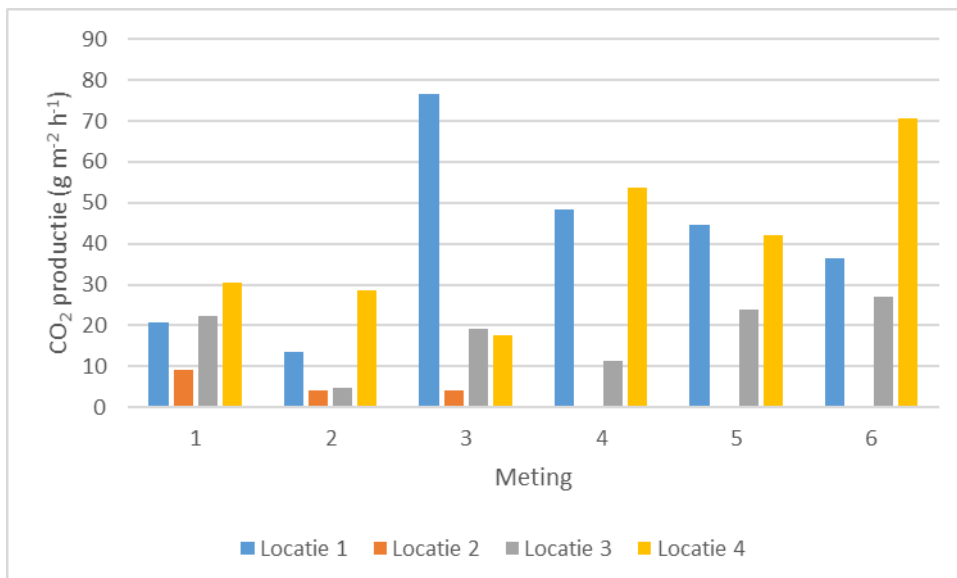
referentie. Aannemelijk is dat dit het resultaat is van nitrificatie en denitrificatie tijdens de compostering die niet volledig verlopen is.



Figuur 7 Overzicht van de lachgasemissie in kg per dierplaats per jaar van de verschillende locaties.

3.6 Bijdrage van ligbed aan CO₂ productie

De resultaten van de gemiddelde CO₂ emissie uit het ligbed zijn weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Emissie van CO₂ uit het ligbed gemeten met gesloten fluxkamer.

De gemiddelde emissie bedraagt 29 gram CO₂ per m² per uur (SD: 20.7). De bijdrage wijkt significant af van 0 ($p < 0.001$) bij een éézijdige T-test (VSN International, 2017).

De veronderstelling dat de bijdrage van het ligbed aan de CO₂ productie niet te verwaarlozen is blijkt hiermee aangetoond. In Tabel 16 is de verhouding tussen CO₂-productie uit het ligbed en van de aanwezige dieren weergegeven. Deze varieert van 0.19 tijdens meetdag 2 op locatie 2 tot 2.97 tijdens meetdag 3 op locatie 1. Dat laatste betekent dat de CO₂ bijdrage van het ligbed bijna 3 keer zo groot

is als de CO₂ productie van de dieren. De gemiddelde verhouding was 0.89 (SD: 0.68). Oorzaken van deze variatie liggen waarschijnlijk in de mate van compostering van het ligbed. Door de grote bijdrage aan de totale CO₂ productie kunnen variaties in de CO₂ productie van het ligbed grote invloed hebben op het berekende ventilatiedebiet en emissie.

Tabel 16 Verhouding tussen CO₂ productie uit het ligbed en CO₂ productie door de aanwezige dieren.

Meting	1	2	3	4	5	6
Locatie 1	0.84	0.58	2.97	1.64	1.53	1.17
Locatie 2	0.40	0.19	0.20			
Locatie 3	0.58	0.13	0.52	0.27	0.60	0.66
Locatie 4	0.81	0.78	0.44	1.32	1.18	1.78

Voor locatie 1 lijkt er een verband te zijn tussen de hoogte van de CO₂ productie in het bed en het moment van verversing van de houtsnippers tussen de tweede en de derde meting. In de daarop volgende metingen neemt de productie weer geleidelijk af.

Op locatie 4 (Dairy Campus) is vergelijking van de CO₂ balansmethode met het mechanische ventilatiedebiet mogelijk. Voor zowel de vrijloopafdeling als de referentieafdeling wordt het ventilatiedebiet met de CO₂ balansmethode overschat met respectievelijk een factor 2.7 en 1.7.

3.7 Temperatuur in het ligbed

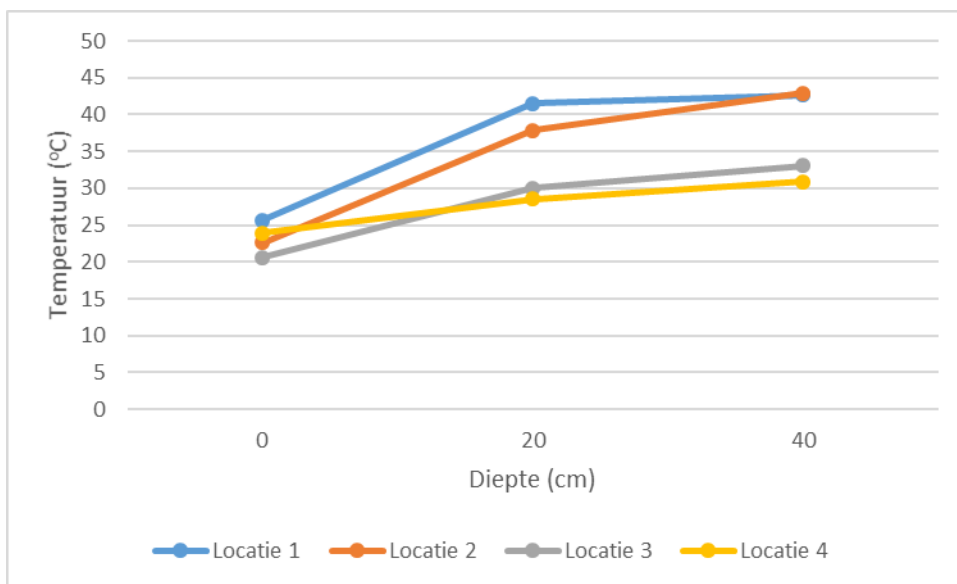
Een overzicht van de gemiddelde temperatuur van het ligbed op drie diepten per emissiemeting en per locatie is opgenomen in Tabel 17.

Tabel 17 Overzicht van temperatuur (°C) van het ligbed tijdens fluxkamermetingen.

Locatie	Diepte (cm)	Meting						Gemiddelde
		1	2	3	4	5	6	
1	0	27.0	23.7	25.4	23.7	28.3	n.b.	25.7
1	20	43.2	37.5	50.1	39.8	38.9	41.1	41.5
1	40	44.1	37.6	50.3	42.6	39.5	41.3	42.6
2	0	21.0	20.5	26.0	-	-	-	22.6
2	20	42.1	38.6	33.4	-	-	-	37.9
2	40	46.2	46.0	37.2	-	-	-	42.9
3	0	25.2	26.2	14.6	13.7	n.b.	n.b.	20.6
3	20	37.0	34.8	30.0	18.1	27.9	n.b.	30.0
3	40	41.7	37.9	29.5	22.5	27.9	n.b.	33.0
4	0	13.6	n.b.	n.b.	35.0	26.4	16.5	23.9
4	20	19.2	20.0	20.4	52.2	38.5	27.6	28.6
4	40	25.5	23.3	21.7	50.2	39.7	30.9	30.9

n.b.: geen data beschikbaar

Uit Figuur 9 blijkt dat de twee locatie die streefden naar een composteringstemperatuur van 55 °C dat niet bereikt hebben maar de bodem wel duidelijk warmer is dan bij de andere twee locaties.



Figuur 9 Verloop van de gemiddelde bodemtemperatuur per locatie.

3.8 Vergelijking met literatuur

Voor zover bekend zijn niet eerder emissiemetingen aan vrijloopstallen op stalniveau uitgevoerd behalve die gerapporteerd door Galama et al. (2015). Daarin werd één locatie gemeten die wat betreft uitvoering overeenkomt met de hier bemeten vrijloopstallen (nl. composterende bodem op basis van houtsnippers die regelmatig bewerkt en belucht wordt). De gemiddelde ammoniakemissie op basis van twee SF₆ tracergasmetingen bedroeg daar 16.5 kg NH₃ per dier per jaar en de gemiddelde lachgasemissie 2.7 kg N₂O per dier per jaar. Methaanemissie is daarin niet op stalniveau bepaald.

3.9 Reflectie op het werkingsprincipe

De grote bijdrage van de bodem aan de totale CO₂-productie geeft aan dat aan de voorwaarde voor één van de onderdelen van het werkingsprincipe (het optreden van compostering waardoor mogelijk ammonium stikstof vastgelegd of omgezet kan worden) is voldaan. Ook de temperatuurmetingen die uitgevoerd zijn op drie diepten (0, 20 en 40 cm) tijdens de meting van de CO₂ productie in het ligbed laten een duidelijk verhoogde temperatuur zien die wijst op aerobe omzetting van organische stof (compostering). Of dit voor- of nadelig heeft uitpakkt wat betreft de emissies is moeilijk vast te stellen. Szanto (2009) heeft onderzoek uitgevoerd naar verschillende methoden voor het composteren van dierlijke mest en organisch materiaal en het effect daarvan op de emissies van ammoniak, methaan en lachgas. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen intensieve en extensieve compostering. Extensieve compostering kenmerkt zich door regelmatig mengen van het materiaal en passieve beluchting, intensieve compostering door regelmatig mengen van het materiaal en actieve beluchting. In het algemeen geldt dat intensieve compostering geassocieerd wordt met hogere emissie van ammoniak lagere emissie van lachgas en methaan. Er zijn duidelijke verschillen tussen de experimenten beschreven in door Szanto (2009) en de vrijloopstallen op de gemeten locaties wat betreft schaal (reactors versus praktijkschaal), gebruikt materiaal (stro versus houtsnippers), beluchting (passief of actief versus een afwisseling van wel en niet beluchten) en het feit dat in een vrijloopstal er een continue toevoer van stikstof en koolstof is in de vorm van mest en urine. Mogelijk is er (ondanks of dankzij) voldoende afwisseling tussen aerobe en anaerobe omstandigheden om een gedeelte van het geproduceerde ammoniak via nitrificatie en denitrificatie om te zetten of vast te leggen. De opzet van het onderzoek was niet zodanig dat daar uitspraken over gedaan kan worden net zoals geen relatie gelegd kan worden tussen emissie en het niveau en ontwikkeling van pH en C/N verhouding die door Szanto (2009) aangewezen worden als factoren die een belangrijk invloed hebben op het emissieniveau.

Wat wel heeft gewerkt is de snelle indringing van urine in het ligbed en de vermindering van de hoeveelheid urine die op de overige loopvloer terecht komt. Het beschikbaar oppervlak per dier van deze loopvloer week op de gemeten locaties (behalve Dairy Campus) nauwelijks af van wat in de praktijk in een ligboxenstal gebruikelijk is en lag tussen 3.6 en 6.6 m² per dier. Toch was de emissie voor locaties 1,2 en 3 van de hele stal gemiddeld 78% van de geldende emissiefactor.

3.10 Betrouwbaarheid en plausibiliteit van de metingen

Op drie van de vier locaties zijn over een tijdspanne van een jaar zes emissiemetingen uitgevoerd zoals het protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij voorschrijft. De keuze in het meetprotocol voor zes metingen op vier locaties is gebaseerd op efficiënte bepaling van een betrouwbaar gemiddelde, uitgaande van eerder gemeten of ingeschatte variatie van de emissie in de tijd op een locatie en variatie van emissie tussen locaties.

Een indicatie daarvoor is het verschil in standaarddeviatie rond de gemiddelde ammoniakemissie zoals in het verleden gemeten op acht verschillende melkveebedrijven in het kader van het meetprogramma integraal duurzame stallen (MIDS). Die gemiddelde standaarddeviatie bedroeg 3.2 kg NH₃ per dierplaats per jaar. De standaarddeviatie rond de gemiddelde ammoniakemissie van de vier nu gemeten locaties is 4.2 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Reden voor het verschil kan liggen in de grotere variatie in processen die tot ammoniakemissie kunnen leiden en de gevoeligheid daarvan voor omgevingsfactoren. Naast de variatie in bekende chemische en fysische processen die leiden tot de vorming van ammoniak uit ureum in urineplassen op de vloer en in de mestkelder, spelen nu ook biologische processen in het ligbed een rol die door andere factoren beïnvloed worden. Dat heeft ook betekenis voor de berekening van de emissie op basis van de CO₂ massabalans. Eerder is al geconstateerd dat de bijdrage aan de totale CO₂ productie aanzienlijk kan zijn en dat er mogelijk sprake is van een overschatting van het ventilatiedebiet. Als de variatie groter is kan het nodig zijn meer metingen uit te voeren om tot een betrouwbare emissiefactor te komen voor vrijloopstallen.

3.11 Aandeel afzuiging in emissies

Opvallend is dat de bijdrage van de afzuiging op locatie 2 en 3 aan de totale ammoniakemissie erg beperkt is: gemiddeld 0.77% van de totale ammoniakemissie uitgedrukt in kg per dier per jaar verliet de stal via de afzuiging. Eén van de redenen om niet te blazen maar te zuigen was de gedachte dat daarmee (een deel van) de ammoniakemissie geconcentreerd kon worden op één punt waarna zuivering van de afgezogen lucht door een chemische luchtwasser mogelijk zou zijn. Gezien de lage bijdrage aan de ammoniakemissie is dat niet zinvol.

De bijdrage aan de methaan- en lachgasemissie is daarentegen veel groter. Gemiddeld verlaat 12.5% van de totale methaanemissie in kg per dier per jaar via de afzuiging de stal variërend van 1.5% tot 39.4%. De gemiddelde bijdrage van de afzuiging aan de lachgasemissie was 39.7% variërend van 3.9% tot 99.6%. Verwijdering van broeikasgassen door biofiltratie of andere oxidatietechnieken zouden dus wel een wezenlijke bijdrage kunnen leveren aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen.

3.12 Totaal gasvormig stikstofverlies uit de stal en bedrijf.

Zowel de emissie van ammoniak als de emissie van lachgas vertegenwoordigen een stikstofverlies. Dit verlies is uit te drukken in kg N per dierplaats per jaar. Daarvoor wordt de emissie van ammoniak vermenigvuldigd met de factor 14/17 (atoomgewicht N/molecuulgewicht NH₃) en de emissie van lachgas met 14/44. Het gasvormige stikstof op basis van ammoniak- en lachgasemissie uit een referentie ligboxenstal bedraagt dan 10.8 kg N per dierplaats per jaar. Voor de gemeten locaties was het gemiddelde verlies 9.6 kg N per dierplaats per jaar (SD: 5.8 kg). Dat is een reductie van 11% ten

opzichte van een ligboxenstal. Het verschil is niet significant ($p=0.233$) bij een éézijdige T-test (VSN International, 2017).

Door De Boer (2015, 2016a, 2016b) zijn, in ongeveer dezelfde periode als dat de emissiemetingen plaatsvonden, balansmetingen uitgevoerd waaruit het stikstofverlies berekend is. Over de hele balansperiode was dit verlies voor locatie 1, 2 en 3 respectievelijk 17%, 11% en 39% van de totale stikstofexcretie door de aanwezige dieren in die periode. Ter vergelijking, door De Boer wordt op basis van Velthof et al. (2009) en Ogink et al. (2014) aangenomen dat het stikstofverlies van een ligboxenstal 10.6% van de N-excretie bedraagt.

Waar het stikstofverlies op basis van de ammoniak- en lachgasemissie iets lager is dan bij een ligboxenstal is het verlies berekend door De Boer gelijk of groter. Dat verschil wordt mogelijk verklaard doordat in de verliezen op basis van de balansmetingen ook andere stikstofvormen dan ammoniak en lachgas opgenomen zijn (verschillende NO_x-verbindingen of stikstofgas (N₂)) en dat de periode waarin de balansmetingen plaatsvinden niet exact overeenkwam met de periode waarin de emissiemetingen zijn uitgevoerd. Balansmetingen geven wel een goed inzicht in het *gemiddelde* verlies over de balansperiode terwijl emissiemetingen op dit tijdschaal puntmetingen zijn waaruit een verlies berekend wordt. Overeenkomst tussen beide bepalingen is dat het verlies bij locatie 3 het grootst is.

De introductie van vrijloopstal heeft ook gevolgen voor de bemesting op het bedrijf. Naast drijfmest komt er ook 'compost' (gecomposteerd materiaal) beschikbaar dat ingezet moet worden op gras- en bouwland. De samenstelling, bemestende waarde en verliezen na toediening zullen anders zijn dan die van drijfmest omdat het gecomposteerde materiaal alleen bovengronds kan worden toegediend. Bepaling van de omvang van deze verliezen lag niet binnen de afbakening van dit onderzoek maar is wel relevant voor de beoordeling van de verschillen die in de stal ontstaan. Daarbij speelt naast toediening ook tijdelijke opslag buiten de stal voordat de compost gebruikt kan worden een rol. In eerder aangehaalde studie van de Boer (2015a, 2015b, 2016a, 2016b) wordt op basis van de gemeten samenstelling van het gecomposteerde materiaal een inschatting gegeven van de verliezen aan stikstof die buiten de stal kunnen optreden. Uitgangspunt is daarbij geweest dat alle minerale stikstof aanwezig in het materiaal als verlies moet worden beschouwd. Uit metingen door de Boer (2015a, 2015b, 2016a, 2016b) blijkt dat het minerale stikstofgehalte in het gecomposteerde materiaal vrijwel nihil is. Bij directe aanwending is daarom geen ammoniakemissie te verwachten. De invloed op de lachgasemissie op gras- en bouwland is nog onduidelijk.

Deze worden mogelijk ook beïnvloed door het effect dat het gebruik van gecomposteerd bodemmateriaal op de lange termijn heeft op de bodemvruchtbaarheid. Door inbreng van veel C zal het organische stofgehalte in de bodem na een aantal jaren naar verwachting toenemen.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- Tussen april 2014 en november 2017 zijn in totaal 27 metingen uitgevoerd om de ammoniak-, methaan- en lachgasemissie te bepalen van vrijloopstallen met een composterende bodem van houtsnippers die regelmatig bewerkt en belucht wordt.
- Op basis van alle uitgevoerde metingen zijn de volgende jaaremissie bepaald:
 - 9.0 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Dat is een reductie van 31% ten opzichte van het referentiesysteem
 - 189.9 kg CH₄ per dierplaats per jaar. Dat is een toename van 34% ten opzichte van het referentiesysteem
 - 3.2 kg N₂O per dierplaats per jaar. Dat is 14 keer hoger dan de emissie van het referentiesysteem.
- De bijdrage van het ligbed aan de CO₂ productie in de stal is aanzienlijk en kan niet genegeerd worden bij bepaling van stalemissies volgens de CO₂ balansmethode. De productie uit het bed bedraagt gemiddeld 29 gram CO₂ per m² per uur en de verhouding met de CO₂ productie van de dieren is gemiddeld 0.89.
- Uit zowel de CO₂ productie als de temperatuur van de bodem valt af te leiden dat er in alle bodems composteringprocessen optreden.
- Er is geen verschil gevonden in de stalemissies tussen het beluchten van het ligbed door blazen of door zuigen. Uit de waarnemingen blijkt dat er nauwelijks ammoniak via het afzuigstelsel wordt uitgestoten (< 1% van de totale stalemissie) maar dat de bijdrage aan de methaan- en lachgasemissie aanzienlijk is (respectievelijk gemiddeld 12.5% en 39.7% van de stalemissie).
- Ten opzichte van het referentie huisvestingssysteem (een ligboxenstal met roostervloer en drijfmestopslag) ligt het totale stikstofverlies in de vorm van ammoniak of lachgas van een vrijloopstal 11% lager.

4.2 Aanbevelingen

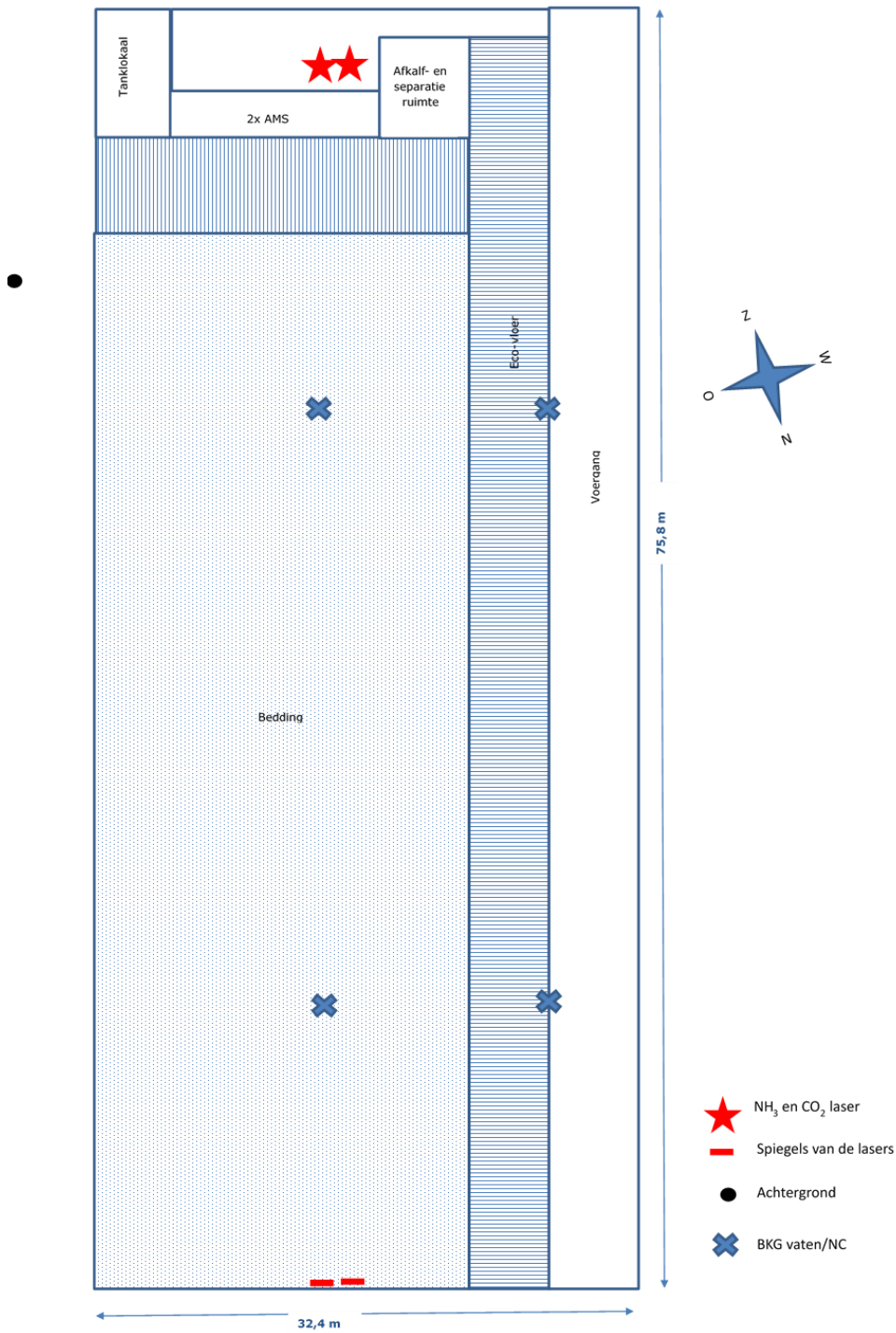
- Door het grote aandeel van de bedding in de productie van CO₂ in de stal is een goede methode om deze bijdrage vast te stellen belangrijk. Aanbevolen wordt om de gebruikte fluxkamer methode voor schatting van de bijdrage van de bedding te valideren en beter zicht te krijgen op de factoren die de CO₂ productie uit de bedding beïnvloeden.
- Om beter inzicht te krijgen in de relatie tussen emissiemetingen en balansmetingen wordt aanbevolen bij volgend onderzoek deze twee te combineren.
- Daarbij zou ook meer aandacht gegeven moeten worden aan het meten van de factoren waarvan uit composteringsonderzoek bekend is dat ze emissie van ammoniak en broeikasgassen beïnvloeden. Gedacht wordt aan met name aan C/N verhouding en porositeit van het ligbed en de pH.
- Omdat de omschakeling naar een vrijloopstal ook grote invloed heeft op de bemesting en inzet van meststoffen op gras- en bouwland wordt aanbevolen dat komend onderzoek zich ook richt het bepalen van de (gasvormige) verliezen die optreden tijdens (tussen)opslag en toediening.
- Omdat de manier van management van invloed lijkt te zijn op de verliezen van stikstof en koolstof is verdere verdieping van kennis over een goed management van de bodem noodzakelijk.

Literatuur

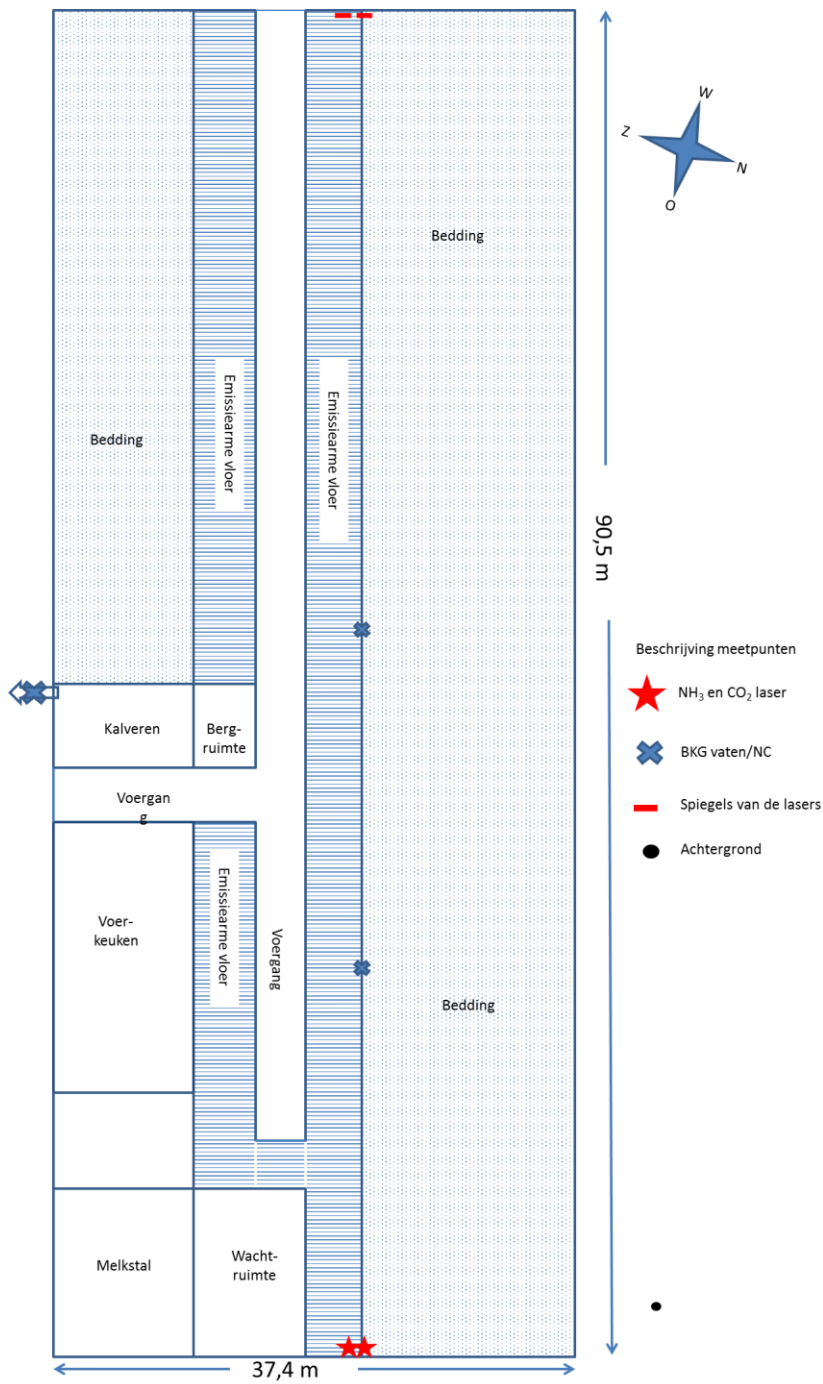
- Boer, H.C. de, M. Wiersma, P.J. Galama, G.L Szanto. 2015. Management bedding: vrijloopstal met composterende bedding van houtsnippers. V-focus 12 (4). p.31-33. <https://edepot.wur.nl/353315>
- Boer, H.C. de. 2015a. Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Hartman in 2013/2014. Wageningen Livestock Research, Livestock Research Rapport 885. 43 blz. <http://edepot.wur.nl/351305>
- Boer, H.C. de 2015b. Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Ottema-Wiersma in 2013/2014; Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 881. 44 blz
- Boer, H.C. de. 2016a. Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Langenkamp-Niense in 2014/2015. Wageningen, Wageningen Livestock Research, Rapport 936. <http://edepot.wur.nl/370169>
- Boer, H.C. de. 2016b. Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Koonstra in 2014/2015. Wageningen Livestock Research Rapport 945. 45 blz. <https://edepot.wur.nl/376510>
- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2018). Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOT-technical report 119. 124 pp.; 48 tab.; 6 fig s.; 65 ref.; 7 bijl
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- Dooren, H.J.C. van, P.J. Galama, M.C.J. Smits, W. Ouweltjes, F. Driehuis, S. Bokma. 2012. Bodems voor vrijloopstallen. Onderzoek en ervaringen op proef- en praktijkbedrijven. Wageningen Livestock Research, Rapport 411, <https://edepot.wur.nl/218558>
- Dooren, H.J.C. van, P.J. Galama, K. Blanken. 2016. On farm development of bedded pack dairy barns in The Netherlands, Gaseous emissions from bedding. Wageningen Livestock Research, Report 710. <http://dx.doi.org/10.18174/393409>
- Galama, P.J. H.C. de Boer, H.J.C. van Dooren, W. Ouweltjes, J.J. Poelarends, F. Driehuis. 2014. Vrijloopstallen voor melkvee in de praktijk. <http://edepot.wur.nl/310448>
- Galama, P.J., Boer de, H.C., Dooren van, H.J.C., Ouweltjes, W., Driehuis, F. 2015. Sustainability aspects of 10 bedded pack dairy barns in The Netherland. Wageningen Livestock Research, Report 873.
- Hutchinson, G. L., en A. R. Mosier. 1981. Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes. *Soil Science Society of America Journal*. 45:311-316. doi:10.2136/sssaj1981.03615995004500020017x
- Mosquera, J. and J.M.G. Hol. 2012. Emissiefactoren methaan, lachgas en PM2,5 voor stalsystemen, inclusief toelichting. Wageningen Livestock Research Rapport 496. <https://edepot.wur.nl/198127>.
- Ogink, N.W.M. en G. Mol. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp
- Ogink, N.W.M., C.M. Groenestein, J. Mosquera. 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Wageningen Livestock Research Rapport 744, 29 pp. <https://edepot.wur.nl/294436>
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp, en A.J.A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- Szántó, G., 2009. NH3 dynamics in composting – Assessment of the integration of composting in manure management chains PhD-thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands – with summaries in English and Dutch.
- Velthof G.L., van Bruggen, C., Groenestein, C.M., de Haan, B.J., Hoogeveen, M.W., Huijsmans, J.F.M. 2009. Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland. Rapport 70, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen. <http://edepot.wur.nl/5140>

-
- VSN International. 2017. Genstat for Windows 19th Edition. VSN International, Hemel Hempstead, UK.
Web page: Genstat.co.uk
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwerkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.

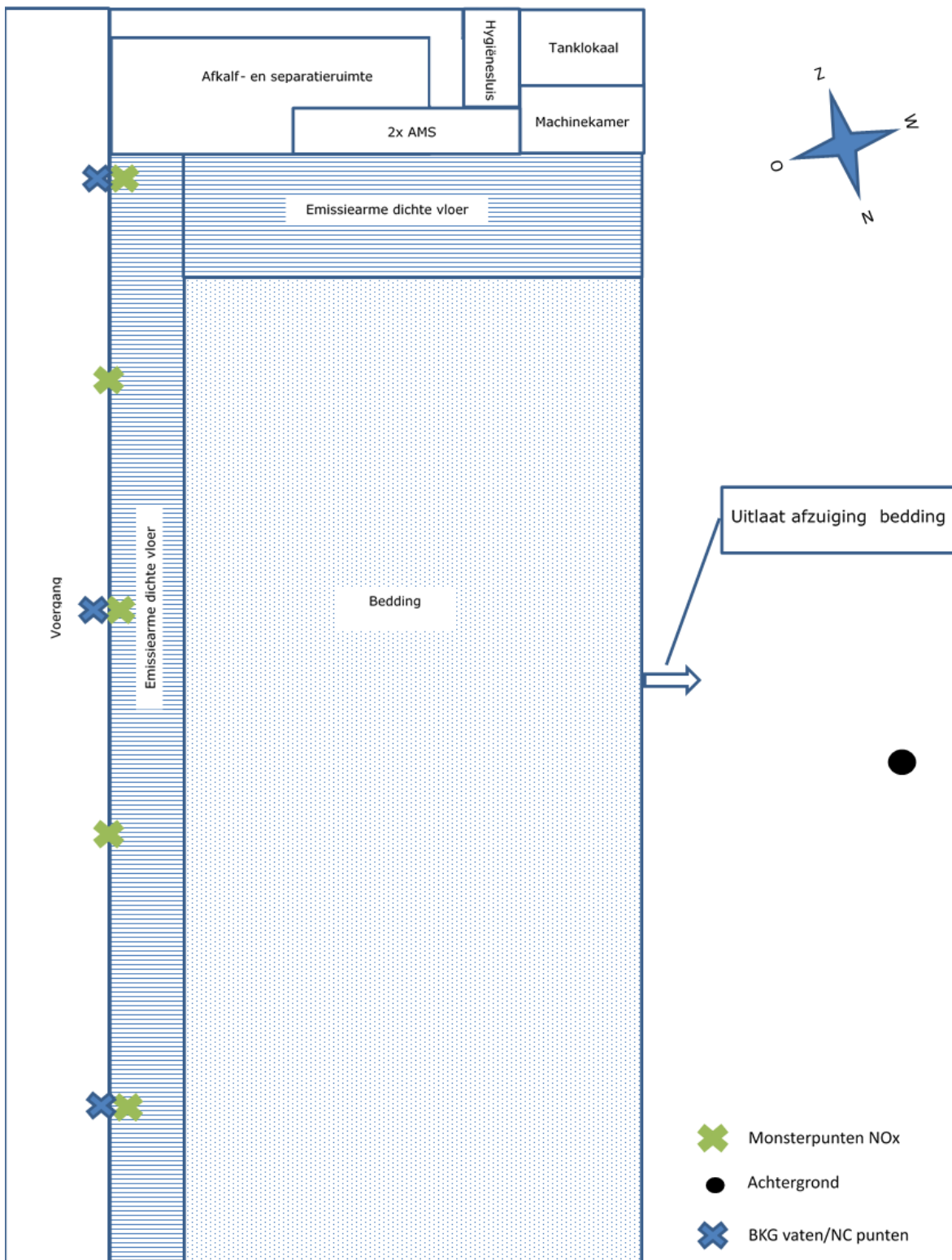
Bijlage 1 Stalplattegronden



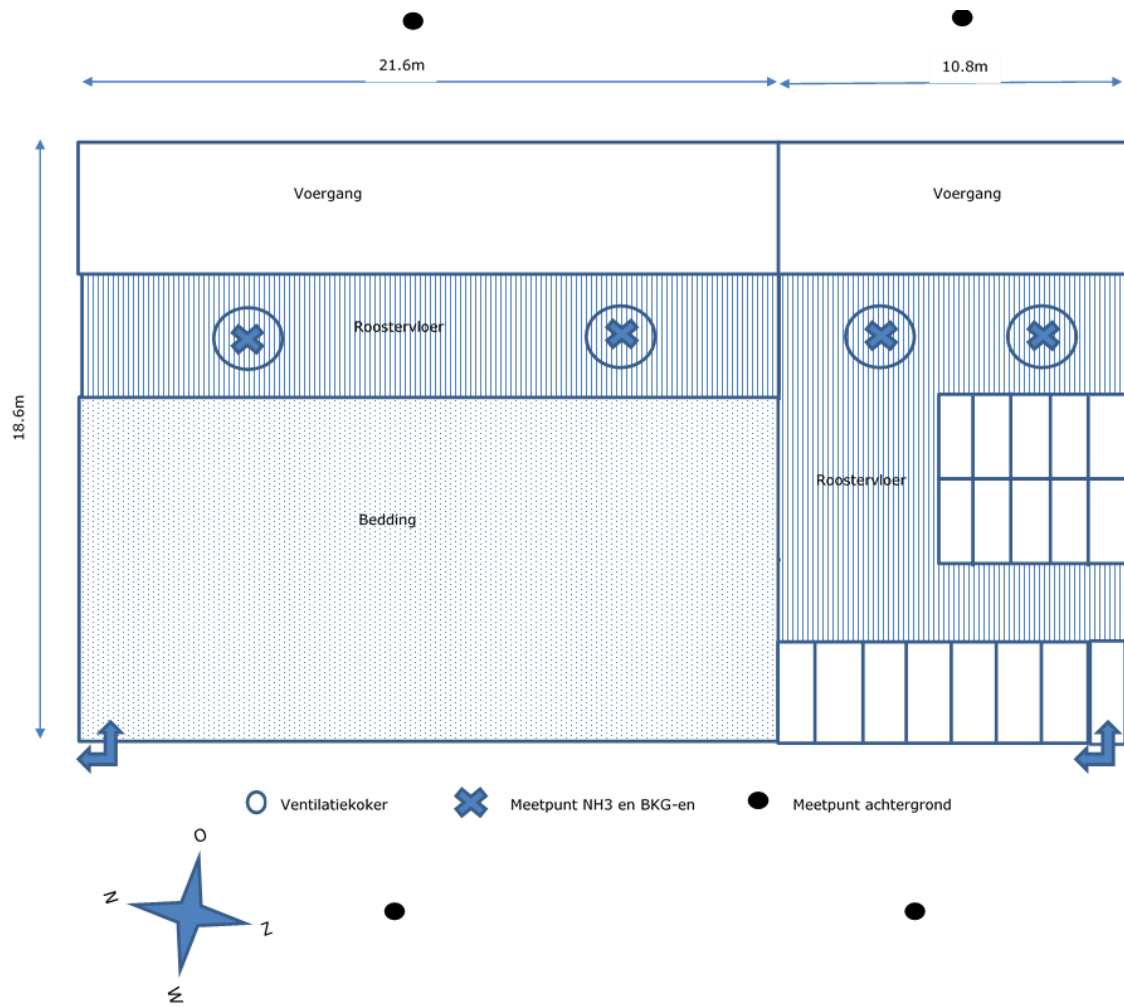
Figuur 10 Schematische plattegrond van meetlocatie 1 (Dalfsen).



Figuur 11 Schematische plattegrond van meetlocatie 2 (Balkbrug).



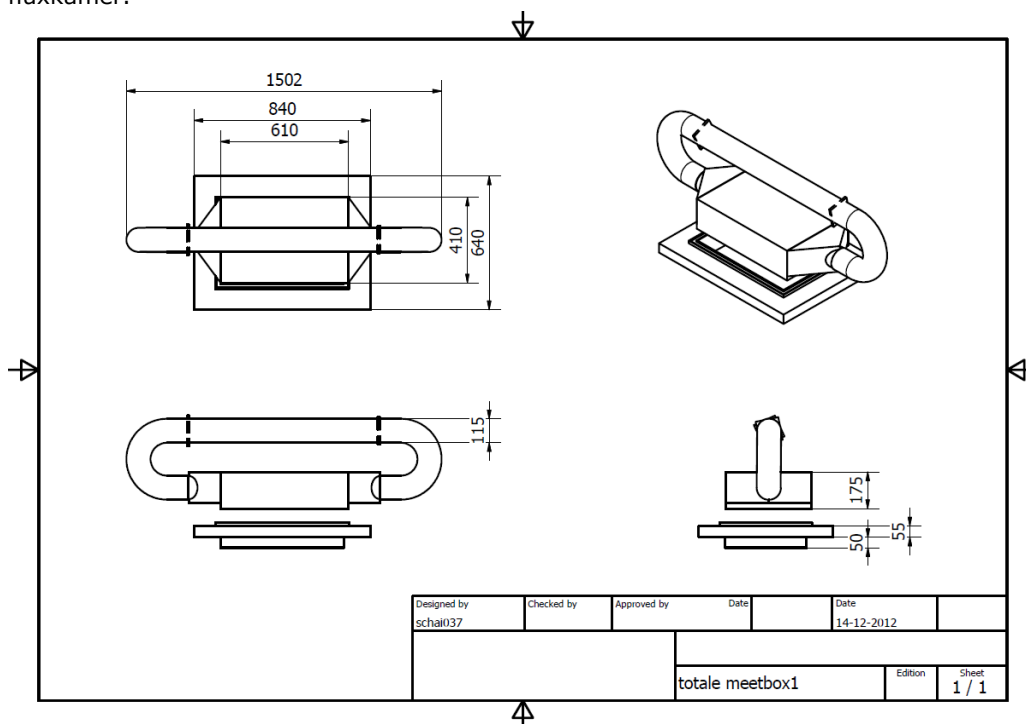
Figuur 12 Schematische plattegrond van meetlocatie 3 (Heibloem).



Figuur 13 Schematische plattegrond van meetlocatie 4 (Dairy Campus).

Bijlage 2 Fluxkamermetingen

De fluxkamer, zie tekening voor de afmetingen, wordt op een raamwerk geplaatst dat vooraf in het ligbed is gedrukt. Hiermee worden luchtlekages langs de randen van de fluxkamer voorkomen. In de luchtleiding die de twee openingen van de fluxkamer met elkaar verbindt is een ventilator opgenomen. Deze zorgt voor recirculatie van de lucht en een constante luchtstroom over het te meten oppervlak. In deze leiding is tevens een monsterpunt aangebracht voor bepaling van de gasconcentraties in de circulerende lucht. Het oppervlak van de fluxkamer is 0.21 m². De totale inhoud van de luxkamer 0.065 m³. Bij berekening van de emissie wordt deze inhoud vermeerderd met de inhoud van het raamwerk. Daarvoor wordt de gemiddelde afstand tussen ligbed en bovenrand van het raamwerk (voor elke emissiemeting bepaald op vier plekken) vermenigvuldigd met het oppervlak van de fluxkamer.



Figuur 14 Afmetingen van fluxkamer gebruikt voor meting van CO₂ emissie uit ligbed.

De productie (emissie) uit het ligbed wordt berekend volgens methode beschreven in Hutchinson en Mosier (1981):

$$PCO_2(\text{ligbed}) = \frac{V * (C_1 - C_0)^2}{A * t * (C_1 - C_2 - C_0)} * \ln\left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1}\right)$$

Met

PCO₂= productie CO₂ in g/m²/h

V= volume van de fluxkamer in m³

A= oppervlak van de fluxkamer in m²

t= tijdsinterval tussen metingen in uren

C_{0,1,2} gasconcentratie op tijdstip=0, t en 2t in g/m³

Na omrekening van de productie in m³ per uur kan deze opgeteld worden bij de CO₂ productie van de dieren.

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



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

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

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

