



Opties voor ammoniakreductie in stallen voor biologische varkens

André Aarnink, Marith Booijen, Jos Huis in 't Veld, Mariël Benus,
Robert Hoste, Izak Vermeij en Herman Vermeer

Rapport 1387



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Opties voor ammoniakreductie in stallen voor biologische varkens

André Aarnink¹, Marith Booijen¹, Jos Huis in 't Veld¹, Mariël Benus², Robert Hoste², Izak Vermeij¹ en Herman Vermeer¹

¹ Wageningen Livestock Research

² Wageningen Economic Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research i.s.m. Wageningen Economic Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en door de Provincie Noord Brabant. Het onderzoek valt onder het Beleidsondersteunend onderzoek van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit thema Systeeminnovatie Veehouderij (projectnummer BO-43-013.01-039).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, september 2022

Rapport 1387

Aarnink, A.J.A., M. Booijen, J.W.H. Huis in 't Veld, A.M. Benus, R. Hoste, I. Vermeij en H.M. Vermeer, 2022. *Opties voor ammoniakreductie in stallen voor biologische varkens*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1387.

Samenvatting Er is een tabel samengesteld met opties voor reductie van de ammoniakemissie uit biologische varkensstallen. Hiervoor is het belangrijk hokbevuiling te voorkomen en de emissies uit de mestkelder te beperken. De verschillende opties laten potentiële reducties zien van ca. 20 tot 55%.

Summery A table was composed with options for ammonia reduction from organic pig houses. Compared to the present situation, it is important to prevent pen fouling and to reduce emissions from the manure pit. The different options show potential reductions of ammonia emission varying from approx. 20 to 55%.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/576326> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

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

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

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

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

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

Wageningen Livestock Research Rapport 1387

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Bestaande perspectiefvolle systemen om de ammoniakemissie uit de mestkelder te verlagen	11
3	Mogelijkheden voor ammoniak-reductie vanaf de vloer	15
	3.1 Bevuiling in huidige biologische varkensstallen	15
	3.2 Sturen van het mest- en urineergedrag van biologische varkens	15
	3.3 Dichte vloeren en roostervloeren	17
	3.4 Ontwerpen om hokbevuiling te beperken	21
4	Inschatting ammoniakemissies	26
	4.1 Berekening van referentie ammoniakemissies	26
	4.2 Tabel met inschattingen ammoniakemissies	30
	4.3 Inschatting kosten ammoniak-reducerende biologische stallen	36
5	Beantwoording aanvullende vragen	40
	5.1 Ammoniak reducerende voermaatregelen	40
	5.2 Ammoniakreductie door toevoegmiddelen aan de mest	43
	5.3 Effect isolatiemaatregelen op de ammoniakemissie	44
6	Discussie	46
	6.1 Nauwkeurigheid van de emissie-schattingen	46
	6.2 Opties voor ammoniakreductie	47
	6.3 Kosten ammoniak-reducerende biologische stallen	48
	6.4 Beantwoording van additionele vragen van de werkgroep	49
7	Conclusies	50
8	Aanbevelingen	51
	Literatuur	52
	Bijlage 1 Aanvullende beschrijving emissie-reducerende systemen Rav-lijst	54
	Bijlage 2 Berekening van de ammoniakemissie reductie uit de mestkelder bij toepassing van een mestband	56
	Bijlage 3 Metingen ammoniakemissie, temperatuur en luchtsnelheid in biologische varkenstallen	57
	Bijlage 4 Toelichting conclusies additionele kosten	78
	Bijlage 5 Meetopstelling en -protocol voor bepaling van het effect van toevoegmiddelen aan de mest op de ammoniakemissie	79

Woord vooraf

Stallen voor de biologische varkenshouderij zijn ook een bron van ammoniakemissie. Een reductie van de emissie is daarom ook voor deze stallen wenselijk. Een belangrijk verschil met reguliere varkensstallen is dat de meeste mest (feces + urine) in de uitloop, in de buitenlucht, wordt geproduceerd. Hierdoor kunnen luchtwassers, die veel worden toegepast in de reguliere varkenshouderij, niet of minder efficiënt worden toegepast in biologische varkensstallen. Bovendien zijn de oppervlaktes per dier veel groter dan in de reguliere houderij. In combinatie met de eis van minimaal 50% dichte vloer, geeft dit vaak veel bevuiling van de vloer, waardoor er relatief veel ammoniak emitteert vanaf de vloer ten opzicht van de mestkelders. Dit vraagt om specifieke (bron)maatregelen voor de biologische varkenshouderij. In een werkgroep waarin vertegenwoordigers zaten vanuit de overheden, de sector, het advies en het onderzoek, zijn verschillende opties naar voren gekomen om de ammoniakemissie op biologische varkensbedrijven te verminderen. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Provincie Noord Brabant hebben Wageningen Livestock Research gevraagd om het perspectief van deze verschillende opties te beoordelen en voor de meest perspectiefvolle opties een inschatting te maken van de ammoniakreductie. Om een ammoniakreductie te kunnen vaststellen, moet eerst de huidige situatie in kaart worden gebracht. Op basis van expertkennis, modelberekeningen en aanvullende metingen is een (ruwe) inschatting gemaakt van de huidige ammoniakemissies op biologische bedrijven. Van daaruit zijn de potentiële ammoniakreducties van de meest perspectiefvolle maatregelen ingeschat. Bij implementatie van deze systemen in de praktijk zullen aanvullende waarnemingen en metingen moeten uitwijzen of deze maatregelen inderdaad hun potentie waarmaken. Wij bedanken hierbij het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Provincie Noord Brabant voor de financiering van het onderzoek en de biologische varkenshouders voor de medewerking in het onderzoek.

André Aarnink

Onderzoeker Veehouderij en Omgeving
Wageningen Livestock Research



Samenvatting

De biologische varkenshouderij is tot nu toe in het Besluit emissiearme huisvesting vrijgesteld geweest van ammoniakreductie eisen, zoals die gelden voor de reguliere varkenshouderij. De provincie Noord-Brabant heeft sinds 2012 een inspanningsverplichting voor biologische varkensbedrijven in haar verordening opgenomen om de emissie met 40% te reduceren. Op landelijk niveau wil de biologische varkenshouderij samen met de rijksoverheid ook komen tot een inspanning om de ammoniakemissie te beperken. De vraag daarbij is wat de (technische) mogelijkheden zijn. In een werkgroep waarin vertegenwoordigers zaten vanuit de overheden, de (bio-)sector, het advies en het onderzoek, zijn verschillende opties naar voren gekomen om de ammoniakemissie op biologische varkensbedrijven te verminderen. Het doel van dit project was om uit deze opties een tabel samen te stellen met perspectiefvolle maatregelen die toepasbaar zijn in biologische varkensstallen (met uitloop). Hierbij is het van belang dat deze maatregelen goed worden gedefinieerd en dat de reductiepercentages zoveel mogelijk zijn onderbouwd. Om reductiepercentages te kunnen schatten is het belangrijk om de huidige referentiesituatie vast te stellen. In een overleg met biologische varkenshouders zijn daarnaast nog een aantal aanvullende vragen naar voren gekomen die ook in dit rapport zijn beantwoord. De activiteiten in dit project bestonden uit een combinatie van een deskstudie, praktijkmetingen en modelberekeningen.

Dit rapport heeft een tabel opgeleverd met verschillende opties voor reductie van de ammoniakemissie in biologische varkensstallen. Deze tabel geeft tevens schattingen van de ammoniakemissies uit huidige biologische stallen en van ammoniak-reducerende systemen.

De volgende ammoniak reducerende principes bieden perspectief voor toepassing in de biologische varkenshouderij:

- Verdunning van mest met water in zogenaamde waterkanalen. In deze waterkanalen komt relatief weinig mest bij een goede sturing van het mestgedrag (met weinig/geen hokbevuiling). Hierdoor kan deze mest met relatief weinig water worden verdund. Door een verdunning met bijvoorbeeld een factor 4 (1 deel mest, 3 delen water), wordt de ammoniakemissie uit dit kanaal met een factor 4 verlaagd.
- Verwijdering van mest met schuif of band. Door de mest uit de mestkelder regelmatig met een schuif of een band te verwijderen wordt de ammoniakemissie uit de mestkelder naar verwachting met ca. 75% verlaagd. In dit systeem wordt de urine continu naar een afgesloten opslag afgevoerd en de feces wordt ca. 4x per dag met de mestschuif of mestband verwijderd.
- Verkleining emitterend kelderoppervlak. Het emitterend kelderoppervlak kan verkleind worden door schuine wanden te plaatsen in het mestkanaal. Bij een verkleining van het emitterend oppervlak met bijvoorbeeld 50% (inclusief bevuiling schuine wanden) kan de ammoniakemissie uit dit kanaal met 50% worden gereduceerd.
- Rondloopstal met zeugenvoerstation en strobed. Dit systeem is specifiek voor dragende zeugen. Door het dikke strobed wordt de ammoniakemissie uit het bed gereduceerd wanneer hier mest en urine in terecht komt.

Conclusies huidige ammoniakemissie en opties voor ammoniakreductie in biologische varkensstallen:

- De indicatief berekende referentiewaarden voor biologische stallen voor vleesvarkens en dragende zeugen liggen iets hoger dan de referentiewaarden voor reguliere stallen (systemen met code Dx.100 in de Rav-lijst, waarbij cijfer x staat voor de varkenscategorie), terwijl deze voor biggen en kraamzeugen lager liggen.
- Door een goed hokontwerp, zowel in de stal als in de uitloop kan het mestgedrag van de varkens worden gestuurd waardoor de bevuiling van de dichte vloer sterk kan worden verminderd en daarmee ook de ammoniakemissie. Hokbevuiling (bevuiling van de dichte vloer) is het eerste wat aangepakt kan/moet worden in de biologische varkenshouderij. Schone dichte vloeren is een randvoorwaarde voor ammoniakarme huisvesting van varkens.
- Ten opzichte van de meeste huidige biologische varkensstallen kan de ammoniakemissie via enkelvoudige of een set van maatregelen op stalniveau worden gereduceerd met ca. 20 – 55%.

- De absolute ammoniakemissies van de referentie- en ammoniakarme biologische stallen zijn slechts indicatieve schattingen. Relatieve ammoniakemissies kunnen met grotere betrouwbaarheid worden aangegeven.
- De extra kosten voor ammoniakemissiearme biologische stallen lijken bij nieuwbouw voor systemen die een reductie geven tot ca. 40% mee te vallen. Bij de varianten die een reductie geven van meer dan 40% zijn de kosten meer, tot zelfs sterk, verhoogd.

Antwoorden op de aanvullende vragen:

- Op basis van de huidige kennis zijn er twee voermaatregelen die mogelijk (beperkt) perspectief bieden voor verlaging van de ammoniakemissie bij biologische varkens:
 - Verlaging van de stikstofuitscheiding (in de vorm van ureum) door verlaging van het eiwitgehalte in het voer.
 - Verzuring van urine en mengmest door vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 .
De mogelijkheden voor eiwitverlaging in biologische voeders zijn beperkt, aangezien toevoeging van limiterende synthetische aminozuren niet is toegestaan. Verzuring van urine en mengmest moet met voorzichtigheid worden gehanteerd, aangezien het invloed heeft op het zuur/base evenwicht in het dier. Teveel verzuring van de urine (pH onder de ca. 5,5) kan ongewenste neveneffecten geven, zoals botontkalking. Daarnaast kan het de voeropname en de productie beïnvloeden.
- Er zijn vooralsnog weinig mogelijkheden om de ammoniakemissie te reduceren via toevoegmiddelen aan de mest of door de inzet van schoonmaak-/ desinfectiemiddelen als ureaseremmer. De regelgeving voor biologische varkenshouderij laat de inzet van deze middelen niet toe. Nieuwe of bestaande toevoegmiddelen aan de mest die mogelijk perspectief bieden zouden getest kunnen worden in een gevalideerde meetopstelling op lab-schaal van Wageningen Livestock Research.
- Het directe effect op de ammoniakemissie van het (extra) isoleren van het dak of het wit maken van het dak op de ammoniakemissie, via een verlaging van de staltemperatuur, wordt gering geacht. Voor het thermo-comfort van de varkens en om hokbevuiling in de zomer te voorkomen is het echter belangrijk om de stal goed te isoleren. Een goede isolatie zorgt voor hogere staltemperaturen in de winter en lagere staltemperaturen in de zomer. We gaan er vanuit dat dit al gerealiseerd is in de huidige stallen, waardoor hier geen extra reductie aan wordt toegekend.

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Extra onderzoek is gewenst naar de validatie van de modelberekeningen t.a.v. het effect van temperatuur en luchtsnelheid op de ammoniakemissie. Het effect van temperatuur is al wel eerder gevalideerd, maar er zijn weinig metingen bekend die de relatie tussen luchtsnelheid en ammoniakemissie hebben vastgesteld. Daarnaast is het van belang om de mate van interactie tussen temperatuur en luchtsnelheid te bepalen.
- Onderzoek is gewenst naar de mogelijkheden om de temperatuur van en de luchtsnelheid boven de emitterende oppervlakken (bevuilde vloer en mest in mestkelder) te verlagen om op die manier de ammoniakemissie vanaf de uitloop te beperken.
- Demo-bedrijven zijn nodig om de effectiviteit van emissie-reducerende maatregelen aan te tonen en zichtbaar te maken voor (collega-)varkenshouders.

1 Inleiding

De biologische varkenshouderij is tot nu toe in nationale regelgeving steeds vrijgesteld geweest van ammoniakreductie eisen. De provincie Noord-Brabant heeft sinds 2012 wel een inspanningsverplichting voor biologische varkensbedrijven in haar verordening opgenomen om de emissie met 40% te reduceren. Op landelijk niveau wil de Rijksoverheid samen met de sector ook komen tot een inspanning om de ammoniakemissie te beperken. De vraag daarbij is wat de (technische) mogelijkheden zijn om de ammoniakemissie te reduceren in biologische varkensstallen. Om biologische varkenshouders de gelegenheid te geven om te voldoen aan de doelstellingen, moeten maatregelen beschikbaar zijn die geschikt zijn voor biologische varkensstallen. Luchtwassers, bijvoorbeeld, zijn minder geschikt voor biologische varkensstallen vanwege het open karakter van deze stallen en vanwege het feit dat een belangrijk deel van de ammoniakemissie afkomstig is van de buitenuitloop. Brongerichte maatregelen lijken daarom meer geschikt voor biologische varkensstallen.

Het doel van dit project was om een tabel samen te stellen met maatregelen die de ammoniakemissie kunnen reduceren en die toepasbaar zijn in biologische varkensstallen (met uitloop). Hierbij is het van belang dat deze maatregelen goed worden gedefinieerd en dat de reductiepercentages zijn onderbouwd. Tevens is een inschatting gemaakt van de extra kosten van deze maatregelen en wat het effect van de maatregelen is op andere emissies (broeikasgassen (methaan en lachgas), geur en fijnstof).

Daarnaast zijn in een overleg met biologische varkenshouders een aantal vragen naar voren gekomen die ook in dit rapport zullen worden beantwoord:

1. Welke ammoniak reducerende maatregelen mogen worden toegepast in biologisch varkensvoer en wat is het verwachte effect op de ammoniakemissie?
 - 1.1. Wat is het effect van eiwitverlaging?
 - 1.2. Wat is het effect van 'verzurend' voer?
 - 1.3. Wat is het effect van aanzuren van drinkwater/brijvoer?
2. Welke toevoegmiddelen aan de mest mogen worden toegepast en wat is het effect op de ammoniakemissie?
 - 2.1. Wat is het effect van aanzuren van mest?
 - 2.2. Welke urease-remmers mogen worden toegepast in de biologische varkenshouderij, hoe kunnen deze worden toegepast en welke reducties zijn hier mee te bereiken?
 - 2.3. Wat is het effect van mogelijke andere toevoegmiddelen aan de mest?
3. Wat is het effect van isolatiemaatregelen op de ammoniakemissie?
 - 3.1. Wat is het effect van het wit maken of het isoleren van het dak?
 - 3.2. Wat is het effect van dakisolatie i.c.m. automatische gecontroleerde natuurlijke ventilatie (ANCV)?
4. Wat is het effect van alternatieve hokontwerpen en mestverwijderingssystemen op de ammoniakemissie?
 - 4.1. Zijn er nieuwe hokontwerpen te bedenken met een lage ammoniakemissie? Hierbij ook kijkend naar een combinatie met varkenstoiletten, beddenstal, mestkoeling en emitterend oppervlak.
 - 4.2. Hoe kunnen mestbanden ingepast worden in biologische varkensstallen en mogen dan vergelijkbare effecten worden verwacht als voor de reguliere varkenshouderij?
5. Wat is het effect van temperatuur en luchtsnelheid op de ammoniakemissie?
 - 5.1. Hoe hoog is de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de mest in biologische varkensstallen en wat betekent dat voor de emissie in vergelijking met de emissie in reguliere varkensstallen?
 - 5.2. Hoe hoog is de gemiddelde luchtsnelheid boven het mestoppervlak in biologische varkensstallen in vergelijking tot reguliere varkensstallen?
6. Wat is de variatie in ammoniakemissie tussen mestkanalen waar veel en waar weinig wordt gemest?

6.1. Verschillen in ammoniakemissie kunnen vooral optreden als de mestkelder uit verschillende kanalen bestaat. Daar waar weinig wordt gemest kan uitputting van ammonium in de bovenste laag van de mest optreden, waardoor de ammoniakemissie op die plek zal afnemen. Is dit relevant in de huidige biologische stallen?

In hoofdstuk 2 zijn bestaande perspectievolle systemen opgenomen die de ammoniakemissie uit de mestkelder verlagen en die mogelijk toegepast kunnen worden in biologische stallen. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de mogelijkheden om de vloeremissie te reduceren door het lig- en mestgedrag te sturen en door toepassing van emissiearme (rooster)vloeren. In dit hoofdstuk zijn tevens een aantal ontwerpen van varkenshokken opgenomen waarvan de verwachting is dat ze weinig vloerbevuilding geven. In hoofdstuk 4 is een inschatting gemaakt, gebaseerd op expertkennis, modelberekeningen en de uitgevoerde metingen, van de ammoniakemissie van de huidige biologische stallen (zonder emissie-reducerende maatregelen) en van de emissiearme stallen. Voor het ontwerp van de emissiearme stallen is gebruik gemaakt van maatregelen die de kelderemissie reduceren (hoofdstuk 2) en maatregelen die de vloeremissie reduceren (hoofdstuk 3). In hoofdstuk 5 worden de hierboven genoemde vragen 1 tot en met 4 beantwoord middels een deskstudie. Vragen 5 en 6 worden beantwoord middels metingen in de praktijk. De resultaten van deze praktijkmetingen zijn opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van dit onderzoek bediscussieerd. In hoofdstuk 7 worden de belangrijkste conclusies uit dit rapport getrokken en in hoofdstuk 8, tenslotte, worden enkele aanbevelingen gedaan.

2 Bestaande perspectievolle systemen om de ammoniakemissie uit de mestkelder te verlagen

In Tabel 1 zijn maatregelen opgenomen die op dit moment in de Rav-lijst staan en die mogelijk toegepast kunnen worden in biologische stallen om de kelderemissie te verlagen. In Bijlage 1 is, waar nodig, een aanvulling opgenomen in de beschrijving van het systeem ten opzichte van de beschrijving voor de reguliere varkenshouderij.

Verdunning met water (reductieprincipes 1 en 4)

Verdunning van de mest door toevoeging van water is een effectieve manier om de ammoniakemissie te reduceren. De ammoniakemissie vanaf een emitterend oppervlak is recht evenredig met het ammoniumgehalte van de vloeistof (mest, urineplas) van dit emitterend oppervlak [1, 2]. Dit betekent dat bij een verdunning van de mest met dezelfde hoeveelheid water het ammoniumgehalte en daarmee de ammoniakemissie met 50% omlaag gaat. Voor biologische varkenshouders met voldoende grond kan dit een kostenefficiënte methode zijn om de ammoniakemissie te verlagen. Aangezien een deel van de uitloop niet overkapt mag zijn (maximaal 75% overkapt) zal er ook regenwater in de mestput komen. Dit regenwater zorgt ook voor enige verdunning van de mest.

Verdunning van mest met water is het meest efficiënt in mestkanalen waar boven weinig wordt gemest door de dieren. Dit komt door het feit dat de ammoniakemissie vooral wordt bepaald door het oppervlak van de mest en vrijwel niet door het volume. Als in een mestkanaal weinig wordt gemest is er veel minder water nodig om een bepaalde verdunningsgraad te bereiken dan in een mestkelder waar veel mest wordt geproduceerd. Dit principe wordt toegepast bij de zogenaamde waterkanalen. In de reguliere varkenshouderij bevinden deze waterkanalen zich veelal onder de eetplaats van de dieren. Aangezien varkens in het algemeen niet mesten waar ze eten, komt hier weinig mest terecht en kan de hoeveelheid mest die hierin terecht komt efficiënt met een geringe hoeveelheid water worden verdund.

Verwijdering van mest met een schuif of band (reductieprincipes 2 en 5)

Door de mest uit de mestkelder regelmatig met een schuif of een band te verwijderen wordt de ammoniakemissie uit de mestkelder naar verwachting met ca. 70-80% verlaagd. In dit systeem wordt de urine continu naar een afgesloten opslag afgevoerd en de feces wordt een aantal keren per dag met de mestschuif of mestband verwijderd. Het reductiepercentage is gebaseerd op metingen aan een mestband systeem bij gangbare vleesvarkens, waarbij de emissie vanuit de mestkelder gedurende een winterperiode naar schatting met 84% werd gereduceerd (zie Bijlage 2). Deze 70-80% is ook gebaseerd op emissiefactor D 1.2.4 'Mestschuif met gecoate hellende keldervloer en giergoot (Groen Label BB 94.06.019)' bij kraamzeugen, met een emissiefactor voor ammoniak van 3,1 kg/jaar. Bij een verhouding vloer : kelder emissie van 0,15 : 0,85 betekent dit een reductie uit de mestkelder van 74%. Zonder coating van de schuifvloer zal de reductie iets lager zijn. De verwachting is dat mestbanden de ammoniakemissie uit de mestkelder met ca. 80% reduceren (zie Bijlage 2) en mestschuiven op een hellende vloer met ca. 70% (op basis van emissiefactoren Rav-lijst). Het effect van een schuifstelsel kan naar verwachting verhoogd worden naar ca. 80% door de schuifvloer te coaten en na elke schuifbeurt de vloer schoon te sproeien. Door het schuiven vindt er namelijk ook versmering plaats van urine en mest over het gehele oppervlak. Door de vloer te sproeien na elke schuifbeurt wordt deze dunne mestlaag verwijderd. Als er niet wordt gesproeid is er een optimum schuiffrequentie. Bij vaker schuiven zal er meer versmering plaatsvinden, terwijl bij minder frequent schuiven de feces zich ophopen waardoor de urine-afvoer geblokkeerd kan worden. Zonder sproeien is daarom een optimale schuiffrequentie waarschijnlijk een paar keer per dag (2 – 4 maal). Bij mestbanden is er (in vergelijking met mestschuiven) minder versmering en kunnen de feces vaker per dag worden afgedraaid (ca. 6 maal). In de reguliere varkenshouderij kan aanvullend hierop ook een

ureaseremmer worden toegepast. Voor de biologische varkenshouderij is dit echter (nu nog) niet toegestaan (zie par. 5.2).

Verkleining emitterend kelderoppervlak (reductieprincipe 3)

Het emitterend kelderoppervlak kan verkleind worden door schuine wanden te plaatsen in het mestkanaal. De schuine wand die aan de dichte vloer grenst heeft een helling t.o.v. de putvloer van minimaal 45° en de andere schuine wand heeft geen helling (90° ofwel haaks op de putvloer) of een helling van minimaal 60°. Voorgaande heeft te maken met het feit dat varkens veelal tegen de achterwand aan urineren en mesten. Daarom moet deze schuine wand een sterke helling hebben om te voorkomen dat deze wand sterk wordt bevuild met feces en urine. In de biologische varkenshouderij kan de aanwezigheid van stro (vanaf de vloer en in de mest) tot extra hechting van mest en aankoeken van de schuine wand leiden. Deze moet dan ook regelmatig worden schoongemaakt.

Rondloopstal met zeugenvoerstation en strobed

Dit ontwerp is uitgebreid onderzocht door Groenestein [3]. In een lab-onderzoek vond zij dat bij een urinelozing in een meer of minder bevuild strobed de ammoniakemissie ongeveer 75% lager is dan bij een urinelozing in de mengmest afkomstig van een controleafdeling. Om een inschatting te maken van de ammoniakemissie uit een strobed, moet eerst het aandeel van het strobed dat bevuild wordt met urine en feces worden bepaald. Vervolgens kan bij een bekende referentie-emissie uit mengmest (per m² emitterend oppervlak) de ammoniakemissie uit het strobed worden bepaald. In de biologische varkenshouderij wordt veelal de meeste mest in de uitloop geproduceerd. De Rondloopstal richt zich op de inrichting in de stal. Doordat in de stal relatief weinig ammoniak emitteert in vergelijking met de ammoniakemissie vanaf de uitloop, zal het effect van de Rondloopstal op de totale ammoniakemissie niet groot zijn.

Niet opgenomen reductieprincipes

Een belangrijke reductieprincipe is het koelen van de mest. Van deze reductiemethode zijn verschillende systemen opgenomen in de Rav-lijst. Deze zijn vooral gebaseerd op oppervlaktekoeling van de mest met behulp van lamellen. Bij kraamzeugen is ook een optie opgenomen waarbij de mest, die opgeslagen wordt in een mestpan, van onderuit wordt gekoeld. Voor biologische varkens lijkt koelen van mest een minder geschikte optie omdat de mest in de uitloop gedurende een groot deel van het jaar al een relatief lage temperatuur heeft. De mest zou eventueel gekoeld kunnen worden in de zomerperiode. Echter, koeling van mest is vooral interessant wanneer de onttrokken warmte hergebruikt kan worden. Op biologische bedrijven is echter weinig extra warmte nodig, zeker gedurende de zomerperiode.

Tabel 1 Maatregelen uit de Rav-lijst die mogelijk toegepast kunnen worden in biologische stallen.

Emissie reducerend principe	Verwachte reductie (%) ¹	Diercategorieën Rav-lijst	Mogelijke andere categorieën	Toepasbaar in bestaande biologische stallen?	Perspectief voor biologische varkenshouderij	Link naar systeembeschrijving	Aanvullende beschrijving biologisch
1. Toevoegen water aan mest in kelder (mestkanaal)	Recht evenredig met verdunningsfactor; bij mest : water = 1:1, 50% reductie uit mestkelder	Vleesvarkens	Alle categorieën	Ja	Zeer perspectiefvol; kan overal gemakkelijk worden toegepast. Wel meer kosten voor mestafvoer.	https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bb_95-10-029_v3_met_noot.pdf	Bijlage 1a
2. Meerdere keren per dag verwijderen van mest met mestschuif	70 – 80% uit mestkelder	Biggenopfok en kraamzeugen	Alle categorieën	Ja, wel hogere kosten	Perspectiefvol voor alle mestkanalen, ook waar veel stro in terecht komt	Biggen: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bb_93_03_001_v1_met_noot.pdf Kraamzeugen: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bb_94-04-018.pdf	Bijlage 1b
3. Verkleining emitterend kelderoppervlak via schuine putwanden	Recht evenredig met emitterend mest-oppervlak; 50% reductie bij 50% kleiner emitterend oppervlak; correctie voor bevuilding schuine putwanden	Vleesvarkens, biggenopfok, guste en dragende zeugen	Alle categorieën	Ja, wel hogere kosten	Perspectiefvol voor mestkanalen in de uitloop; vaak toegepast in combinatie met water- en mestkanalen.	Vleesvarkens (één van de mogelijke varianten): https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2004_04_v2.pdf Biggenopfok (één van de mogelijke varianten): https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2004_06_v2.pdf Guste en dragende zeugen (één van de mogelijke varianten): https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2010_08_v2.pdf	Bijlage 1c
4. Verdunning van mest in waterkanaal ²	Recht evenredig met verdunningsfactor; bij mest : water = 1:1, 50% reductie uit mestkelder; hoeveelheid water afhankelijk van hoeveelheid mest in waterkanaal	Vleesvarkens, biggenopfok, kraamzeugen	Alle categorieën	Ja, extra kosten afhankelijk van huidige situatie	Zeer perspectiefvol; vaak in combinatie met schuine putwanden in mestkanaal toegepast. Bij voorkeur geen schuine wanden in waterkanaal toepassen.	Vleesvarkens: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2001_03_v1.pdf Biggenopfok: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2010_05_v1.pdf Kraamzeugen: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2004_07_v1.pdf	Bijlage 1d
5. Meerdere keren per dag verwijderen van de	80% uit mestkelder	Vleesvarkens, biggenopfok,	Alle categorieën	Ja, wel hogere kosten	Perspectiefvol voor alle mestkanalen, ook waar	Vleesvarkens: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2008_11_v1.pdf	Bijlage 1e

mest met een mestband		guste en dragende zeugen			veel stro in terecht komt	Biggenopfok: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bb_96_06_040_v1_met_noot.pdf Guste en dragende zeugen: https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2008_11_v1.pdf	
6. Rondloopstal met zeugenvoerstation en strobed	Ca. 50% in de stal (excl. uitloop)	Guste en dragende zeugen	Nee	Ja, wel afhankelijk van huidige situatie	Perspectiefvol in de stal; nog wel goed ontwerp uitloop nodig	https://www.infomil.nl/publish/pages/130041/bwl_2010_09_v1.pdf	Bijlage 1f

¹ Zie tekst voor bronverwijzingen

² Verschil met nr. 1 is dat bij 1 de volledige mest wordt verdund, terwijl bij nr. 4 alleen de geringe hoeveelheid mest die in het waterkanaal of in de waterkanalen valt wordt verdund.

3 Mogelijkheden voor ammoniakreductie vanaf de vloer

3.1 Bevuiling in huidige biologische varkensstallen

Biologische varkens hebben een flink groter hokoppervlak per dier ter beschikking dan gangbare varkens. In Tabel 2 is een schatting gemaakt van het percentage bevuilde dichte vloer in de binnen- en de buitenruimte. Dit is indicatief en geeft aan dat het reduceren van de ammoniak (NH₃) emissie bij het houden van biologische varkens een grote inspanning vergt, vooral ten aanzien van de emissie vanaf bevuilde vloeroppervlakken. Voor biologische varkens is het daarom nog belangrijker dan voor reguliere varkens om het lig- en mestgedrag goed te sturen.

Tabel 2 Vereist hokoppervlak per dierplaats en indicatief aandeel bevuild oppervlak van de dichte vloer, binnen en buiten, in huidige stallen (gebaseerd op waarnemingen op verschillende bedrijven); de variatie in bevuiling tussen stallen en bedrijven is echter zeer groot, daarom zijn waarden per hoktype (incl. groepsgrootte) wenselijk.

Categorie	m ² binnen ¹	% bevuilde dichte vloer binnen ¹	m ² buiten ¹	% bevuilde dichte vloer buiten
Dragende zeugen	2,5	10	1,9 (excl wei)	75
Kraamzeugen	7,5	5	2,5	45
Gespeende biggen	0,6	15	0,4	50
Vleesvarkens ²	1,3	10	1,0	65

¹ Minimaal 50% van de vloeroppervlakte dient dicht te zijn. Een dichte vloer mag maximaal 5% openingen hebben.

² Norm voor varkens van 85 – 110 kg; voor vleesvarkens < 50 kg is dit respectievelijk 0,8 en 0,6 m² en voor vleesvarkens van 50 – 85 kg 1,1 en 0,8 m² voor binnen en buiten. Meestal worden hokken in de huidige praktijk niet verkleind bij jonge dieren.

3.2 Sturen van het mest- en urineergedrag van biologische varkens

Sturing van het mestgedrag (urineren en defeceren) in biologische hokken is maatwerk. Het is ook belangrijker dan in reguliere varkenshokken, aangezien de varkens een veel groter oppervlak ter beschikking hebben en dus ook een veel groter oppervlak kunnen bevuilen. Varkens zijn zindelijke dieren. Ze lopen weg van de lig- en eetruimte en zoeken een rustige plek om te mesten. Belangrijk is om varkens niet teveel keus te geven. Een mestruimte moet niet gebruikt worden als ligruimte en omdat ligruimtes door varkens als regel schoon worden gehouden, worden die locaties in het hok vaak gekozen als mestruimte welke klimaat-technisch niet aangenaam zijn om te liggen, vanwege bijvoorbeeld tocht, kou of vocht. Deze factoren moeten echter ook niet te extreem zijn, aangezien de varkens die ruimte dan zelfs te onaangenaam vinden om te mesten. Dit geldt zeker in biologische hokken waar de dieren vaak voldoende keus hebben om een geschikte mestruimte uit te kiezen.

Mesten op een bepaalde locatie wordt gestimuleerd door:

- contact met burens;
- hokafscheiding met spijlen;
- een stroeve, goed beloopbare roostervloer met een goede doorlaat of een stroeve, goed beloopbare dichte vloer.

Achtergrond

In deze paragraaf wordt een aantal invloedfactoren op het mestgedrag van varkens besproken. Urineren en defeceren worden in de wetenschappelijke literatuur vaak samen genomen, maar het varken is goed in staat om mesten en urineren te scheiden. Bij de ontwikkeling van het varkenstoilet wordt hier gebruik van gemaakt. Varkens zijn zindelijke dieren en proberen hun functiegebieden te scheiden. Een schone, comfortabele en veilige ligruimte bij de gewenste temperatuur heeft daarbij de hoogste prioriteit. Naast de vaste plaats voor liggen, voer, water en hokverrijking is alle resterende ruimte in potentie geschikt als mestgebied. Een schoon hok kost minder werk, is beter voor het welzijn en geeft minder ammoniakemissie.

Leeftijd – natuurlijk gedrag

Biggen mesten vlak na de geboorte dichtbij hun ligplaats, maar met toenemende leeftijd neemt de afstand tussen ligplaats en mestplaats toe. Dit gedrag lijkt aangeboren en wordt niet beïnvloed door de zeug. Net als de eet- en drinkfrequentie neemt de frequentie van het mest- en urineergedrag af bij het ouder worden. Zeugen lopen 5-15 meter weg van hun ligplaats, tot ze een rustige plek hebben gevonden. Harde cijfers over deze afstand tot de ligplaats zijn er echter niet. De afstand van 5-15 m is vooral gebaseerd op waarnemingen aan gedomesticeerde varkens die onder natuurlijke omstandigheden zijn gehouden. Onder praktijkomstandigheden geven hokafscheidingen de grens aan en worden mest en urine vaak daar geproduceerd waar de varkens niet verder weg kunnen lopen van hun ligplaats.

Vaste routine

Het mestgedrag volgt vaak het activiteit- en drinkpatroon van het varken: vanuit de ligruimte bezoeken varkens vaak eerst de voer- en drinkbak, voordat ze naar de mestruimte gaan. Mogelijk omdat dan de druk op blaas en darmen toeneemt. Door bij het ontwerpen van een hok rekening te houden met aangewezen plaatsen voor de functies van liggen, eten, drinken en mesten kan het mesten en urineren gestuurd worden, d.w.z. kan de kans dat de varkens mesten waar dat de bedoeling is vergroot worden. Met name bij biologische zeugen die met voerstations gevoerd worden kan een centrale uitgang, die via een separatie-unit bij een drinkbak of een berenhok uitkomt, gebruikt worden om het mestgedrag te concentreren. Dit kan bijvoorbeeld op een goed doorlatende roostervloer op de buitenuitloop.

Rust en veiligheid

Varkens hebben behoefte aan rust en veiligheid (rugdekking) tijdens het mesten en urineren. Ze nemen een (onderstandige) tamelijk kwetsbare houding aan waarbij interactie met hokgenoten tot verstoring leidt. Ook een stroeve en vlakke ondergrond is nodig voor een stabiele lichaamshouding om bijvoorbeeld uitglijden te voorkomen. Van varkens is geen territoriale afbakening met mest en/of urine bewezen, maar er zijn wel indicaties dat varkens bij voorkeur mesten in hoeken van het hok waarnaast andere varkens zijn gehuisvest. Sturing van het lig- en mestgedrag is ook mogelijk door de ligplaats aantrekkelijk te maken als ligplaats, bijvoorbeeld door een zachte ondergrond aan te bieden.

Klimaat

Een rustplaats die qua temperatuur binnen de comfortzone valt heeft sterk de voorkeur. Koudere of warmere plekken of plekken met hoge luchtsnelheden (tocht) zijn minder geschikt om te liggen en zullen dus eerder als mestplek gebruikt worden. Met wisselende windrichtingen, neerslag of stand van de zon kan de keuze van de lig- en mestplaats van biologische varkens ook tijdens de dag veranderen. Dit geldt met name voor de buitenuitloop. Als varkens zich op een warme zomerdag door de mest rollen, dan doen ze dat vooral om zich te koelen bij gebrek aan een vochtige zoelplek of een modderbad. Een goede koelgelegenheid door periodiek buiten te sproeien bij hoge omgevings-temperaturen kan helpen om de dichte vloer schoon te houden. De ligplaats kiezen varkens bij voorkeur in een wat schemerachtige omgeving, onder een "bladerdak", terwijl ze actief zijn in een gebied met een hogere lichtintensiteit. Ook met de verlichtingsintensiteit kan het mestgedrag dus gestuurd worden.

Hokvorm

Als varkens willen mesten of urineren lopen ze weg van hun ligplaats. In een hok dat breder is dan diep lopen ze al snel in de breedterichting naar de zijkant van het hok om hun behoefte te doen. In

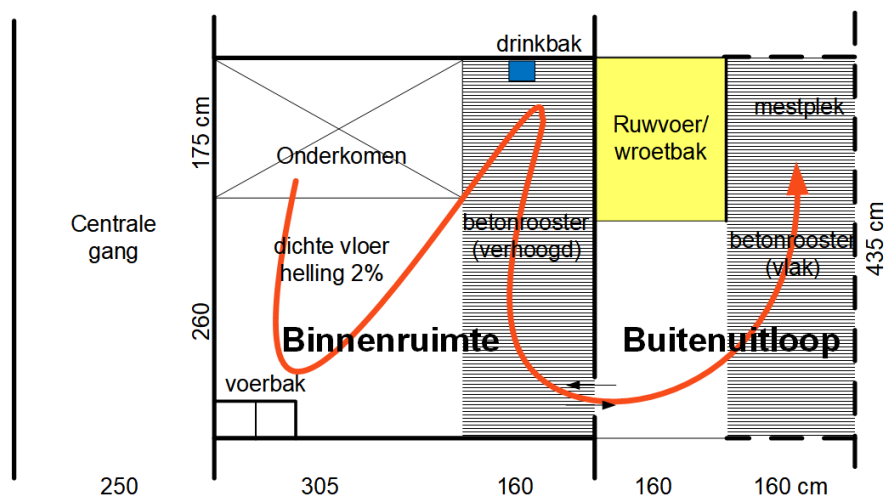
een smal hok dat dieper is dan breed lopen ze al snel zo ver mogelijk naar achteren wanneer liggen en eten voorin het hok plaatsvinden. Als er dan ook nog een uitloop is dan kiezen ze bij voorkeur voor de uitloop omdat deze de meeste rust en veiligheid biedt en omdat de stalruimte wordt gezien als de ligplek. In gangbare hokken is de geadviseerde verhouding tussen diepte en breedte 2:1. Voor biologische hokken zijn er geen harde adviezen, maar ook daar is met een diep, smal hok beter te sturen dan met een breed ondiep hok. Het afschot van de dichte vloer in de binnenruimte kan 1-2% zijn, in de buitenruimte bij de mestplek kan 3-4% nodig zijn om de vloer enigszins droog te houden.

Hokinrichting

Het algemene advies is om dichte hokafscheidings te gebruiken bij de dichte vloer en hekwerk bij roostervloeren [4]. In de uitloop zijn volledig dichte afscheidingen wel zinvol tussen afdelingen om overdracht van ziektekiemen via direct contact te voorkomen. Aan de achterzijde van de uitloop kan de onderste helft van het hekwerk het best dicht zijn om te voorkomen dat mest en urine buiten de uitloop terecht komen. Een paar stappen uit de buurt van een drinkbak of -nippel wordt ook veel gemest. Door het verplaatsen van de drinkbak of -nippel kan het mestgedrag gestuurd worden. Als een deurtje of flappen in de doorloop naar buiten niet goed afsluiten kan bij de deur in de stal ook een mestplek ontstaan, vanwege de tocht die hierdoor kan ontstaan.

Looplijnen

Plekken waar veel activiteit is met varkens die heen en weer lopen zijn niet aantrekkelijk voor mest en urinegedrag omdat er onvoldoende rust is. Vergelijk het met een rivier met een hoge stroomsnelheid waar het smal is, en waar het slib pas bezinkt als de rivier breed is en de stroomsnelheid laag. Door zowel drukke als rustige plekken te creëren, kan het mestgedrag worden gestuurd. In Figuur 1 wordt een voorbeeld gegeven van een looplijn in een biologische varkensstal. Uit onderzoek van Ocepek et al. [5] blijkt overigens dat het drinkbakje beter op de uitloop kan worden geplaatst om bevuilding van de dichte vloer binnen te beperken. Belangrijk is echter dat het drinkbakje niet op de beoogde mestplaats wordt geplaatst, aangezien varkens vanwege de verhoogde activiteit rond de drinkbak, daar niet graag mesten.



Figuur 1 Voorbeeld van een looplijn voor biologische varkens met uitloop.

3.3 Dichte vloeren en roostervloeren

In de biologische varkenshouderij moet minimaal 50% van de vloer dicht zijn. Dit geldt zowel voor de binnen- als voor de buitenruimte. Binnen in de stal geeft dit in het algemeen weinig problemen, aangezien de varkens vooral in de uitloop mesten. Er wordt zelfs al regelmatig voor gekozen om binnen geen roostervloer aan te brengen, maar de gehele binnenruimte in te strooien. Dit kan wel tot enige vervuiling leiden vooral tegen de buitenwand waar de opening naar de uitloop is gesitueerd. Als hiervoor gekozen wordt dan moet het gemakkelijk zijn om het bevuilde stro(oisel) te verwijderen en vers stro(oisel) toe te voegen, bijvoorbeeld via afstortkokers i.c.m. een meeneemschuif.

Vanwege het risico op bevuilding tegen de buitenwand, wordt daar meestal nog een roostervloer aangebracht. Aangezien boven dit mestkanaal in het algemeen weinig wordt gemest en ook een deel van het stro(oisel) in dit mestkanaal terechtkomt, wordt hier vaak een schuif (onder de roostervloer) aangebracht om de stromest te verwijderen. Om er voor te zorgen dat de urine die hierin terechtkomt zich niet over het gehele oppervlak verspreid, wordt aanbevolen om de schuif op een hellende of een V-vormige vloer te plaatsen, zodat de urine direct via een giergoot wordt afgevoerd. De schuif zorgt er vervolgens voor dat de stromest regelmatig (één of meerdere keren per dag) wordt afgevoerd en deze zorgt er ook voor dat de giergoot gelijktijdig wordt schoongemaakt (bijvoorbeeld met behulp van de aandrijfketting). De mestschuif kan ook vervangen worden door een mestband. Dit kan een V-vormige, een hellende of een bolle mestband zijn. In alle gevallen stroomt de urine naar de zijkant weg. Dit betekent dat bij een hellende en bolle mestband respectievelijk een giergoot (hellend) nodig is of giergoten (bol) nodig zijn om de urine af te voeren. Ook deze giergoten moeten schoongemaakt kunnen worden. Het liefst is dit geïntegreerd in de schuif, zodat bij elke keer schuiven ook de giergoten worden schoongemaakt. Aangezien de mestschuif bij elke keer schuiven een dunne mest/urine film creëert op de schuifvloer, is het aan te bevelen om de schuifvloer na elke schuifbeurt te sproeien met water.

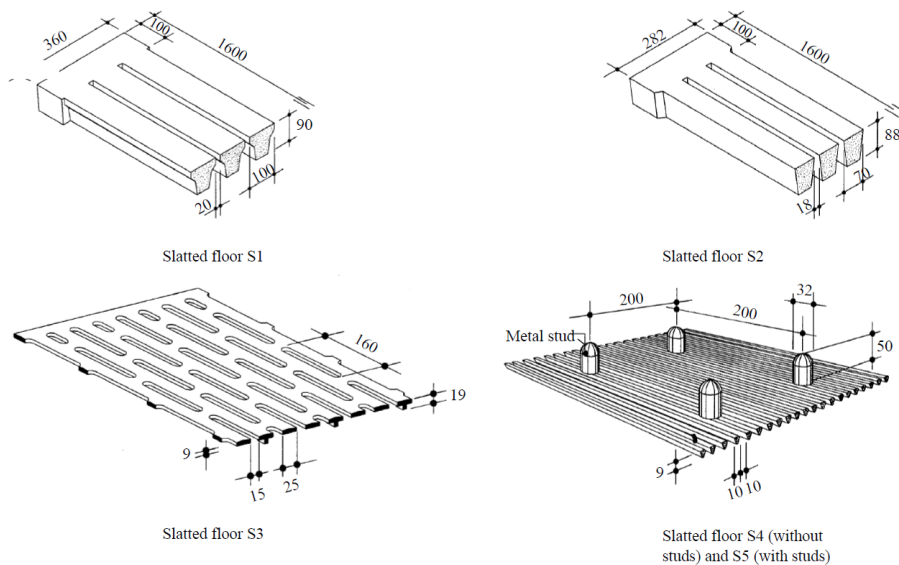
In de uitloop is het veel moeilijker om de dichte vloer zodanig te situeren dat er weinig bevuilding optreedt. Dichte vloeren worden bij voorkeur bol uitgevoerd zodat de urine naar beide kanten af kan stromen. In de praktijk betekent dit meestal dat er een mestkanaal direct tegen de stal, bij de uitloopopening, wordt gemaakt en tegen de achterkant van de uitloop. Boven dit laatste kanaal wordt meestal het meeste gemest, aangezien deze locatie het verst weg ligt ten opzichte van de lig- en de vreetplaatsen. Als de uitloop vrij breed is, gaan varkens ook vaak tegen de zijwand van het hok mesten. Om het risico van bevuilding van de dichte vloer te minimaliseren heeft het de voorkeur om ook tegen de zijwanden roosters aan te brengen, zodat in het midden van de uitloop een soort eiland ontstaat van de dichte vloer. Deze dichte vloer is naar alle kanten hellend uitgevoerd. Deze vloer kan ook vlak worden uitgevoerd als het bestaat uit elementen met smalle spleten of urine afvoergaten. Een dichte vloer is volgens de definities dicht als de gier-doorlatende openingen in de vloer niet meer bedraagt dan 5% van de totale oppervlakte van het dichte deel van de vloer, de breedte van gier-doorlatende spleten ten hoogste 10 mm en de doorsnede van ronde gier-doorlatende openingen ten hoogste 20 mm bedraagt [6]. Bij toepassing van gier-doorlatende openingen moet wel de gehele uitloop worden voorzien van mest- of waterkanalen of urinegoten. In de rest van dit rapport worden deze gier-doorlatende vloeren ook wel berenroosters genoemd.

Om bevuilding van de dichte vloer te voorkomen is, naast de situering zoals hiervoor is aangegeven, het van belang om voldoende activiteit op deze vloer te creëren. Activiteit kan gecreëerd worden door het plaatsen van een wroetbak en het plaatsen van speeltjes / afleidingsmateriaal (touw, ketting, jutezak). Zoals in de vorige paragraaf aangegeven zoeken varkens een rustige plek op om te mesten. Wanneer op een plek veel activiteit is, zullen ze daar niet zo snel gaan mesten.

Goed mest doorlatende roosters kunnen ook bijdragen aan het verlagen van de ammoniakemissie. Uit onderzoek is gebleken dat toepassing van driekantroosters in vleesvarkenstallen de ammoniakemissie significant kan beperken [7]. De ammoniakemissie wordt vooral beperkt door het geringe emitterende oppervlak van het driekantrooster in combinatie met het feit dat bacteriën zich minder goed kunnen hechten aan het gladde staal, waardoor de urease-activiteit sterk wordt verlaagd. Driekantroosters hebben een betere mestdoorlaat dan betonnen roosters. Dit geeft niet alleen minder bevuilding van de roostervloer, maar ook van de dichte vloer en van de dieren [8, 9]. Dit is waarschijnlijk een belangrijke reden dat de vleesvarkens in het onderzoek van Hoofs [8] minder problemen hadden met diarree. Onderzoek in de jaren '90 bij guste en dragende zeugen in voerligboxen liet echter zien dat zeugen op metalen driekantroosters soms uitglijden bij het gaan staan [9]. Ook uit onderzoek bij vleesvarkens bleek dat de beloopbaarheid niet optimaal is, ondanks het feit dat deze driekantroosters enige profilering hadden [10]. Daarom lijken driekantroosters uit oogpunt van dierenwelzijn minder geschikt voor toepassing in stallen voor guste en dragende zeugen.

In het onderzoek van Aarnink et al. [7] werden de ammoniakemissies van metalen driekantroosters vergeleken met die van een standaard betonnen roostervloer. In Figuur 2 worden schematische

tekeningen gegeven van deze roostervloeren. Het metalen driekantrooster (25% van het hokoppervlak) werd zowel met als zonder noppen onderzocht. De noppen waren geen onderdeel van het standaard driekantrooster, maar werden daar later in het kader van het onderzoek op bevestigd. Deze noppen moesten voorkomen dat de dieren op dit deel van de roostervloer (16% van het roosteroppervlak) gingen liggen. Alhoewel dit effectief bleek te zijn wordt dit weinig toegepast, waarschijnlijk omdat de mestdoorlaat minder wordt. Daarnaast werd in dit onderzoek ook een gietijzeren rooster getest en een betonnen rooster met smallere balken (7 cm i.p.v. 10 cm).



Figuur 2 Schematische tekeningen van de 5 roostertypen in het onderzoek van Aarnink et al. [7]. S1 = standaard betonnen rooster; S2 = standaard betonnen rooster met smalle balken; S3 = gietijzeren rooster; S4 = metalen driekantrooster zonder noppen; S5 = metalen driekantroosters met noppen.

Uit voornoemd onderzoek bij reguliere vleesvarkens kwam naar voren dat de totale ammoniakemissie uit de stal door toepassing van metalen driekantroosters zonder noppen met 27% werd gereduceerd ten opzichte van een standaard betonnen rooster. Omgerekend betekent dit een ammoniakreductie vanaf de vloer van 67%. Tussen de andere typen roostervloeren werd weinig verschil in ammoniakemissie gevonden. Een nadeel van metalen driekantroosters ten opzichte van betonnen roosters is, naast de verminderde beloopbaarheid, dat ze duurder zijn en uit praktijkervaringen blijkt dat ze minder lang meegaan.

Metalen driekantroosters kunnen in verschillende typen worden verkregen. Zo zijn er gladde driekantroosters en driekantroosters met een profiel. De meeste driekantroosters hebben tegenwoordig enige profilering aan de bovenkant. Praktijkervaringen laten zien dat dit het uitglijden enigszins kan verminderen, maar niet voorkomen. Daarnaast zijn er verschillende maatvoeringen van spleet- en balkbreedtes, variërend voor beiden tussen de 8 en 15 mm. De smallere spleten en balken worden in het algemeen bij biggen (gespeende biggen en kraamhokken) toegepast en de bredere uitvoeringen bij vleesvarkens en zeugen.

Er is weinig informatie te vinden in de literatuur over het effect van metalen driekantroosters op de beloopbaarheid van varkens. Vermeer & Vermeij [11] geven aan dat kraamzeugen die gehuisvest waren op traditionele metalen driekantroosters een slechtere beenwerkscore voor de achterpoten hadden dan de zeugen op (gecoate) gietijzeren roosters. Dit kwam vooral door meer en ergere huidverwondingen. Tevens zaten deze zeugen vaker in de onnatuurlijke 'hondenzit'. Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt doordat de zeugen minder gemakkelijk op deze gladde roosters konden manoeuvreren. Aarnink et al. [10] vonden in een looptest, waarbij vleesvarkens zigzaggend over een parcours moesten lopen met verschillende roostertypen, dat de dieren op het metalen driekantrooster beduidend meer slips maakten dan op betonnen en composiet roostervloeren. In Figuur 3 worden foto's van de verschillende onderzochte roostervloeren getoond. Het driekantrooster in dit onderzoek

was voorzien van profilering. In hetzelfde onderzoek werd tevens gevonden dat de vleesvarkens de dichte vloer meer bevuilden bij toepassing van driekantroosters dan bij toepassing van betonnen of composiet roosters. Blijkbaar staan de dieren minder stabiel op een metalen driekantrooster-vloer, waardoor ze, indien daarvoor ruimte beschikbaar is, de voorkeur geven aan het mesten op een dichte vloer. Bij biologisch gehuisveste varkens zal daarom het risico op bevuilding van de dichte vloer waarschijnlijk toenemen bij toepassing van metalen driekantroosters.

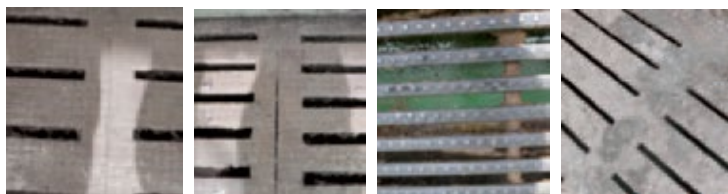


Foto 1

Foto 2

Foto 3

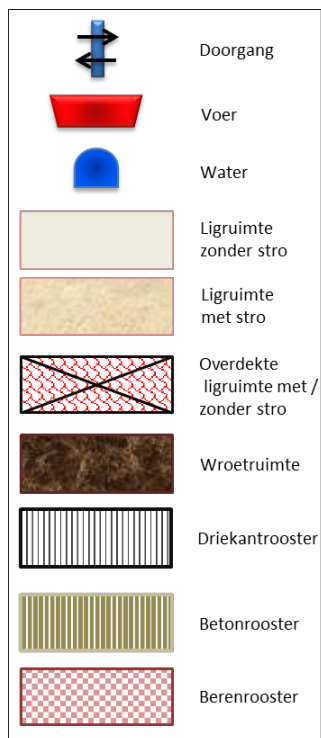
Foto 4

Figuur 3 Foto's van de verschillende typen roostervloeren in het onderzoek van Aarnink et al. [10]. Foto 1 = composietrooster 8 cm brede balk; Foto 2 = composietrooster 4 cm brede balk; Foto 3 = metalen driekantrooster met profiel 1 cm brede balk; Foto 4 = betonrooster 8 cm brede balk.

Uit voorgaande blijkt dat de situering en de uitvoering van dichte vloeren en roostervloeren van groot belang is om hokbevuilding te voorkomen. Reduceren van de ammoniakemissie in de biologische varkenshouderij begint met het schoonhouden van de dichte vloeren. Hiervoor is een uitgekiend hokontwerp nodig dat de varkens stuurt om op de goede plaats te mesten. Toepassing van bolle dichte vloeren, roosters aan de voor- en achterzijde van de uitloop en bij voorkeur ook nog aan de zijkanten, kunnen de bevuilding verder beperken. De bevuilding wordt tevens beperkt door toepassing van gier-doorlatende openingen in de dichte vloer. Dit laatste geeft echter wel een groter emitterend oppervlak van de onderliggende mestkanalen. Emissies uit deze mestkanalen kunnen worden voorkomen door hier waterkanalen van te maken waardoor de urine die hierin terecht komt sterk wordt verdund met water.

3.4 Ontwerpen om hokbevuiling te beperken

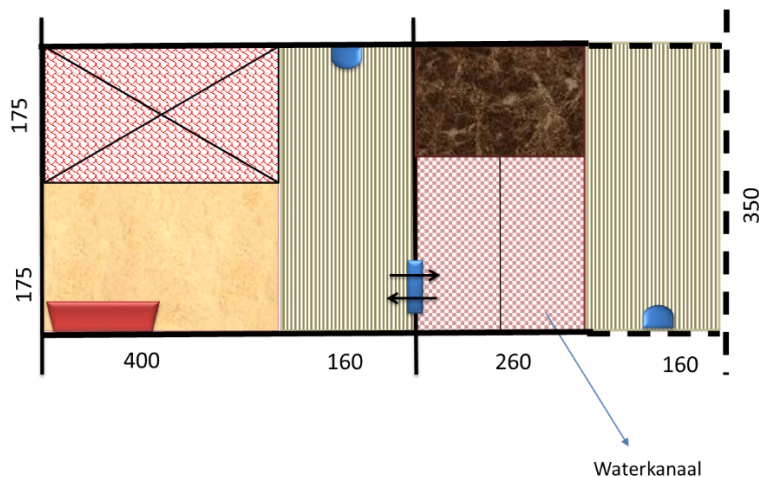
In deze paragraaf worden een aantal mogelijke ontwerpen weergegeven om de hokbevuiling (bevuiling van de dichte vloeren) te beperken. Deze ontwerpen zijn deels gebaseerd op ontwerpen die eerder zijn gerapporteerd in [12]. Bij de figuren zal steeds een korte beschrijving worden gegeven van de betreffende ontwerpen. In Figuur 4 wordt de legenda voor de verschillende ontwerpschetsen weergegeven.



Figuur 4 Legenda voor de verschillende ontwerpschetsen in deze paragraaf. Een berenrooster is een dichte vloer met maximaal 5% openingen.

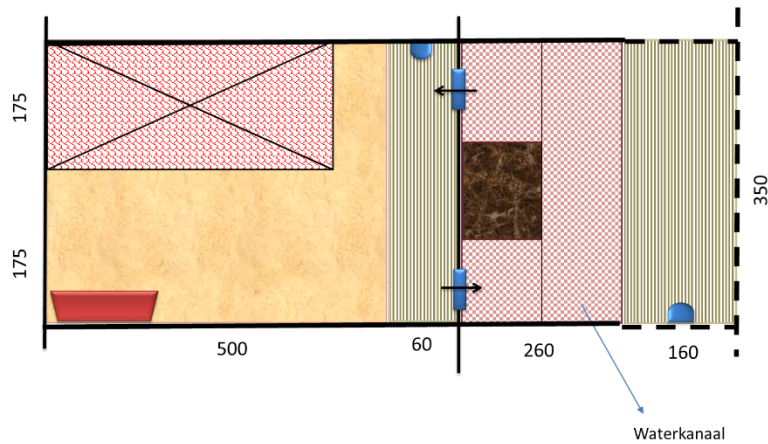
Ontwerpen vleesvarkens

Figuur 5 geeft een hokontwerp voor 15 vleesvarkens weer. Het binnenhok bestaat uit een dichte vloer van 3,5 m x 4,0 m welke bedekt is met stro. De helft hiervan wordt overdekt met een onderkruip met er tegenover een voerbak. De rest van het hok bestaat uit roostervloer van 1,6 m x 3,5 m met een drinknippel/-bakje boven het rooster. De uitloop bestaat uit een berenrooster van 2,6 m x 3,5 m waarop tegen de zijmuur een wroetbak gevestigd is. De rest van de uitloop bestaat uit roostervloer van 1,6 x 3,5 m, waarboven een drinknippel gevestigd is. De hokafscheidings op de roostervloer van de uitloop bestaan uit spijlen.



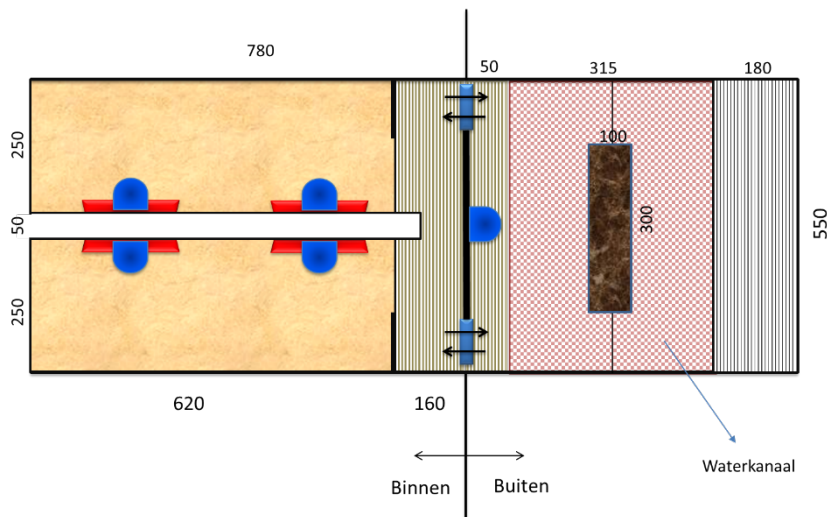
Figuur 5 Hokontwerp voor 15 vleesvarkens. Aangegeven maten zijn in centimeters.

Figuur 6 geeft ook een hokontwerp voor 15 vleesvarkens. Het binnenhok bestaat uit een dichte vloer van 3,5 m x 5,0 m welke bedekt is met stro. De helft hiervan wordt overdekt met een onderkruip met er tegenover een voerbak. De rest van het hok bestaat uit betonroostervloer van 0,6 m x 3,5 m met een drinknippel/-bakje boven het rooster. Er is één ingang en één uitgang aanwezig tussen het binnen hok en de uitloop. Dit is gedaan om, aan beide kanten van de uitloop tegen de stal aan, voldoende activiteit te creëren om hokbevuiling in die hoeken te beperken. De uitloop bestaat uit een berenrooster van 2,6 m x 3,5 m waarop tussen de in- en uitgang naar de uitloop een wroetbak gevestigd is. De rest van de uitloop bestaat uit een betonroostervloer van 1,6 x 3,5 m, waarboven een drinknippel/-bakje is geplaatst. De hokafscheidings op de roostervloer van de uitloop bestaan uit spijlen.



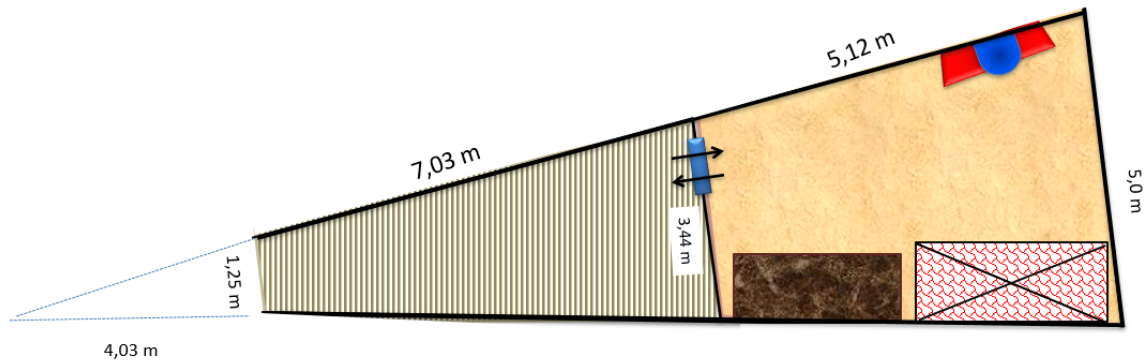
Figuur 6 Hokontwerp voor 15 vleesvarkens. Aangegeven maten zijn in centimeters.

Figuur 7 geeft een hokontwerp voor 30 vleesvarkens. Het binnenhok bestaan uit een combinatie van twee hokken met een dichte vloer van 2,5 x 6,2 m, welke bedekt is met stro. Tegen een zijmuur staan twee voerbakken met een ingebouwde drinknippel. De rest van het hok bestaat uit een roostervloer van 1,6 x 2,5 m. Op de roostervloer is een korte afscheiding geplaatst om tocht vanuit de uitgang naar de uitloop tegen te gaan. De uitloop begint met een roostervloer van 0,5 x 5,5 m, waarop een waternippel gevestigd is. Vervolgens ligt er een berenrooster van 3,13 x 5,5 m met een wroetbak van 3,0 x 1,0 m; aan het eind van de uitloop ligt een metalen driekantrooster van 1,8 x 5,5 m.



Figuur 7 Hokontwerp voor 30 vleesvarkens. Aangegeven maten zijn in centimeters.

Figuur 8 geeft een hokontwerp voor 16 vleesvarkens. Dit ontwerp maakt deel uit van een ronde stal, wat resulteert in schuine wanden binnen een hok. Het binnen hok bevat een dichte vloer van 5,0 x 5,12 m, welke bedekt is met stro. Tegen een zijmuur zijn een onderkruip en een wroetbak gevestigd, met aan de overkant tegen de muur een voerbak met ingebouwde drinknippel. De uitloop bestaat geheel uit een roostervloer van 3,44 x 7,03 m.



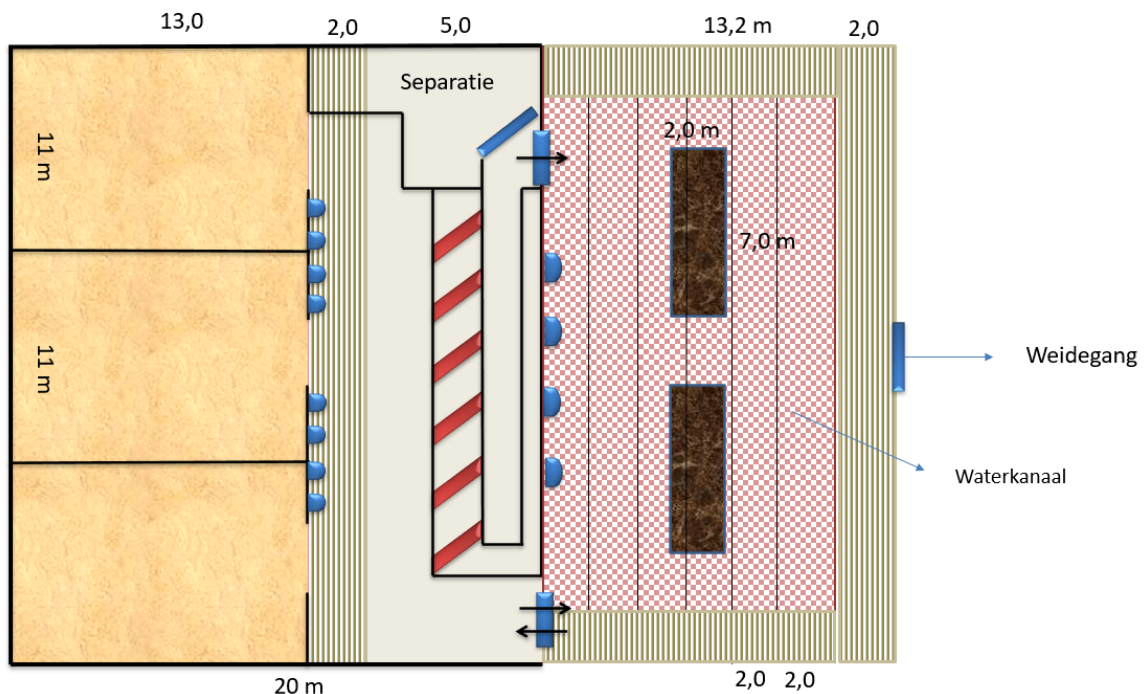
Figuur 8 Hokontwerp voor 16 vleesvarkens. Aangegeven maten zijn in centimeters.

Ontwerpen gespeende biggen

De ontwerpen van de gespeende biggen zijn gelijk aan die voor de vleesvarkens, alleen met verhoudingsgewijs kleinere hokmaten.

Ontwerpen Dragende zeugen

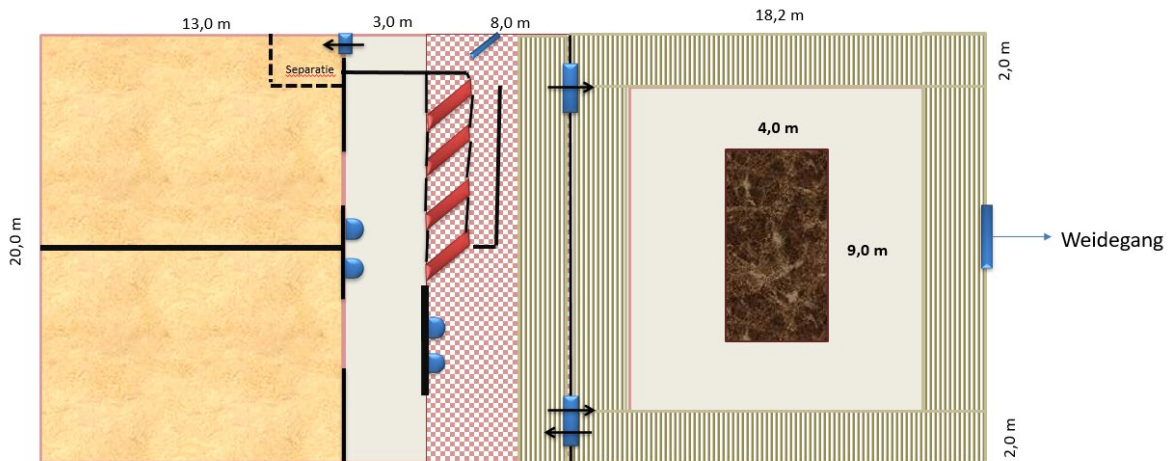
In Figuur 9 wordt een hokontwerp weergegeven voor 260 dragende zeugen. Het binnenhok bestaat uit drie verschillende ligplaatsen met dichte vloer en bedekking met stro van 11,0 x 13,0 m. Daarnaast ligt een strook roostervloer van 2,0 x 33,0 m met erboven drinknippels. Voerstations zijn gevestigd op een dichte vloer van 5,0 x 33,0 m, welke vervolgens uitkomen op een uitgang richting de uitloop of een separatuimte. De uitloop bestaat uit een berenrooster van 29,0 x 13,2 m, waarop twee wroetbakken zijn geplaatst van 7,0 x 2,0 m; rondom het berenrooster is een roostervloer geplaatst van 2,0m breed.



Figuur 9 Hokontwerp voor 260 dragende zeugen. Aangegeven maten zijn in centimeters.

Figuur 10 geeft een hokontwerp voor 190 dragende zeugen. Het binnenhok bestaat uit twee verschillende ligplaatsen met dichte vloer en bedekking met stro van 10,0 x 13,0 m. Daarnaast ligt

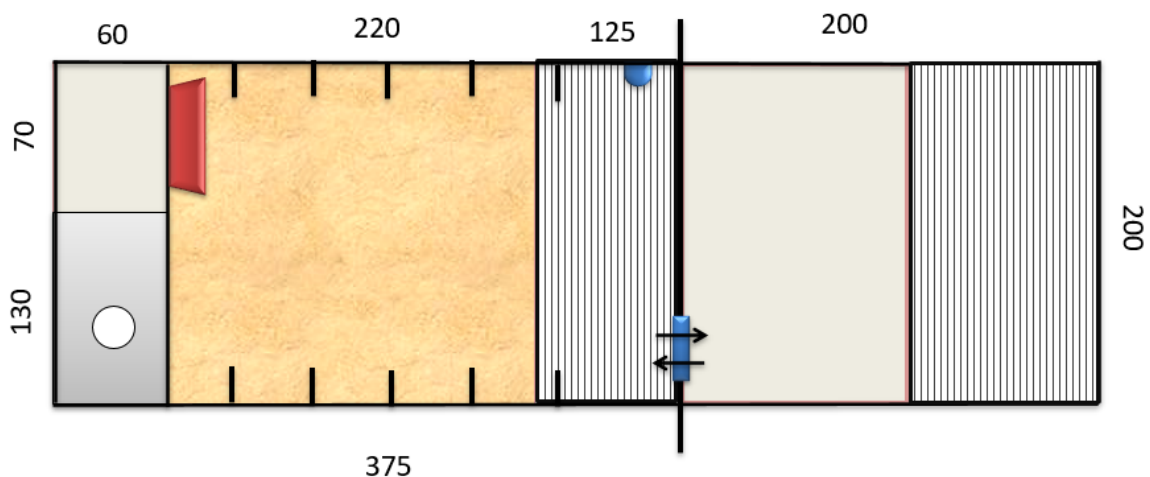
een strook dichte vloer van 3,0 x 20,0 m met drinknippels/-bakjes erboven. Voerstations zijn geplaatst op een berenrooster van 8,0 x 20,0 m, welke vervolgens uitkomen bij een uitgang richting de uitloop, een separatuimte of teruggang richting het binnen hok. Boven het berenrooster zijn twee drinknippels/-bakjes geplaatst. De uitloop bestaat uit een eiland van dichte vloer van 14,2 x 16,0 m met een wroetbak van 9,0 x 4,0 m. Om de dichte vloer ligt roostervloer van 2,0 m breed.



Figuur 10 Hokontwerp voor 190 dragende zeugen. Aangegeven maten zijn in centimeters.

Kraamzeugen

In Figuur 11 wordt een ontwerp gegeven van een kraamhok. Het binnenhok bestaat uit een dichte vloer met stro van 2,2 x 2,0 m, met hierop een voerbak geplaatst. De rest bestaat uit een metaal driekantrooster van 1,25 x 2,0 m, met een drinknippel/-bakje erboven. Langs de zijmuren zijn spijlen gevestigd, welke doodliggen moeten voorkomen. De uitloop bestaat uit een dichte vloer van 1,0 x 2,0 m en een metalen driekantrooster van 1,0 x 2,0 m. Een alternatief ontwerp voor dit kraamhok is een binnenhok zonder roostervloer. Het binnenhok bestaat volledig uit een dichte vloer met stro van 3,75 x 2,0 m, met hierop een voerbak en drinknippel/-bakje bevestigd. Langs de zijmuren zijn spijlen bevestigd die doodliggen van de biggen moeten voorkomen. De uitloop is gelijk aan die in Figuur 11.



Figuur 11 Hokontwerp voor kraamzeugen. Aangegeven maten zijn in centimeters.

De ontwerpen opgenomen in deze paragraaf zijn voorbeelden van ontwerpen waarvan we verwachten dat die de bevuilding van de dichte vloer in de stal en van de dichte vloer in de uitloop kunnen beperken. Door deze ontwerpen te combineren met één of meerdere opties om de ammoniakemissie uit de mestkelders te verminderen (Hoofdstuk 2), kunnen flinke totale ammoniakreducties worden gerealiseerd. Het effect van vermindering van vloerbevuilding via optimale hokontwerpen op de ammoniakemissie, al dan niet in combinatie met maatregelen in de mestkelder, is ingeschat in het volgende hoofdstuk.

4 Inschatting ammoniakemissies

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 4.1 eerst een inschatting gemaakt van de ammoniakemissie in huidige biologische varkensstallen. Deze inschatting is gebaseerd op kennis die beschikbaar is van ammoniakemissies in de reguliere varkenshouderij. Voor de reguliere varkenshouderij is een rekenmodel ontwikkeld om de ammoniakemissie in te schatten op basis van emissies per m² emitterend oppervlak en de grootte van het emitterend oppervlak (bevuilde vloer en oppervlak van de mestkelders). Om de extrapolatie van regulier naar biologisch te kunnen maken moest extra informatie worden verzameld op biologische varkensbedrijven. Deze extra informatie is verkregen via metingen en via expert kennis.

4.1 Berekening van referentie ammoniakemissies

Voor berekening van de referentie ammoniakemissies voor biologische stallen gaan we uit van de referentie-emissies van reguliere stallen. De volgende emissies zijn hierbij van belang:

- Ammoniakemissie per m² emitterend kelderoppervlak (zonder emissie-reducerende maatregelen).
- Ammoniakemissie per m² emitterend (met urine) bevuilde oppervlak van de dichte vloer.
- Ammoniakemissie vanaf de roostervloer per dierplaats.

Tussen biologische stallen en reguliere stallen zijn een aantal verschillen aan te wijzen die de referentie ammoniakemissies kunnen beïnvloeden:

- De temperatuur van de bovenste laag van het emitterende oppervlak.
- De luchtsnelheid boven het emitterende oppervlak.
- De voersamenstelling, met name het eiwitgehalte van het voer.
- Verdunning van de mest met regenwater.

In Bijlage 3 worden de resultaten gegeven van de metingen op twee biologische varkensbedrijven. Voor extrapolatie van de emissies in de reguliere varkenshouderij naar de biologische varkenshouderij zijn vooral de verschillen in temperaturen van de emitterende oppervlakken en de verschillen in luchtsnelheden boven de emitterende oppervlakken van belang. De metingen, vermeld in Bijlage 3, zijn gedaan in de periode februari tot en met oktober 2021. Er missen een paar maanden in deze metingen, waardoor ze niet geheel representatief zijn voor het gehele jaar. Daarom worden de gemiddelde temperaturen van de emitterende oppervlakken en de luchtsnelheden boven de emitterende oppervlakken eerst gecorrigeerd met behulp van gegevens van het KNMI. Dit wordt gedaan door de relaties vast te stellen tussen de temperaturen en windsnelheden zoals gemeten door het KNMI bij het dichtstbijzijnde weerstation en de gemeten temperaturen en luchtsnelheden zoals gemeten op de biologische bedrijven. Vervolgens wordt met behulp van deze relaties het gemiddelde voor het gehele jaar vastgesteld.

De volgende relaties werden gevonden tussen de temperatuur van het KNMI (T_{KNMI}) bij het dichtstbijzijnde weerstation aan de ene kant en de oppervlaktetemperatuur van de mest in de mestkelder in de uitloop ($T_{\text{mest_uitloop}}$) en de luchttemperatuur boven de vloer ($T_{\text{vloer_uitloop}}$) aan de andere kant:

$$T_{\text{mest_uitloop}} = 0,574 T_{\text{KNMI}} + 6,14 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_{\text{vloer_uitloop}} = 0,983 T_{\text{KNMI}} + 1,80 \quad (^\circ\text{C})$$

Op basis van de gemiddelde temperatuur van het KNMI in de Bilt in de periode van 2011 – 2019 van 10,95°C kan een gemiddelde oppervlakte temperatuur van de mest in de uitloop (T_{mest}) worden berekend van 12,4°C en van 12,6°C voor de temperatuur van de lucht boven de vloer van de uitloop.

De volgende relaties werden gevonden tussen de windsnelheid gemeten door het KNMI (V_{KNMI}) bij het dichtstbijzijnde weerstation aan de ene kant en de luchtsnelheid boven de mest in de mestkelder in de uitloop ($V_{\text{mest_uitloop}}$) en de luchtsnelheid boven de vloer ($V_{\text{vloer_uitloop}}$) aan de andere kant:

$$V_{\text{mest_uitloop}} = 0,0419 V_{\text{KNMI}} + 0,187 \quad (\text{m/s})$$

$$V_{\text{vloer_uitloop}} = 0,110 V_{\text{KNMI}} + 0,169 \quad (\text{m/s})$$

Op basis van de gemiddelde windsnelheid van het KNMI in de Bilt in de periode van 2011 – 2019 van 3,7 m/s kan een gemiddelde luchtsnelheid boven de mest in de mestkelder van de uitloop (V_{mest}) worden berekend van 0,34 m/s en van 0,58 m/s voor de luchtsnelheid boven de vloer van de uitloop.

Voor het inschatten van de temperaturen van de emitterende oppervlakken en de luchtsnelheden boven de emitterende oppervlakken binnen in de stal is gebruik gemaakt van de volgende empirische relaties zoals opgenomen in het rapport van Aarnink et al. [13]:

$$T_{\text{mest_binnen}} = 0,735 T_{\text{uitgaand}} + 1,85 \quad (^\circ\text{C})$$

$$V_{\text{mest_binnen}} = 14,2 \text{ Ventilatie}_{\text{m}^2} + 0,091 \quad (\text{m/s})$$

Waarin: $T_{\text{mest_binnen}}$ en $V_{\text{mest_binnen}}$ respectievelijk de oppervlaktetemperatuur van de mest en de luchtsnelheid boven de mest in de mestkelder zijn; T_{uitgaand} de temperatuur van de uitgaande stallucht is en $\text{Ventilatie}_{\text{m}^2}$ het ventilatiedebiet per m^2 staloppervlak is.

We veronderstellen dat de temperatuur van bevuilde vloeroppervlakken gelijk is aan die van de uitgaande stallucht.

In Tabel 3 wordt voor de verschillende categorieën reguliere varkens het ingeschatte gemiddelde ventilatiedebiet in m^3/uur , de staloppervlaktes per dier, de ventilatie per m^2 staloppervlak en de daaruit berekende luchtsnelheden boven het emitterend mestoppervlak in de mestkelder weergegeven.

Tabel 3 *Inschatting gemiddelde luchtsnelheid over het emitterend mestoppervlak in de mestkelder op basis van het ventilatiedebiet per m^2 staloppervlak voor de verschillende categorieën varkens.*

Diercategorie	Ventilatie (m^3/uur)	Staloppervlakte (m^2/dier)	Ventilatie per m^2 ($\text{m}^3/\text{s per m}^2$)	Luchtsnelheid ($V_{\text{mest_binnen}}$, m/s)
Vleesvarkens	35	1,00	0,00972	0,23
Biggen	10	0,40	0,00694	0,19
Dragende zeugen	75	2,50	0,00833	0,21
Kraamzeugen	100	5,50	0,00505	0,16

Gebaseerd op de hiervoor opgenomen relaties en gegevens is in Tabel 4 een inschatting gemaakt van de verschillen in gemiddelde waarden bij regulier en biologisch gehouden varkens van de factoren die de ammoniakemissie beïnvloeden. In het onderzoek van Aarnink et al. [13] werd geen significante relatie gevonden tussen de luchtsnelheid gemeten net boven het met urine bevuilde vloeroppervlak in de stal en het ventilatiedebiet. Daarom wordt een constante luchtsnelheid aangehouden (gemiddelde van alle metingen in voornoemd onderzoek) van 0,15 m/s. Voor biologische varkens wordt verondersteld dat de luchtsnelheid in de stal (boven de mest en op de vloer) vergelijkbaar is met reguliere varkens.

Tabel 4 Verschillen in gemiddelde waarden van ammoniakemissie beïnvloedende factoren tussen regulier (R) en biologisch (B) gehouden varkens; T = temperatuur (°C); V= luchtsnelheid (m/s).

Factor	Vleesvarkens		Biggen		Dragende zeugen		Kraamzeugen	
	R	B	R	B	R	B	R	B
T mest uitloop		12,4		12,4		12,4		12,4
T vloer uitloop		12,6		12,6		12,6		12,6
V mest uitloop		0,34		0,34		0,34		0,34
V vloer uitloop		0,58		0,58		0,58		0,58
T uitgaande lucht ¹	24,0	19,0	27,0	21,0	22,0	19,0	24,0	20,0
T mest binnen	19,5	15,8	21,7	17,3	18,0	15,8	19,5	16,6
T vloer binnen	24,0	19,0	27,0	21,0	22,0	19,0	24,0	20,0
V mest binnen	0,23	0,23	0,19	0,19	0,21	0,21	0,16	0,16
V vloer binnen	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Eiwitgehalte (g/kg)	165	169	180	177	135	140	158	170
Opp. mestopslag met regen (m ²) ²		0,25		0,10		0,48		0,63
Mestproductie (kg/j) ³		1200		500		2300		4000
Verdunning regen (kg/j)		218		87		415		546
Verdunningsfactor ⁴		1,18		1,17		1,18		1,14

¹ ingeschat op basis van klimaatinstellingen

² 25% van de oppervlakte van de uitloop (gelijk aan percentage dat minimaal onoverdekt moet zijn)

³ [14]

⁴ Hierbij is verondersteld dat de gehele mestproductie gelijkmatig wordt verdund.

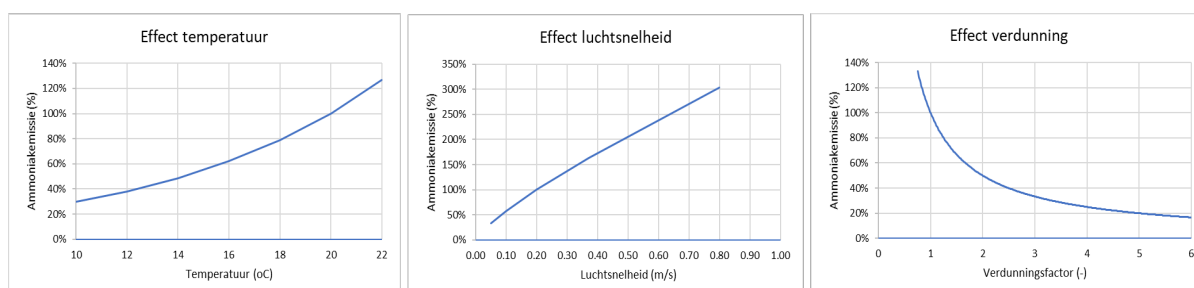
In Tabel 5 worden de emissies per m² emitterend oppervlak gegeven voor een mestkelder en voor een bevulde vloer voor reguliere varkens. De ammoniakemissies per m² kelderoppervlak zijn gebaseerd op de uitgangspunten uit het rapport van Aarnink et al. [12]. In dat rapport is de inschatting van de emissies per m² gebaseerd op de emissiefactoren voor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst. Door hier vanuit te gaan wordt voor biologische varkens ook een directe koppeling gemaakt met de Rav-lijst. Voor de ammoniakemissies per m² bevulde vloeroppervlak blijkt uit het rapport van Aarnink et al. [12] dat deze vrijwel gelijk zijn, behalve bij de biggen, aan de emissies per m² mestkelderoppervlak. Voor de eenvoud en consistentie zijn deze daarom aan elkaar gelijk gesteld (ook bij de biggen). Via de in Tabel 5 aangegeven omrekeningsfactoren is vervolgens een inschatting gemaakt van de emissies per m² emitterend oppervlak voor biologische stallen. Deze omrekeningsfactoren zijn voor temperatuur, luchtsnelheid en verdunning bepaald op basis van modelmatige relaties tussen deze variabelen en de ammoniakemissie [2]. Deze relaties worden weergegeven in Figuur 12. Voor correctie van de ammoniakemissie voor het eiwitgehalte van het voer is uitgegaan van 10% ammoniakverhoging of -verlaging bij een verhoging of verlaging van het eiwitgehalte van het voer van 10 g/kg (zie par. 5.1). Nemen we de ammoniakemissie in een biologische stal vanuit een mestkelder binnen als voorbeeld, dan is deze als volgt berekend: ammoniakemissie reguliere stal uit mestkelder binnen x Cor. T x Cor. V x Cor. eiwit x Cor. verdunning = 4,2 x 0,64 x 1,00 x 1,04 x 1,00 = 2,8 kg/(m² j).

Tabel 5 Ammoniakemissie per m² emitterend oppervlak van de mestkelder en van een bevuilde (rooster)vloer voor de reguliere stal en voor biologische stallen. Voor biologische stallen is deze berekend met behulp van correctiefactoren (Cor.) vanuit de reguliere stal. De ammoniakemissie in de reguliere stal in kg/m² per jaar is gebaseerd op Aarnink et al. [12] en de overwegingen die genoemd zijn in de tekst van dit rapport.

Categorie - emitterend opp.	Reguliere stal (kg/(m ² j))	Cor. T ¹	Cor. V ^{1,2}	Cor. eiwit ¹	Cor. verduunning ¹	Biologische stal (kg/(m ² j)) ²
Vleesvarkens						
- Mestkelder binnen	4,2	0,64	1,00	1,04	1,00	2,8
- Bevuilde vloer binnen	4,2	0,56	1,00	1,04	1,00	2,4
- Mestkelder buiten	4,2	0,42	1,37 (1,0)	1,04	0,85	2,1 (1,55)
- Bevuilde vloer buiten	4,2	0,26	2,95	1,04	1,00	3,4
Biggen						
- Mestkelder binnen	2,2	0,59	1,00	1,03	1,00	1,3
- Bevuilde vloer binnen	2,2	0,50	1,00	1,03	1,00	1,1
- Mestkelder buiten	2,2	0,32	1,59 (1,0)	1,03	0,85	1,0 (0,62)
- Bevuilde vloer buiten	2,2	0,18	2,95	1,03	1,00	1,2
Dragende zeugen						
- Mestkelder binnen	2,4	0,77	1,00	1,05	1,00	1,9
- Bevuilde vloer binnen	2,4	0,70	1,00	1,05	1,00	1,8
- Mestkelder buiten	2,4	0,50	1,47 (1,0)	1,05	0,85	1,6 (1,07)
- Bevuilde vloer buiten	2,4	0,32	2,95	1,05	1,00	2,4
Kraamzeugen						
- Mestkelder binnen	1,9	0,70	1,00	1,12	1,00	1,5
- Bevuilde vloer binnen	1,9	0,63	1,00	1,12	1,00	1,3
- Mestkelder buiten	1,9	0,42	1,83 (1,0)	1,12	0,88	1,4 (0,79)
- Bevuilde vloer buiten	1,9	0,26	2,95	1,12	1,00	1,6

¹ Correctie (Cor.) voor verschil in respectievelijk temperatuur (T), luchtsnelheid (V), eiwitgehalte van het voer (eiwit) en verduunning a.g.v. regenwater tussen reguliere en biologisch varkensstallen.

² De getallen tussen haakjes geven de correctiefactor en de ammoniakemissie per m² per jaar bij toepassing van berenroosters



Figuur 12 Modelmatige relaties tussen de relatieve ammoniakemissie enerzijds en anderzijds respectievelijk de temperatuur van het emitterende oppervlak (20°C = 100%), luchtsnelheid boven het emitterend oppervlak (0,20 m/s = 100%) en verdunningsfactor van de mest (1 = 100%; 1 betekent geen verduunning) [2]. Deze relaties zijn gebruikt voor bepaling van de ammoniakemissie per m² emitterend oppervlak in biologische stallen in Tabel 5.

Voor de ammoniakemissie vanaf de roostervloer veronderstellen we een gelijke emissie aan die van de referentie (reguliere) stallen. Dit is een ruwe aanname, gebaseerd op de volgende overwegingen:

- De emissiesnelheid van eenzelfde emitterend oppervlak zal bij biologisch lager zijn dan bij regulier (zie Tabel 5).
- Het emitterend roosteroppervlak zal groter zijn bij biologisch dan bij regulier vanwege het grotere totale oppervlakte van het hok en daarmee ook (meestal) van de roostervloer.
- Door de dunne laag urine op de roostervloer zal de ammonium-stikstof voor een belangrijk deel vervluchtigen, onafhankelijk van de emissiesnelheid.

In Tabel 6 worden de ammoniakemissies vanaf de roostervloer gegeven voor de verschillende diercategorieën.

Tabel 6 Ammoniakemissie vanaf de roostervloer voor reguliere en biologische stallen.

Categorie	Type rooster	Ammoniakemissie ¹ (kg/(m ² j))
Vleesvarkens	Beton	0,75
Biggen	Metalen driekant	0,03
Dragende zeugen	Beton	1,20
Kraamzeugen	Metalen driekant	0,50

¹ Voor vleesvarkens en biggen gebaseerd op Groenestein et al. [15]; voor dragende zeugen ingeschat op basis van Aarnink et al. [13]; voor kraamzeugen is uitgegaan van driekantroosters, deze emissie is geëxtrapoleerd vanuit vleesvarkens.

In Tabel 7 is de (indicatief) ingeschatte ammoniakemissie gegeven voor referentie biologische varkensstallen en wordt deze vergeleken met de referentiewaarden voor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst. De referentiesystemen voor biologische varkens zijn gebaseerd op de huidige systemen, waarbij precies wordt voldaan aan de eisen van minimale oppervlakten per varken (bij vleesvarkens gelijk aan de eisen bij het eindgewicht). Er is uitgegaan van een roosterpercentage binnen van 20% en buiten van 50%. De roosters zijn zoals weergegeven in Tabel 6. Onder de roostervloer binnen ligt een mestschuif. Voor de berekening van de ammoniakemissie is er vanuit gegaan dat de schuifvloer gemiddeld voor 50% is bevuild met urine (en mest). Uit deze tabel blijkt dat de referentiewaarden voor biologische stallen voor vleesvarkens en dragende zeugen iets hoger liggen dan voor reguliere stallen. Voor biggen en kraamzeugen liggen deze waarden lager.

Tabel 7 Referentiewaarden van de ammoniakemissie in de Rav-lijst (www.rvo.nl) en de ingeschatte referentiewaarden voor biologische stallen.

Categorie	Referentiewaarde Rav-lijst (kg/j per varkensplaats)	Referentie biologische stal (kg/j per varkensplaats)
Vleesvarkens	3,0	3,5
Biggen	0,69	0,51
Dragende zeugen	4,2	5,2 ¹
Kraamzeugen	8,3	4,7

¹ Dit is exclusief de emissie tijdens weidegang

4.2 Tabel met inschattingen ammoniakemissies

Op basis van hoofdstukken 2 en 3 is in deze paragraaf een tabel samengesteld (Tabel 8) waarin verschillende opties voor ammoniakreductie van vloeremissies en van kelderemissies zijn gecombineerd. In deze tabel worden de indicatieve ammoniakemissies vanaf de vloer, vanuit de mestkelders en totaal gegeven voor de referentiestallen en voor de verschillende ontwerpen voor emissiearme stallen. Hiervoor zijn een aantal mogelijke combinaties gekozen, maar andere combinaties kunnen ook toegepast worden. Om de vloeremissie te verlagen is het vooral van belang om de bevuiling van de dichte vloeren te reduceren. Dit kan gerealiseerd worden door een goed hokontwerp te kiezen (zie par. 3.4 voor mogelijke ontwerpen) en de hokken niet te groot te maken (< 20 varkens per hok). Vooral bij dragende zeugen komt het vaak voor dat veel dieren in één groep zitten. Dit bemoeilijkt het maken van een hokontwerp met weinig bevuiling. Uit de berekende emissies blijkt dat toepassing van berenroosters in plaats van dichte vloeren altijd gepaard moet gaan met vermindering van de ammoniakemissie uit de mestkanalen daaronder, bijvoorbeeld door verdunning met water. Anders is een dichte vloer beter, tenzij daardoor veel extra vloerbevuiling optreedt. Vaak is het meest effectief om onder berenroosters waterkanalen te maken zodat de urine/gier die hierin terecht komt voldoende wordt verdund om de ammoniakemissie te verlagen. Tabel 8 laat zien dat, buiten opties P2 en P9 die, naar verwachting, slechts geringe ammoniakreducties geven, de andere opties reducties geven variërend van ca. 20 tot 55%. Of de verschillende opties toegepast kunnen worden in bestaande stallen hangt sterk samen met de huidige situatie op het bedrijf. Vaak zal dit niet het geval zijn en zullen flinke investeringen gedaan moeten worden om de stallen aan te passen. De reductiepercentages in Tabel 8 zijn berekend ten opzichte van de berekende referentiewaarde voor biologische stallen. De reductiepercentages ten opzichte van de referentiewaarden van reguliere

stallen zullen voor vleesvarkens en dragende zeugen iets lager uitvallen, maar voor biggen en kraamzeugen hoger.

Tabel 8 *Indicatieve ammoniakemissies vanaf de vloer, vanuit de mestkelder en totaal voor huidige biologische stallen en voor emissiearme biologische stallen. Tevens zijn de reductiepercentages gegeven van de emissiearme concepten ten opzichte van de referentiestal en de mogelijke effecten op overige emissies (broeikasgassen (BK), geur (G) en fijnstof (FS)).*

Categorie	Bevuiling dichte vloer (% van totale opp.)		Emissie vloer (kg/j per varken)			Emissie mestkelder (kg/j per varken)		Emissie totaal (kg/j per varken)	Reductie (%)	Effect overige emissies ⁴
	- Stalsysteem ¹	Binnen	Buiten	Dichte vloer Binnen	Buiten	Roostervloer ²	Binnen			
Vleesvarkens										
R1: Referentie		10%	65%	0,25	1,09	0,75	0,36	1,06	3,5	
P1: Vermindering bevuiling, dichte vloer buiten		10%	30%	0,25	0,50	0,75	0,15	1,06	2,7	23% BK:0; G:-; FS:-
P2: Vermindering bevuiling, berenrooster ³		10%	15%	0,25	0,25	0,75	0,15	1,84	3,2	8% BK:0; G:-; FS:-
P3: Vermindering bevuiling, berenrooster ³ + waterkanaal en mestkanaal		10%	15%	0,25	0,25	0,75	0,15	0,86	2,3	36% BK:0; G:-; FS:-
P4: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal en schuine putwanden		10%	30%	0,25	0,50	0,75	0,15	0,40	2,1	42% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P5: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal + mestschuif of mestband		10%	30%	0,25	0,50	0,75	0,15	0,27	1,9	46% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P6: Vermindering bevuiling, dichte vloer + waterkanaal + mestkanaal verdund		10%	30%	0,25	0,50	0,75	0,15	0,31	2,0	44% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P7: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal + mestschuif of mestband + metalen rooster		10%	40%	0,25	0,67	0,25	0,15	0,27	1,6	55% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P8: Vermindering bevuiling, dichte vloer + waterkanaal + mestkanaal verdund + metalen rooster		10%	40%	0,25	0,67	0,25	0,15	0,31	1,6	54% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-

Categorie	Bevuiling dichte vloer (% van totale opp.)		Emissie vloer (kg/j per varken)			Emissie mestkelder (kg/j per varken)		Emissie totaal (kg/j per varken)	Reductie (%)	Effect overige emissies ⁴
	- Stalsysteem ¹	Binnen	Buiten	Dichte vloer Binnen	Roostervloer ² Buiten	Binnen	Buiten			
Biggen										
R1: Referentie		15%	50%	0,08	0,12	0,03	0,08	0,20	0,51	
P1: Vermindering bevuiling, dichte vloer		15%	25%	0,08	0,06	0,03	0,03	0,20	0,40	21% BK:0; G:-; FS:-
P2: Vermindering bevuiling, berenrooster ³		15%	15%	0,08	0,04	0,03	0,03	0,32	0,50	2% BK:0; G:-; FS:-
P3: Vermindering bevuiling, berenrooster ³ + waterkanaal en mestkanaal		15%	15%	0,08	0,04	0,03	0,03	0,15	0,33	34% BK:0; G:-; FS:-
P4: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal en schuine putwanden		15%	25%	0,08	0,06	0,03	0,03	0,07	0,28	45% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P5: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal + mestschuif of mestband		15%	25%	0,08	0,06	0,03	0,03	0,05	0,25	50% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P6: Vermindering bevuiling, dichte vloer + waterkanaal + mestkanaal verdund		15%	25%	0,08	0,06	0,03	0,03	0,06	0,26	49% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
Dragende zeugen										
R1: Referentie		10%	75%	0,35	1,69	1,20	0,49	1,49	5,2	
P1: Vermindering bevuiling, dichte vloer		10%	35%	0,35	0,79	1,20	0,19	1,49	4,0	23% BK:0; G:-; FS:-
P2: Vermindering bevuiling, berenrooster ³		10%	15%	0,35	0,34	1,20	0,19	2,50	4,6	12% BK:0; G:-; FS:-
P3: Vermindering bevuiling, berenrooster ³ + waterkanaal en mestkanaal		10%	15%	0,35	0,34	1,20	0,19	1,19	3,3	37% BK:0; G:-; FS:-
P4: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en		10%	35%	0,35	0,79	1,20	0,19	0,56	3,1	41% BK:- ⁵ ; G:-; FS:-

Categorie	Bevuiling dichte vloer (% van totale opp.)		Emissie vloer (kg/j per varken)			Emissie mestkelder (kg/j per varken)		Emissie totaal (kg/j per varken)	Reductie (%)	Effect overige emissies ⁴
	Stalsysteem ¹		Dichte vloer		Roostervloer ²	Binnen	Buiten			
-	Binnen	Buiten	Binnen	Buiten		Binnen	Buiten			
mestkanaal en schuine putwanden										
P5: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal + mestschuif of mestband	10%	35%	0,35	0,79	1,20	0,19	0,37	2,9	44%	BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P6: Vermindering bevuiling, dichte vloer + waterkanaal + mestkanaal verdund	10%	35%	0,35	0,79	1,20	0,19	0,43	3,0	43%	BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P9: Rondloopstal	4%	75%	0,14	1,69	1,20	0,30	1,49	4,8	8%	BK:0 ⁶ ; G:0; FS:0
Kraamzeugen										
R1: Referentie	5%	45%	0,40	0,92	0,50	1,12	1,80	4,7		
P1: Vermindering bevuiling, dichte vloer	5%	20%	0,40	0,41	0,50	0,45	1,80	3,6	25%	BK:0; G:-; FS:-
P2: Vermindering bevuiling, berenrooster ³	5%	10%	0,40	0,20	0,50	0,45	2,78	4,3	8%	BK:0; G:-; FS:-
P3: Vermindering bevuiling, berenrooster ³ + waterkanaal en mestkanaal	5%	10%	0,40	0,20	0,50	0,45	1,37	2,9	38%	BK:0; G:-; FS:-
P4: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal en schuine putwanden	5%	20%	0,40	0,41	0,50	0,45	0,67	2,4	49%	BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P5: Vermindering bevuiling, dichte vloer + water- en mestkanaal + mestschuif of mestband	5%	20%	0,40	0,41	0,50	0,45	0,45	2,2	53%	BK:- ⁵ ; G:-; FS:-
P6: Vermindering bevuiling, dichte vloer + waterkanaal + mestkanaal verdund	5%	20%	0,40	0,41	0,50	0,45	0,52	2,3	52%	BK:- ⁵ ; G:-; FS:-

¹ Voorbeelden van optimale ontwerpen om de vloeremissie te beperken zijn opgenomen in hoofdstuk 3.

² De ammoniakemissie van de roostervloer is het totaal van binnen en buiten; bij vleesvarkens en dragende zeugen is, tenzij anders vermeld, de roostervloer van beton; bij biggen en kraamzeugen is de roostervloer van metaal (driekantrooster).

³ Er is verondersteld dat de luchtsnelheid in een mestkanaal met berenrooster gelijk is aan die van een mestkanaal in een reguliere stal.

⁴ BK is emissie broeikasgassen (methaan; er worden geen effecten op de lachgasemissie verwacht); G is geuremissie; FS is emissie fijnstof; – is minder emissie; 0 is gelijke emissie; + is hogere emissie ten opzichte van het referentiesysteem voor de betreffende diercategorie in de biologische varkenshouderij.

⁵ Vermindering van methaanemissie wordt alleen gerealiseerd wanneer de mest na verwijdering uit het mestkanaal niet langdurig ergens anders wordt opgeslagen maar direct wordt aangewend of verder verwerkt (bijvoorbeeld vergisting).

⁶ Wel risico op extra lachgasemissie.

Beschrijving systemen in tabel:

- R1: De referentiesystemen zijn gebaseerd op de huidige systemen, waarbij precies wordt voldaan aan de eisen van minimale oppervlakten per varken (bij vleesvarkens gelijk aan de eisen bij het eindgewicht). Er is uitgegaan van een roosterpercentage binnen van 20% en buiten van 50%. De roosters zijn zoals weergegeven in Tabel 6 van de vorige paragraaf. Onder de roostervloer binnen ligt een mestschuif. Voor de berekening van de ammoniakemissie is er vanuit gegaan dat de schuifvloer gemiddeld voor 50% is bevuild met urine (en mest).

De ammoniak-reducerende systemen hebben de volgende kenmerken:

- P1: Vermindering van de bevuiling van de uitloop door een optimaal ontwerp (zie voorbeelden par. 3.4). De schuif in de stal loopt over een, in dwars- en lengterichting, hellende vloer, zodat de urine continu wegstroomt naar een gesloten opslag in of buiten de stal. Hierdoor wordt het met urine bevuilde oppervlak gereduceerd van 50 naar 20%.
- P2: Gelijk aan P1, maar de dichte vloer van de uitloop is voorzien van een berenrooster (vloer met gieropeningen) boven een mestkanaal.
- P3: Gelijk aan P2, maar 75% van het gehele kelderoppervlak van de uitloop bestaat uit waterkanalen en 25% uit een mestkanaal. In de waterkanalen komt relatief weinig mest, o.a. onder de berenroosters en de geringe hoeveelheid mest wordt verdund met water, waardoor een verdunningsfactor wordt gerealiseerd van gemiddeld 4,0.
- P4: Gelijk aan P1, maar de helft van het oppervlak van de mestkelder is een waterkanaal. In het waterkanaal komt relatief weinig mest door het sturen van het mestgedrag (zie par. 4.4) en de geringe hoeveelheid mest wordt verdund met water, waardoor een verdunningsfactor wordt gerealiseerd van gemiddeld 4,0. Het mestkanaal is voorzien van schuine wanden waardoor het emitterende oppervlak (van vloer en schuine wanden) met 50% wordt gereduceerd (reductie mestkanaal 50%).
- P5: Gelijk aan P4, maar het mestkanaal heeft geen schuine wanden maar is voorzien van een mestschuif op een hellende vloer (in dwars- en lengterichting) of een mestband (reductie uit mestkanaal 75%; hier is voor mestschuiven en mestbanden het gemiddelde genomen van 70-80% reductie. Opgemerkt moet worden dat de ammoniakreductie bij toepassing van mestbanden in het algemeen iets hoger is (80% uit mestkelder) dan bij schuiven (70% uit mestkelder). Het effect van schuiven kan echter verhoogd worden door sproeien met water na elke schuifbeurt).
- P6: Gelijk aan P4, maar het mestkanaal heeft geen schuine wanden maar wordt ook verdund met water door het mestkanaal na elke keer aflaten met de helft te vullen met water. Aan het eind, net voor het aflaten van de verdunde mest, bevat het mestkanaal 1 deel water : 1 deel mest. Uitgaande van een lineair toenemende mestproductie is dit halverwege 1 deel water : 0,5 deel mest. Dit betekent een verdunningsfactor van 3 en een verwachte ammoniakreductie uit het mestkanaal van 67%.
- P7: Gelijk aan P5, maar het mestkanaal is voorzien van metalen i.p.v. betonnen roosters (reductie vanaf rooster 67%). Door het metalen rooster iets meer bevuiling van de dichte vloer.
- P8: Gelijk aan P6, maar het mestkanaal is voorzien van metalen i.p.v. betonnen roosters (reductie vanaf rooster 67%). Door het metalen rooster iets meer bevuiling van de dichte vloer.
- P9: Rondloopstal, deze maakt gebruik van veel stro binnen. Meestal is er binnen ook een mestkanaal met normale roosters. Rond de voerstations kunnen berenroosters worden gebruikt. De buitenuitloop kan vergelijkbaar uitgevoerd worden als in de opties P1 t/m P8.

4.3 Inschatting kosten ammoniak-reducerende biologische stallen

Voor de inschatting van de kosten van ammoniak-reducerende biologische stallen is steeds uitgegaan van nieuwbouw. De onderbouwing van de extra kosten is weergegeven in Tabel 9. Er is verondersteld dat P1 (zoals omschreven in Figuur 5 en 11) een standaard systeem is. De meerkosten van verschillende systemen (P2-P8)¹ zijn vervolgens in kaart gebracht (Tabel 10). Doordat de systematiek van de hokken steeds hetzelfde is veranderen de plussen en minnen in Tabel 11 bij verschillende diercategorieën bijna niet. Er zit wel verschil in de hoogte van de additionele kosten door het gebruik van verschillende hokmaterialen, toegevoegde elementen en/ of andere hokafmetingen en groepsgrootte.

Voor de berekening van de additionele kosten, zoals weergegeven in Tabel 10, is uitgegaan van een standaard uitloop. De standaard uitloop is weergegeven voor vleesvarkens en biggen in Figuur 5 en 7, voor dragende zeugen in Figuur 9 en 10, en voor kraamzeugen in Figuur 11 van paragraaf 3.4. Omdat de additionele maatregelen van de systemen P2 tot en met P8 variëren van een hellende vloer, metalen roosters in plaats van betonnen roosters, een mestschuif, schuine wanden en/of extra watertoevoeging, is berekend wat de additionele kosten per systeem en per diercategorie zullen zijn. Deze berekening is indicatief, en is vooral bedoeld om de verschillen in kosten tussen de systemen te laten zien. Deze berekening kan niet één op één worden toegepast, maar kan worden gebruikt als voorbeeld. Voor de berekening is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- Een mestschuif (gebruikt in P5 en P7) kan 10 vleesvarkens- of gespeende biggenhokken bedienen, of 1 dragende zeugenhok of 10 hokken voor kraamzeugen.
- De mestafzetkosten bedragen voor biologische varkenshouders circa 12 euro per kuub.
- Bij een dichte vloer en water- en mestkanaal komt 15% van de mest (feces + urine) in het waterkanaal terecht en bij toepassing van berenroosters als dichte vloer 30%.
- Figuur 9 is aangehouden om de additionele kosten te berekenen voor de dragende zeugen. Figuur 10 is hierbij buiten beschouwing gelaten doordat deze systemen vergelijkbaar zijn.

Conclusies additionele kosten

In Bijlage 4 wordt een toelichting gegeven op de conclusies van de additionele kosten.

Vleesvarkens en gespeende biggen

In Tabel 10 zijn de additionele kosten van de systemen weergegeven bij een nieuwbouwstal. P2 komt het voordeligst naar voren uit deze berekening. Dit komt omdat er alleen een verandering heeft plaatsgevonden van vloertype van een dichte vloer in P1 die is vervangen door een berenrooster en daaronder een mestkanaal. Er zit weinig (€0 tot €10) verschil in de aanlegkosten tussen een dichte vloer en een berenrooster.

De verhoogde kosten van systeem P3 (t.o.v. P2) bestaat vooral door de verandering van het kelderoppervlak. Ten opzichte van P2 bestaat het kelderoppervlak van P3 voor 75% uit waterkanalen en voor 25% uit een mestkanaal. In het waterkanaal komt relatief weinig mest. De geringe hoeveelheid mest wordt verdund met water. De extra watertoevoeging brengt extra kosten met zich mee, waarbij een verdunningsfactor van 1 op 4 (1 deel mest en 4 delen water) gebruikt wordt. De additionele kosten van P4 lopen vooral op doordat P4 gebruik maakt van schuine wanden waardoor het emitterende oppervlak met 50% wordt gereduceerd. De schuine wanden zijn een toevoeging op de bestaande onderkeldering en deze kosten komen dus boven op de kosten van het totale systeem. De additionele kosten zullen hierbij daarom ook stijgen. De helft van P4 bestaat ook uit een waterkanaal en de water- en mestafzetkosten (door extra watertoevoeging aan de mest) zullen hierbij stijgen. Deze waterkosten zullen door het vergrootte waterkanaal hoger zijn dan de waterkosten in P3.

¹ P9 voor dragende zeugen is buiten beschouwing gelaten omdat de uitloop hiervan vergelijkbaar kan worden uitgevoerd als de opties P1 t/m P6. De enige extra kosten die dan zullen worden gemaakt is het gebruik van meer stro.

De verhoging van de kosten van P5 en P7 komen vooral doordat er voor deze systemen gebruik is gemaakt van een mestschuif (die een eenmalige investering vraagt van 5500 euro), een hellende vloer en een metalen rooster in plaats van betonnen roostervloer op het mestkanaal. De verandering in vloertype van P7 t.o.v. P5 speelt bijna geen rol in de extra additionele kosten.

Voor vleesvarkens zijn P6 en P8 de duurste systemen. De toevoeging van water in het mestkanaal, waardoor de mestafzetkosten stijgen, maken P6 en P8 tot de duurdere systemen. Bij voldoende eigen grond kunnen deze kosten overigens lager zijn.

Dragende zeugen

De verhoogde kosten van P2 voor dragende zeugen zijn vooral toe te wijzen aan de verandering in vloertype. De uitloop van P2 is voorzien van een berenrooster, het oppervlak van het berenrooster is bij dragende zeugen groter dan het oppervlak wat vervangen wordt bij de vleesvarkens (systeem P2). Hierdoor zijn de kosten in verhouding hoger.

P2 is het voordeligste systeem voor dragende zeugen. De kosten van P6 en P8 zijn hoger, vooral doordat in deze systemen water in het mestkanaal wordt gezet, waardoor met name de mestafzetkosten toenemen. P5 en P7 zijn voorzien van een mestschuif die een extra investering en elektrakosten met zich meebrengen.

Kraamzeugen

Voor kraamzeugen lijkt P2 ook een voordelige optie. Het berenrooster is niet veel duurder dan een betonvloer. Systeem P5 lijkt hier het minst voordelig doordat er gebruik wordt gemaakt van een mestschuif. In dit voorbeeld is er in de berekening vanuit gegaan dat één mestschuif 10 kraamhokken kan bedienen. Als de mestschuif meer dan 10 kraamhokken zou kunnen bedienen dan zouden de additionele kosten van dit systeem dalen.

Totale kosten

De totale kosten worden uitgedrukt per afgeleverd vleesvarken. Bij de gespeende biggen, dragende zeugen en kraamzeugen heeft daarbij een omrekening plaatsgevonden op basis van de verhouding in aantal dierplaatsen. Op basis van het hokontwerp met 260 dragende zeugen, is uitgegaan van 380 gemiddeld aanwezige zeugen waarmee jaarlijks 380 maal 25 vleesvarkens afgeleverd kunnen worden. De totale kosten per afgeleverd vleesvarken (bij nieuwbouw) (bij het duurste systeem P6 en P8) komen neer op circa € 9,60 (6,0+0,8+1,3+1,5) per afgeleverd vleesvarken, dit betekent een toename van circa 10 cent per kg geslacht gewicht. Voor ondernemers betekent dit een forse stijging van de kosten. Ter illustratie: op een gesloten bedrijf met 380 zeugen dat jaarlijks 9.500 vleesvarkens aflevert, stijgen de kosten met € 91.000 per jaar.

Tabel 9 Onderbouwing extra kosten ammoniak-reducerende biologische stallen (bij nieuwbouw).

Verandering t.o.v. P1	Extra (bouw) kosten	Extra water	Extra arbeid	Extra installaties	Mest
P1: Vermindering bevulling	-	-	-	-	Normale mest
P2: berenrooster i.p.v. dichte vloer uitloop	Verandering van kosten door ander vloertype. (dichte vloer/ berenrooster met mestkanaal daaronder)	-	Besparing op arbeid t.o.v. P1 door roosters i.p.v. dichte vloer wat eenvoudiger schoon te maken is.	-	Normale mest
P3: berenrooster + waterkanaal en mestkanaal	Verandering van kosten door ander vloertype. (dichte vloer/ berenrooster met waterkanaal daaronder)	Extra watertoevoeging door waterkanaal (40-50%)	Besparing op arbeid t.o.v. P1 door roosters i.p.v. dichte vloer wat eenvoudiger schoon te maken is.	-	Met water verdunde mest in waterkanaal
P4: water- en mestkanaal en schuine putwanden	In P4 is de helft van de onderkeldering een waterkanaal. Wel wordt er gebruik gemaakt van schuine wanden wat zorgt voor additionele kosten.	Extra watertoevoeging door waterkanaal	Schoonmaken dichte vloer/ wroetbak.	-	Met water verdunde mest in waterkanaal
P5: water- en mestkanaal + mestschuif of mestband	In P5 is de helft van de onderkeldering een waterkanaal. Wel maakt P5 gebruik van een mestschuif wat een hoge eenmalige investering geeft wat de jaarkosten verhoogd. Ook wordt er gebruik gemaakt van een hellende vloer.	Extra watertoevoeging door waterkanaal	Schoonmaken dichte vloer/ wroetbak.	Mestschuif (eenmalige investering)	Met water verdunde mest in waterkanaal
P6: waterkanaal + mestkanaal verdund	In P6 is de helft van de onderkeldering een waterkanaal. Het mestkanaal wordt verdund met water.	Extra watertoevoeging door waterkanaal	Schoonmaken dichte vloer/ wroetbak.		Met water verdunde mest in water- en mestkanaal
P7: water- en mestkanaal + mestschuif of mestband + metalen rooster	In P7 is de helft van de onderkeldering een waterkanaal. Wel maakt P6 gebruik van een mestschuif wat een hoge eenmalige investering geeft. Betonnen roosters zijn vervangen voor metalen driekantroosters bij vleesvarkens.	Extra watertoevoeging door waterkanaal	Schoonmaken dichte vloer/ wroetbak.	Mestschuif (eenmalige investering)	Met water verdunde mest in waterkanaal
P8: waterkanaal + mestkanaal verdund + metalen rooster	In P8 is de helft van de onderkeldering een waterkanaal. Het mestkanaal wordt verdund met water. Betonnen roosters zijn vervangen door metalen driekantroosters bij vleesvarkens.	Extra watertoevoeging door waterkanaal	Schoonmaken dichte vloer/ wroetbak.		Met water verdunde mest in water- en mestkanaal

Tabel 10 *Additionele kosten¹ voor de verschillende emissiearme varianten per diercategorie, bij nieuwbouw (berekend per afgeleverd vleesvarken).*

Hoksystemen	Vlees varkens (Figuur 5)	Vlees varkens (Figuur 7)	Biggen (Figuur 7 met kleinere hokmaten)	Dragende zeugen (Figuur 9)	Dragende zeugen (Figuur 10)	Kraamzeugen (Figuur 11)
P1	0	0	0	0	0	0
P2	1,1	1,0	0,1	0,2	0,3	0,6
P3	2,9	2,9	0,4	0,7	0,7	0,9
P4	3,6	3,0	0,4	0,6	0,6	2,0
P5	4,7	3,4	0,5	0,6	0,7	2,0
P6	6,0	5,7	0,8	1,3	1,3	1,5
P7	4,7	3,4	0,5	0,6	0,7	2,0
P8	6,0	5,7	0,8	1,3	1,3	1,5

¹ De additionele kosten zijn middels een quick-scan tot stand gekomen en dienen alleen ter indicatie. Indien er regelingen aan verbonden moeten worden, moet er een nauwkeuriger inschatting worden gemaakt.

Tabel 11 *Additionele kosten (€) van de verschillende emissiearme varianten in een plussen/minnen tabel, bij nieuwbouw.*

Hoksystemen	Extra bouwkosten	Extra water	Extra arbeid	Extra installaties	Mest
P1	0	0	0	0	0
P2	+	0	-	0	0
P3	+	+	-	0	+
P4	+	+	+	0	+
P5	+	+	+	+	+
P6	+	+	+	0	++
P7	+	+	0	+	+
P8	+	+	0	0	++

Legenda: -- veel lagere kosten; - = lagere kosten; 0 = neutraal; + = hogere kosten; ++ = veel hogere kosten; opmerking: de plussen en minnen mogen alleen binnen een kolom met elkaar worden vergeleken.

Nieuwbouw vs. verbouw

In dit voorbeeld zijn de kosten geschat aan de hand van de nieuwbouw van de uitlopen op een bedrijf. Bovenop de standaard bouwkosten komen de additionele kosten van deze systemen. Bij verbouw wordt het kostenplaatje anders ingedeeld. De kosten zijn sterk afhankelijk van de huidige situatie en daarom is ook moeilijk te zeggen wat de kosten zullen zijn bij verbouw. Hierbij zou bedrijfsspecifiek moeten worden gekeken naar de kosten van de om te bouwen stal. In het algemeen zijn de kosten bij verbouw hoger dan bij nieuwbouw, omdat bestaande bouw vaak nog niet afgeschreven is en omdat aanpassingen gedaan moeten worden binnen de beperking van de bestaande situatie.

5 Beantwoording aanvullende vragen

In dit hoofdstuk worden de aanvullende vragen beantwoord die in een overleg met biologische varkenshouders naar voren zijn gekomen.

5.1 Ammoniak reducerende voermaatregelen

In deze paragraaf komen de verschillende voermaatregelen aan de orde die in de reguliere varkenshouderij zijn onderzocht en mogelijk toegepast kunnen worden in de biologische varkenshouderij. Hierbij zullen aan het eind van dit hoofdstuk in ieder geval de volgende vragen worden beantwoord:

- Wat is het effect van eiwitverlaging in het voer op de ammoniakemissie?
- Wat is het effect van 'verzurend' voer op de ammoniakemissie?
- Wat is het effect van aanzuren van drinkwater/brijvoer op de ammoniakemissie?

Het ammoniumgehalte en de pH zijn belangrijke variabelen die de ammoniakemissie uit de mest beïnvloeden. Deze variabelen kunnen worden beïnvloed via de voersamenstelling. In het verleden zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd om via de voersamenstelling het ammoniumgehalte en/of de pH van de mest te verlagen en op die manier de ammoniakemissie te reduceren [16]. Het ammoniumgehalte kan vooral worden verlaagd via de volgende voermaatregelen:

- Verlaging van het eiwitgehalte
- Verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten

De pH van de mest kan vooral worden verlaagd door:

- Toevoeging benzoëzuur (VevoVital®)
- Toevoeging zure Ca-zouten (CaSO₄ of CaCl₂)
- Verlaging kation/anion balans in het voer

Het effect van deze maatregelen is vooral in de reguliere varkenshouderij onderzocht en niet of nauwelijks in de biologische varkenshouderij. Hierna wordt in het kort ingegaan op de mogelijkheden om bovengenoemde maatregelen toe te passen in de biologische varkenshouderij.

Verlaging van het eiwitgehalte

Het effect van het eiwitgehalte in het voer op de ammoniakemissie is al vrij uitgebreid onderzocht, zowel nationaal als internationaal. Dit onderzoek is vooral uitgevoerd bij vleesvarkens. Gemiddeld werden reducties gevonden van ca. 10-12,5% in ammoniakemissie bij elke 10 g/kg verlaging van het eiwitgehalte in het voer [16]. In Bijlage 2 van de Rav-lijst is uitgegaan van 10% reductie van de ammoniakemissie per 10 g/kg verlaging van het eiwitgehalte van het voer (<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav-0/bijlage-2/>). De verlaging in ammoniakemissie wordt enerzijds bereikt door een verlaagd ammoniumgehalte van de mengmest en anderzijds door een verlaagde pH van de mengmest [16]. In Tabel 12 zijn de te verwachten eiwitgehalten in biologisch varkensvoer gegeven per januari 2022 voor de verschillende categorieën biologische varkens. Deze gehalten liggen vaak iets hoger dan de huidige gehalten, aangezien het per 1 januari 2022 voor varkens vanaf 35 kg niet meer is toegestaan om in het voer grondstoffen van niet biologische teelt te gebruiken (Achim Tijkorte, Reudink B.V., persoonlijke communicatie, nov. 2021). Tevens zijn de referentiewaarden voor de eiwitgehalten in voeders van regulier gehouden varkens volgens Bijlage 2 van de Rav weergegeven (<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav-0/bijlage-2/>). De mogelijkheden voor het verlagen van het eiwitgehalte in biologische voeders is echter beperkt, omdat het niet is toegestaan om limiterende aminozuren aan te vullen met synthetische aminozuren. Om verlies aan productie te voorkomen moet een verlaging van het eiwitgehalte van het voer namelijk altijd gepaard gaan met toevoeging van limiterende aminozuren (vooral lysine, methionine / cysteïne, threonine, tryptofaan). Hoe lager het ruweiwitgehalte des te meer aminozuren limiterend worden en in zuivere vorm moeten worden toegevoegd. In biologische voeders is het daarom belangrijk om de aminozuurverhouding via grondstoffen te optimaliseren. Uit onderzoek van Van der Peet-Schwering et al. [17] blijkt dat er nog wel wat ruimte zat in verlaging van het eiwitgehalte bij biologische

vleesvarkens buiten het zomerseizoen zonder dat dit een negatief effect had op de productieresultaten. Gedurende het gehele jaar, waarbij gedurende 2 ronden het eiwitarme voer werd gevoerd en in de zomer het standaard voer, was de verlaging in de eiwitopname 6,8% en de reductie in stikstofuitscheiding 6,9%. Ten opzichte van het eiwitgehalte in het controlevoer in het onderzoek (183 g/kg) betekende dit een reductie in eiwitgehalte van gemiddeld 12,4 g/kg. Zoals in Tabel 12 is aangegeven is het huidige eiwitgehalte al beduidend lager dan ten tijde van het onderzoek van Van der Peet-Schwering et al. in 2009. Het is de vraag of dit eiwitgehalte nog verder gereduceerd kan worden. Net als bij reguliere varkens mag ook bij biologische varkens worden verwacht dat de ammoniakemissie met ca. 10% zal dalen per 10 g/kg lager eiwitgehalte in het voer.

Tabel 12 *Eiwitgehalten in biologisch varkensvoer en de referentiewaarden voor de eiwitgehalten in voeders van regulier gehouden varkens. De getallen geven het gemiddelde eiwitgehalte over de gehele productieperiode.*

Categorie	Eiwitgehalte biologisch ¹⁾ (g/kg)	Eiwitgehalte regulier ²⁾ (g/kg)
Vleesvarkens	169	165
Gespeende biggen	177	180
Kraamzeugen (incl. biggen tot spenen)	170	158
Guste en dragende zeugen	140	135

1) De gehalten per 1 januari 2022 wanneer voor varkens vanaf 35 kg 100% van de grondstoffen biologisch moet zijn geteeld (Achim Tijkorte, Reudink B.V., persoonlijke communicatie, nov. 2021).

2) Referentiewaarden voor regulier gehouden varkens, gemiddeld over de gehele productieperiode, volgens Bijlage 2 van de Rav (<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav-0/bijlage-2/>)

Verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten

Opname van (extra) fermenteerbare koolhydraten ofwel niet-zetmeel koolhydraten (NSP) aan het voer heeft op twee manieren invloed op de ammoniakemissie:

- Het zorgt voor een verschuiving van N-uitscheiding via de urine naar N-uitscheiding via de feces
- Het zorgt voor een verlaging van de pH van de mengmest door een toename van het gehalte aan vluchtige vetzuren.

Door verschillende onderzoeken te combineren komen Aarnink & Smits [18] op de volgende schatting van NSP-gehalte op de ammoniakemissie:

- Voor elke toename van het NSP-gehalte met 100 g/kg neemt de ammoniakemissie af met 12%. Dit effect kan variëren afhankelijk van de soort NSP.

Nadelen van het verhogen van het NSP-gehalte in het voer zijn:

- De verteerbaarheid van de voercomponenten neemt af, waardoor de mestuitscheiding toeneemt [19].
- De emissie van methaan neemt toe [20].

Verhoging van het NSP-gehalte lijkt vooral een optie te zijn voor guste en dragende zeugen en minder voor snel groeiende dieren (biggen, vleesvarkens) of dieren die moeilijk voldoende energie kunnen opnemen (zogende zeugen). Voer met een hoog gehalte aan NSP heeft een gunstige invloed op het welzijn bij regulier gehouden guste en dragende zeugen [21]. Voor biologische varkens is dit voordeel minder van toepassing omdat de zeugen in het algemeen voldoende ruwvoer en stro kunnen opnemen.

Toevoeging van benzoëzuur (VevoVital®)

Bij reguliere vleesvarkens werd een ammoniakreductie gevonden van gemiddeld 15,8% ($\pm 4,2\%$) bij toevoeging van 1,0% benzoëzuur (VevoVital®) aan het voer [22]. Benzoëzuur mag echter niet worden toegepast in biologische varkensvoerders.

Toevoeging van zure Ca-zouten (CaSO₄ of CaCl₂)

In de huidige (biologische) varkensvoerders wordt vaak extra calcium (Ca) toegevoegd en dit gebeurt in het algemeen in de vorm van CaCO₃ (krijt). Carbonaat is een base en zorgt voor een verhoging van de pH van de urine en de mengmest. Door 3 gram Ca in de vorm van CaCO₃ te vervangen door 3 gram Ca in de vorm van CaCl₂ of CaSO₄ kon de urine pH met meer dan 1 eenheid en de pH van de mengmest met ca. 0,8 eenheid worden verlaagd [23]. Hierdoor werd de ammoniakemissie met 24% gereduceerd. Deze vervanging had geen effect op de voeropname van de varkens. Deze varkens werden echter beperkt gevoerd. Bakker & Hol [24] geven aan dat een urine pH van 5,5 als een veilige

ondergrens kan worden gehanteerd. In voornoemd onderzoek van Canh et al. [23] bleef de urine-pH boven de 5,5 bij een 'dietary electrolyte balance' ($dEB = Na + K - Cl$ in mEq/kg ds) van 320 in het voer. Bij een verlaging van de dEB naar 100 mEq/kg ds daalde de urine pH wel onder de 5,5.

Uit resultaten van verschillende onderzoeken kan geconcludeerd worden dat vervanging van $CaCO_3$ door $CaCl_2$ of $CaSO_4$ de pH van urine en mengmest kan verlagen, maar dat daarbij wel de nodige voorzichtigheid betracht moet worden. Een (te) lage kation/anion balans remt de voeropname en de groei van de dieren. Verder lijkt het erop dat de effecten in de praktijk tegen kunnen vallen [25]. Dit zou te maken kunnen hebben met de mestopslag in de stal. Als er veel anaerobe vergisting plaats vindt in de stal zou dit het pH effect weleens gedeeltelijk teniet kunnen doen.

Aangezien een vervanging van $CaCO_3$ door $CaSO_4$ een verhoging kan geven van de geuremissie (vorming H_2S), heeft vervanging door $CaCl_2$ de voorkeur. De pH verlaging van de mengmest zal naar verwachting geen effect hebben op de geuremissie aangezien in het VevoVital onderzoek ook geen aantoonbaar effect op de geuremissie werd waargenomen.

Verlaging kation/anion balans in het voer

Een verlaging van de kation/anion balans geeft een verlaging van de urine-pH en daarmee een verlaging van de pH en de ammoniakemissie van de mengmest. De kation/anion balans in het voer kan op verschillende manieren worden gedefinieerd:

- $(Na + K) - Cl$ (dEB)
- $(Na + K) - (Cl + S)$ (dEBS)
- $(Na + K + Ca + Mg) - (Cl + P + S)$ (dUA)

Op basis van onderzoek van Canh e.a. [23] wordt ingeschat dat bij elke verlaging van dEBS met 100 mEq/kg ds voer de ammoniakemissie met 7% daalt. Het effect van $CaCO_3$ door $CaCl_2$ of $CaSO_4$ is groter dan voornoemd effect, aangezien een base (CO_3^{2-}) wordt vervangen door een zuur. De kation/anion balans mag niet te laag zijn, aangezien dan processen in het lichaam op gang komen om het zuur in bloed en urine te neutraliseren (o.a. ontkalking). In eerder onderzoek voor de reguliere varkenshouderij is geconcludeerd dat de kation/anion balans onvoldoende effect sorteert om hier gericht op in te steken [18].

Andere maatregelen om de pH van de mest te verlagen

In biologische voeders is het toegestaan om gebruik te maken van een aantal organische zuren als conserveermiddel, waaronder citroenzuur. Deze zuren zouden toegevoegd kunnen worden aan het voer van biologische varkens. Organische zuren zullen echter worden afgebroken in het dier en daardoor niet als zuur worden uitgescheiden in urine en/of feces.

Conclusies en beantwoording van de vragen

Op basis van de huidige kennis zijn er twee voermaatregelen die mogelijk perspectief bieden voor verlaging van de ammoniakemissie:

- Verlaging van het eiwitgehalte
- Vervanging van $CaCO_3$ door $CaCl_2$ of $CaSO_4$

Beantwoording vragen:

- Wat is het effect van 'verzurend' voer op de ammoniakemissie?
Op basis van de huidige kennis lijkt vooral het vervangen van $CaCO_3$ door $CaCl_2$ of $CaSO_4$ perspectief te bieden om de pH van de urine en de mest te verlagen en daarmee de ammoniakemissie. Deze maatregel moet echter met voorzichtigheid worden gehanteerd, aangezien het invloed heeft op het zuur/base evenwicht in het dier. Teveel verzuring van de urine (pH lager dan ca. 5,5) kan ongewenste neveneffecten geven, zoals botontkalking. Daarnaast kan het de voeropname en de productie negatief beïnvloeden.
- Wat is het effect van eiwitverlaging op de ammoniakemissie?
De verwachting is dat eiwitverlaging bij biologische varkens een vergelijkbaar effect heeft op de ammoniakemissie als bij reguliere varkens. Dit betekent een verlaging van de ammoniakemissie van ca. 10% per 10 g/kg verlaging van het eiwitgehalte van het voer. De mogelijkheden in biologische voeders zijn echter beperkt, aangezien toevoeging van limiterende synthetische aminozuren niet is toegestaan. Om productieverlies te voorkomen is deze toevoeging noodzakelijk. Uit onderzoek is wel gebleken dat er buiten de zomerperiode wellicht nog iets

scherper op eiwitgehalte kan worden gevoerd, zonder aminozuurtoevoeging en zonder productieverlies.

- Wat is het effect van aanzuren van drinkwater/brijvoer op de ammoniakemissie?
In biologische voeders is alleen toevoeging van organische zuren toegestaan en deze worden afgebroken in het lichaam, waardoor dit geen of een gering effect zal hebben op de pH van de uitgescheiden urine en feces.

5.2 Ammoniakreductie door toevoegmiddelen aan de mest

In deze paragraaf komen de toevoegmiddelen aan de stal en of de mest aan de orde die de ammoniakemissie mogelijk kunnen reduceren in de biologische varkenshouderij. Aan het eind van dit hoofdstuk zullen in ieder geval de volgende vragen worden beantwoord:

- Wat is het effect van aanzuren van mest op de ammoniakemissie?
- Welke urease-remmers mogen worden toegepast in de biologische varkenshouderij, hoe kunnen deze worden toegepast en welke reducties zijn hier mee te bereiken?
- Wat is het effect van mogelijke andere toevoegmiddelen aan de mest op de ammoniakemissie?

De meststoffen, bodemverbeteraars en nutriënten die in de biologische productie mogen worden gebruikt zijn opgenomen in Bijlage II van de Uitvoeringsverordening (EU) 2021/1165 [26]. In deze bijlage staan geen middelen waarvan verwacht mag worden dat ze de ammoniakemissie significant en kosteneffectief kunnen verlagen.

Voor het reinigen en ontsmetten van biologische stallen zijn de middelen toegestaan die zijn opgenomen in bijlage VII van de EU-Verordening Nr. 889/2008 [27]. Hierin zijn de volgende producten opgenomen: Kalium- en natriumzeep — Water en stoom — Kalkmelk — Kalk — Ongebluste kalk — Natriumhypochloriet (bijvoorbeeld bleekwater) — Bijtende soda — Bijtende potas — Waterstofperoxide — Natuurlijke plantenextracten — Citroenzuur, perazijnzuur, mierenzuur, melkzuur, oxaalzuur en azijnzuur — Alcohol — Formaldehyde — Natriumcarbonaat.

Hier zijn een aantal middelen opgenomen die mogelijk perspectief zouden kunnen bieden om de urease-activiteit op vloeren te kunnen reduceren: - stoom, Natriumhypochloriet, perazijnzuur, formaldehyde. Beperking van de urease-activiteit kan de vorming van ammonium/ammoniak uit ureum vertragen en daarmee de ammoniakemissie reduceren. Echter op onze vraag of er schoonmaak-/desinfectie-middelen gebruikt mogen worden als er dieren in de hokken verblijven, geeft Skal Biocontrole het volgende aan (citaat): *'In artikel 4 van Vo 834/2007 en vanaf 1-1-2022 Vo 848/2018 artikel 5g is verwoord dat het gebruik van externe productiemiddelen beperkt moet worden. Hieruit maak ik op dat ook het gebruik van schoonmaakmiddelen zo efficiënt mogelijk moet worden ingezet. Reinigen van de verblijven tussen koppels is toegestaan om besmettingen tussen voorgaande en toekomstige koppels zoveel mogelijk te voorkomen. Daarom kan ik u aangeven dat dit niet de bedoeling is.'*

Bovenstaande geeft aan dat er op papier wel mogelijkheden zijn om de urease-activiteit te beperken, maar dat het vooralsnog niet wordt toegestaan als er dieren in de hokken zitten. Als de dieren echter niet worden blootgesteld aan het middel, bijvoorbeeld door de dieren tijdelijk naar een ander hok te verplaatsen of door toepassing in mestkanalen onder de roostervloer, dan zou dit misschien wel kunnen. Als dit aan de orde is zou dit rechtstreeks met Skal kortgesloten moeten worden.

Toevoegmiddelen die potentie hebben om de ammoniakemissie te reduceren en toegelaten kunnen worden als toevoegmiddel aan de mest zouden getest kunnen worden in een meetopstelling bij Wageningen Livestock Research. Hiervoor is een testopstelling op lab-schaal ontwikkeld en is een meetprotocol opgesteld. Dit biedt de mogelijkheid om het effect van een toevoegmiddel aan de mest op de ammoniakemissie op een wetenschappelijk verantwoorde wijze te testen. Mocht de test uitwijzen dat het middel perspectief biedt, dan kan het middel worden uitgetest op praktijkschaal. In bijlage 5 zijn enkele foto's opgenomen van de meetopstelling en is een samenvatting gegeven van het meetprotocol.

Conclusies en beantwoording van de vragen

Op basis van voorgaande kan geconcludeerd worden dat er vooralsnog weinig mogelijkheden zijn om de ammoniakemissie te reduceren via toevoegmiddelen aan de mest of door de inzet van schoonmaak-/ desinfectiemiddelen als ureaseremmer.

Beantwoording vragen:

- Wat is het effect van aanzuren van mest op de ammoniakemissie?
- Welke urease-remmers mogen worden toegepast in de biologische varkenshouderij, hoe kunnen deze worden toegepast en welke reducties zijn hier mee te bereiken?
- Wat is het effect van mogelijke andere toevoegmiddelen aan de mest op de ammoniakemissie?

Op deze drie vragen kan één antwoord worden gegeven: er worden binnen de huidige regels van de regelgeving vooralsnog weinig mogelijkheden gezien om de ammoniakemissie via deze weg te beperken. Enkele middelen die toegelaten zijn en de urease-activiteit kunnen remmen bieden misschien mogelijkheden als de dieren hier niet aan worden blootgesteld. Nieuwe of bestaande toevoegmiddelen aan de mest die potentie hebben om de ammoniakemissie te reduceren kunnen worden getest in een lab-opstelling bij Wageningen Livestock Research. Bij voldoende perspectief kunnen ze vervolgens op praktijkschaal worden getest.

5.3 Effect isolatiemaatregelen op de ammoniakemissie

In deze paragraaf komen de verschillende isolatiemaatregelen aan de orde die in de reguliere varkenshouderij zijn onderzocht en mogelijk toegepast kunnen worden in de biologische varkenshouderij. Hierbij zullen aan het eind van dit hoofdstuk in ieder geval de volgende vragen worden beantwoord:

- Wat is het effect van isolatiemaatregelen op de ammoniakemissie?
- Wat is het effect van het wit maken of het isoleren van het dak op de ammoniakemissie?
- Wat is het effect van dakisolatie i.c.m. automatische gecontroleerde natuurlijke ventilatie (ANCV).

Door het model van Aarnink & Elzing [2] wordt per graad Celsius verlaging van de temperatuur van het emitterende oppervlak een ammoniakreductie voorspeld van 6,8% uit de mest en van 1,2% vanaf de vloer. Als de staltemperatuur door betere isolatie met 1°C wordt verlaagd en als dit tevens een verlaging van de vloer- en oppervlaktetemperatuur van de mest betekent van 1°C, dan mag, bij een verhouding tussen vloer- en kelderemissie van 4:6, een overall ammoniakreductie worden verwacht van 4,6%.

Als door een betere isolatie of het wit maken van het dak de temperatuur in de stal, gemiddeld over het gehele jaar, met 2°C omlaag zou gaan en we veronderstellen dat de verhouding in ammoniakemissie tussen binnen en buiten 20% : 80% is, dan is het verwachte effect: $2^{\circ}\text{C} \times 4,6\%/^{\circ}\text{C} \times 20\% = 1,8\%$ ammoniakreductie. Het indirecte effect via bevulling van de binnenruimte kan echter wel groot zijn. Dit geldt echter vooral voor stallen die op dit moment slecht zijn geïsoleerd en daardoor in de zomerperiode een hoge binnentemperatuur kunnen geven. Uit oogpunt van thermocomfort voor de dieren en om hokbevulling in de zomer te voorkomen is het van belang dat de stal goed is geïsoleerd. We gaan er vanuit dat dit in de stallen al gerealiseerd is, waardoor we hier geen extra effect aan toe kunnen kennen.

Conclusies en beantwoording van de vragen

Op basis van voorgaande kan geconcludeerd worden dat er weinig effect mag worden verwacht van het (extra) isoleren van het dak of het wit maken van het dak.

Beantwoording vragen:

- Wat is het effect van isolatiemaatregelen op de ammoniakemissie?
- Wat is het effect van het wit maken of het isoleren van het dak op de ammoniakemissie?
- Wat is het effect van dakisolatie i.c.m. automatische gecontroleerde natuurlijke ventilatie (ANCV).

Op deze drie vragen kan één antwoord worden gegeven: er wordt van deze maatregelen vrijwel geen effect op de ammoniakemissie verwacht. Dit neemt niet weg dat het voor het thermo-comfort van de varkens en het voorkomen van hokbevuiling belangrijk is om de stal goed te isoleren. Een goede isolatie zorgt voor hogere staltemperaturen in de winter (bij gelijke ventilatie) en lagere staltemperaturen in de zomer.

6 Discussie

6.1 Nauwkeurigheid van de emissie-schattingen

De schattingen van de ammoniakemissies in Tabel 7 en 8 van hoofdstuk 4 zijn slechts indicatief. Dit geldt vooral voor de absolute emissies. De berekende relatieve emissiereducties zijn minder onzeker en zijn vooral afhankelijk van de daadwerkelijke prestaties in de praktijk, bijvoorbeeld ten aanzien van de bereikte reductie van de hokbevuiling en het voldoende verdunnen van de mest in het waterkanaal. Ten aanzien van de absolute emissies zou het goed zijn om extra onderzoek te doen naar de invloed van temperatuur en luchtsnelheid op de ammoniakemissie en ook het interactieve effect van beiden te onderzoeken. Dit zou bijvoorbeeld met de dynamische box-methode gedaan kunnen worden. De dynamische box is een geventileerde doos die over een emitterend oppervlak wordt gezet waarbij de concentraties ammoniak voor en nadat de lucht over het emitterend oppervlak is gestroomd wordt bepaald. Het ventilatiedebiet wordt tevens gemeten en uit het concentratieverschil en het ventilatiedebiet kan de emissie van het emitterend oppervlak worden bepaald. Uit onderzoek van Mosquera et al. [28] blijkt dat de dynamische box-methode betrouwbaar kan worden toegepast voor het bepalen van de ammoniakemissie vanaf uitlopen. Het probleem van de dynamische box-methode is wel dat deze moeilijk is toe te passen in mestkanalen onder de roostervloer. In het onderzoek beschreven in Bijlage 3 is daarom gebruik gemaakt van de statische box-methode. Met deze methode was het mogelijk om een omgekeerde paraplu door de roosters te steken en op het mestoppervlak te plaatsen. Het concentratieverloop van ammoniak in dit afgesloten deel van de mest werd vervolgens gemeten om de ammoniakemissie te bepalen. Het nadeel van de statische box-methode is dat er vrijwel geen luchtsnelheid is over het emitterend oppervlak waardoor de gemeten ammoniakemissie een onderschatting zal geven van de werkelijkheid. Als we de ammoniakemissie per m² mestoppervlak in de kelder die we in Tabel 5 hebben berekend, met behulp van verschillende correctiefactoren, vergelijken met de gemeten waarden in Bijlage 3 dan zien we dat de meetwaarden ca. de helft bedragen van de berekende emissies in Tabel 5. Alleen voor kraamzeugen lag deze beduidend lager, vooral bij bedrijf 1, maar deze waarde is binnen gemeten en daarom niet representatief voor de mestkelder in de uitloop. Ook de verhouding bij bedrijf 2 was voor kraamzeugen wat lager (31%). Om nauwkeuriger ammoniakemissies per m² emitterend oppervlak te bepalen zijn metingen nodig met de dynamische box-methode. Met deze methode is het wel noodzakelijk om de juiste luchtsnelheid over het emitterend oppervlak toe te passen. Bij de dynamische box-methode is deze luchtsnelheid constant. Maar met de dynamische box zou wel de relatie tussen luchtsnelheid en ammoniakemissie verder kunnen worden onderzocht door met variërende ventilatiedebieten in de doos te werken.

Door de exponentiële toename van de ammoniakemissie met een verhoging van de temperatuur van het emitterend oppervlak zijn er sterke seizoeneffecten van de ammoniakemissie, zoals ook werd gevonden in het onderzoek van Aarnink et al. [29]. Emissies vanaf de uitloop zullen in de zomer hoger liggen dan in de winter. Door in Tabel 5 uit te gaan van een correctiefactor gebaseerd op een gemiddelde buitentemperatuur zou er een onderschatting kunnen optreden van de ammoniakemissie. Een berekening van het effect van de temperatuur over de gehele range, met stappen van 1°C, van -20 – 36°C in de jaren 2011 – 2019 met een graaduren tabel, laat zien dat het effect vrij gering is. Bij deze berekening kwam de correctie voor de mestkelder 6% hoger uit en voor de vloer 4% (berekend voor vleesvarkens). De berekende ammoniakemissies per m² emitterend oppervlak in de uitloop van een bevuilde vloer en van een mestkelder (Tabel 5) liggen tussen de, op basis van lokaal gemeten waarden, berekende emissies per m² in het rapport van Aarnink et al. [29] voor de winter/herfst en zomerperiode. In voornoemd rapport werd een zeer hoge ammoniakemissie berekend per m² bevuilde vloeroppervlak in de uitloop voor de zomerperiode. In de discussie van dat rapport wordt aangegeven dat dit misschien te hoog is ingeschat, omdat er veelal nivellering van effecten optreedt, omdat andere factoren dan limiterend worden, bijvoorbeeld de diffusiesnelheid of concentratie van ammoniak in de mest of urinelaag op de bevuilde vloer. Voor het berekenen van de correctiefactor voor de oppervlaktetemperatuur van de mest is gebruik gemaakt van het effect dat is berekend met behulp van het rekenmodel van Aarnink & Elzing [2]. De inschatting is dat de ammoniakemissie vanaf een

emitterend oppervlak met ca. 7% verandert bij een verandering in de oppervlaktetemperatuur van 1,0°C. In bijlage 3 is een iets groter effect berekend, namelijk 10%. De spreiding in de metingen was echter groot, met een R² van 0,26. Le et al. [30] vonden onder gecontroleerde omstandigheden dat, tussen een temperatuur van 10 en 30°C, de ammoniakemissie met 6%±0,4% toenam bij elke graad Celsius verhoging van de mesttemperatuur. Om hiervoor genoemde redenen is bij de berekening van de correctiefactor vastgehouden aan 7% verandering van de ammoniakemissie bij een verandering in mesttemperatuur van plus of min 1,0°C.

6.2 Opties voor ammoniakreductie

In hoofdstuk 2 komen de systemen aan de orde die al zijn opgenomen in de Rav-lijst en die vooral de ammoniakemissie uit de mestkelder(s) reduceren. Perspectiefvolle systemen voor biologische stallen zijn: - verkleining van het emitterend oppervlak; - verdunning met water van de totale mest of alleen in de zogenaamde waterkanalen; - continue verwijdering van de urine via hellende vloeren of banden waarbij de feces een paar keer per dag wordt afgevoerd met een mestschuif of mestband; - Rondloopstal.

Voor verkleining van het emitterend oppervlak is het van belang om een optimum te vinden tussen het aandeel dichte vloer en het aandeel roostervloer. Wordt het aandeel dichte vloer te groot dan neemt het risico op hokbevuiling sterk toe. Aangezien varkens vooral buiten mesten, kan binnen in de stal in het algemeen worden volstaan met een klein aandeel roostervloer, meestal tegen de buitenwand van de stal. Twintig procent roostervloer is dan meestal voldoende. Er zijn ook varkenshouders die helemaal geen roostervloer meer in de stal aanbrengen (H. Vermeer, persoonlijke mededeling, nov. 2021) en waarbij de gehele stal binnen wordt ingestrooid. Dit is eigenlijk alleen een goede optie bij relatief kleine groepen dieren, omdat er bij grotere groepen veel ruimte is om binnen te mesten, waardoor het risico op bevuiling sterk toeneemt. Als er geen roostervloer binnen aanwezig is, moet er wel een voorziening zijn om het bevulde stro(oisel) gemakkelijk te kunnen verwijderen, bijvoorbeeld via stortkokers en een meeneemschuif. Een andere mogelijkheid is om op het bevulde stro steeds extra vers stro toe te voegen, zodat een soort potstal ontstaat. Door het verse stro wordt voorkomen dat ammoniak uit de onderliggende lagen vervluchtigt. Dit principe wordt ook gehanteerd in de Rondloopstal. Bevuiling van het ligbed binnen kan worden voorkomen door er voor te zorgen dat het ligbed altijd aantrekkelijk blijft voor de varkens om te liggen. In de zomer kan dit problemen opleveren, aangezien varkens dan verkoeling zoeken. Deze kunnen ze vinden op de roostervloer of in de schaduw van de uitloop. De consequentie kan zijn dat ze binnen meer gaan mesten. Een koelsysteem zoals een vernevelsysteem of een douche kan dit tegengaan. Dit is niet alleen uit oogpunt van milieu van belang, maar tevens uit oogpunt van dierwelzijn. Bij het ontwerp van de uitloop is het meestal aan te bevelen om het maximaal toegestane aandeel roostervloer (max. 50%) te benutten. Ook bij 50% roostervloer is er nog steeds een behoorlijk risico op hokbevuiling. Hoe dit voorkomen kan worden en hoe dit uitwerkt in hokontwerpen is aangegeven in Hoofdstuk 3. Het is hierbij belangrijk om voldoende activiteit te creëren daar waar de dieren niet mogen mesten, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een wroetbak of een ruif (met bijvoorbeeld hooi). Om problemen met de mestafvoer te voorkomen is het belangrijk dat er geen stro, hooi of ander ruwvoer in de kelders met mengmest terecht komt. Het aanbrengen van berenroosters in plaats van een dichte vloer is ook een effectieve methode voor het reduceren van hokbevuiling. Berenroosters kunnen foutjes met urineren corrigeren en deze urine snel afvoeren, maar ze kunnen een goede hokinrichting niet vervangen. Sturen van het mestgedrag naar het rooster boven het mestkanaal in de uitloop is het belangrijkste. De berenroosters laten de urine door via spleten (van max. 10 mm) of via ronde gierdoorlatende openingen van ten hoogste 20 mm diameter. Als er veel feces en bijvoorbeeld ruwvoer of strooisel op de berenroosters terecht komt dan verstoppert ze vrij snel.

Verdunning van mest met water is een effectieve manier om de ammoniakemissie te reduceren in zogenaamde waterkanalen. Waterkanalen met daarboven roostervloeren of berenroosters zijn bedoeld om aan te brengen op die locaties van de uitloop waar weinig wordt gemest, maar waar wel enige risico is op bevuiling. De kleine hoeveelheid mest die in deze kanalen valt kan met een relatief geringe hoeveelheid water worden verdund. De ammoniakreductie uit een waterkanaal is recht evenredig met de verdunningsfactor. Is de verdunningsfactor bijvoorbeeld 4 (1 deel mest, 3 delen water) dan wordt de ammoniakemissie uit dit kanaal naar verwachting met 75% gereduceerd. Varkenshouders die (vrijwel) alle mest op eigen grond kwijt kunnen, dus geen mest tegen hoge kosten hoeven af te voeren, kunnen ook overwegen om de mest in het mestkanaal te verdunnen. Hier zijn echter grote hoeveelheden water voor nodig en dit betekent extra opslagcapaciteit op het bedrijf en extra kosten voor het uitrijden van de mest. Regenwater zou gebruikt kunnen worden om de mest te verdunnen.

Mestschuiven en -banden kunnen zowel in de stal als in de uitloop worden toegepast. Het voordeel van mestschuiven en -banden is dat ze ook stromest uit de stal kunnen verwijderen. In de stal worden schuiven al vaak toegepast bij biologische varkens. Om ammoniakemissies te voorkomen moet de urine zo snel mogelijk uit het mestkanaal worden afgevoerd via schuifvloeren en banden die zowel in de breedte als in de lengterichting hellend zijn uitgevoerd. Hierdoor ontstaat een klein emitterend oppervlak waardoor de ammoniakemissie sterk kan worden beperkt. Bij toepassing van een mestschuif zou de ammoniakemissie nog verder gereduceerd kunnen worden door na elke schuifbeurt de schuifvloer te sproeien met water, zodat de urine/mest film op de vloer wordt weg gesproeid en/of wordt verdund.

Een Rondloopstal is specifiek ontwikkeld voor (guste en) dragende zeugen. Dit systeem reduceert alleen de ammoniakemissie in de stal. Voor de uitloop zullen additionele maatregelen moeten worden getroffen. Door regelmatig (dagelijks) vers stro toe te voegen wordt bevuild stro(oisel) afgedekt waardoor de ammoniakemissie wordt gereduceerd. Aangezien het merendeel van de mest in de uitloop wordt geproduceerd, zijn additionele maatregelen in de uitloop nodig om de ammoniakemissie significant te reduceren.

Voor biologische varkenshouders is het zaak om allereerst de hokbevuiling aan te pakken voordat aan andere maatregelen wordt gedacht. Door hokbevuiling effectief te verminderen kan de ammoniakemissie naar verwachting al met ca. 20% worden gereduceerd. Door aanvullende maatregelen te nemen in de mestkelders kan de ammoniakreductie verder worden verhoogd naar maximaal ca. 55% (afhankelijk van de diercategorie). De reducties zijn steeds bepaald ten opzichte van de berekende waarden voor de biologische referentiestallen (Tabel 8). Deze emissies verschillen van de referentiewaarden voor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst, waar biologische stallen op dit moment nog onder vallen. Bij vleesvarkens en dragende zeugen liggen de berekende waarden voor de biologische referentiestallen hoger en voor biggen en kraamzeugen lager dan de referentiewaarden in de Rav-lijst.

Verder onderzoek is aan te bevelen naar mogelijkheden om de ammoniakemissie vanaf de uitloop te beperken door beïnvloeding van de temperatuur van en luchtsnelheden boven de emitterende oppervlakken van de bevuilde (rooster)vloer en de mestkelder. De temperatuur van de vloer en mestkelder zouden verlaagd kunnen worden door zoninstraling zoveel mogelijk te beperken, bijvoorbeeld door het plaatsen van bomen of andere objecten die schaduw kunnen geven. Ook de luchtsnelheden over de emitterende oppervlakken zouden beperkt kunnen worden door te zorgen dat de wind geen vrij spel heeft over de vloer van de uitloop en in de mestkelder. De mestkelder zou bijvoorbeeld gecompartmenteerd kunnen worden door verticale flappen aan te brengen onder de hokafscheidingen. In ieder geval moet voorkomen worden dat de wind via openingen in de kelder, anders dan de roostervloeren, kan zorgen voor hogere luchtsnelheden. De luchtsnelheid boven het emitterend oppervlak kan waarschijnlijk ook worden verlaagd door het mestniveau relatief laag te houden, maar dat zou betekenen dat niet de volledige opslagcapaciteit van de mestkelders benut kan worden.

6.3 Kosten ammoniak-reducerende biologische stallen

Bij de berekening van de kosten van de ammoniak-reducerende biologische stallen is alleen gekeken naar de extra kosten voor de inrichting van de uitloop. Er is vanuit gegaan dat de inrichting in de stal vaak al voldoet of gemakkelijk kan voldoen aan de eisen voor stallen met een lage ammoniakemissie. Net als voor de uitloop geldt dit echter alleen voor nieuwe stallen. Bij verbouw kunnen hoge investeringen nodig zijn om de binnenruimte zodanig in te richten dat er weinig bevuiling ontstaat en te zorgen dat de mest een aantal keren per dag wordt verwijderd uit de stal (met mestschuif of mestband) en vervolgens emissiearm wordt opgeslagen of verder verwerkt. De totale kosten van een aantal systemen (P4 t/m P8) zijn een forse investeringen voor een biologische varkenshouder. Het advies is dan ook om te kijken naar de financiële haalbaarheid in bestaande stallen. In nieuwgebouwde stallen dient ook gekeken te worden naar wat dergelijke investeringen op bedrijfsniveau betekenen.

6.4 Beantwoording van additionele vragen van de werkgroep

De beantwoording van de additionele vragen (Hoofdstuk 5) laat zien dat er, buiten de reeds bekende maatregelen om de ammoniakemissie uit de mestkelder te verminderen (Hoofdstuk 2) en maatregelen om de vloerbevuilding te reduceren (Hoofdstuk 3), weinig maatregelen echt perspectief bieden. Voermaatregelen die enig perspectief bieden zijn het verlagen van het eiwitgehalte en verzuring van de urine en mengmest door vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 . De mogelijkheden voor eiwitverlaging in biologische voeders zijn beperkt, aangezien toevoeging van limiterende aminozuren niet is toegestaan. Daar komt bij dat vanaf 1 januari 2022 alle grondstoffen van biologische oorsprong moet zijn voor varkens vanaf 35 kg. Tabel 12 in par. 5.1 laat zien dat biologische voeders per 1 januari 2022 vergelijkbare (biggen) of iets hogere eiwitgehalten in het voer zullen hebben ten opzichte van de referentiesituatie voor reguliere varkens (Bijlage 2 van de Rav-lijst; www.rvo.nl). Vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 kan wel mogelijkheden bieden zolang de pH van verse urine niet lager wordt dan 5,5. Uit onderzoek van Canh et al. [23] blijkt dat hiermee de ammoniakemissie uit de mestkelder met ca. 20 à 30% kan worden verlaagd. Het effect op de ammoniakemissie vanaf de vloer is moeilijk aan te geven, maar zal waarschijnlijk geringer zijn. Uit onderzoek van Smits et al. [25] blijkt dat het effect van verzurende Ca-zouten op de ammoniakemissie in de praktijk tegen kunnen vallen. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de langdurige opslag van mest in de stal, waardoor het pH effect (voor een deel) teniet wordt gedaan. Toevoeging van organische zuren aan biologische voeders zal geen of weinig effect hebben op de pH van urine en mengmest, aangezien deze zuren in het lichaam worden afgebroken.

Toevoegmiddelen aan de mest, zoals zuren of urease-remmers, mogen op dit moment nog niet worden gebruikt in de biologische varkenshouderij en bieden dus geen mogelijkheden voor ammoniakreductie. Nieuwe of bestaande toevoegmiddelen aan de mest die mogelijk perspectief bieden zouden getest kunnen worden in een gevalideerde meetopstelling op lab-schaal van Wageningen Livestock Research (zie Bijlage 5).

Maatregelen zoals het verbeteren van de isolatie van de stal of het wit maken van het dak om op die manier de temperatuur in de zomer beter in de hand te houden zullen weinig effect hebben op de ammoniakemissie. Wel is het uit oogpunt van optimalisering van het stalklimaat sterk aan te bevelen om de stallen goed te isoleren. Dit geeft warmere stallen in de winter en koelere stallen in de zomer.

7 Conclusies

Dit rapport heeft een tabel opgeleverd met opties voor reductie van de ammoniakemissie voor de verschillende diercategorieën in biologische varkensstallen. Deze tabel geeft tevens schattingen van de ammoniakemissies uit huidige biologische stallen en van ammoniak-reducerende systemen. Daarnaast zijn een aantal aanvullende vragen beantwoord.

Conclusies huidige ammoniakemissie en opties voor ammoniakreductie in biologische varkensstallen:

- De indicatief berekende referentiewaarden voor biologische stallen voor vleesvarkens en dragende zeugen liggen iets hoger dan de referentiewaarden voor reguliere stallen, terwijl deze voor biggen en kraamzeugen lager liggen.
- Door een goed hokontwerp, zowel in de stal als in de uitloop kan het mestgedrag van de varkens worden gestuurd waardoor de bevuilding van de dichte vloer sterk kan worden verminderd en daarmee de ammoniakemissie. Hokbevuilding (bevuilding van de dichte vloer) is het eerste wat aangepakt kan/moet worden in de biologische varkenshouderij. Schone dichte vloeren is een randvoorwaarde voor ammoniakarme huisvesting van varkens.
- Ten opzichte van de meeste huidige biologische varkensstallen kan de ammoniakemissie via enkelvoudige of een set van maatregelen worden gereduceerd met ca. 20 – 55%.
- De absolute ammoniakemissies van de referentie- en ammoniakarme biologische stallen zijn slechts indicatieve schattingen. Relatieve ammoniakemissies kunnen met grotere betrouwbaarheid worden aangegeven.
- De extra kosten voor ammoniakemissiearme biologische stallen lijken bij nieuwbouw voor systemen die een reductie geven tot ca. 40% mee te vallen (varianten P1, P2 en P3). Bij de varianten die een reductie geven van meer dan 40% (P4 en hoger) zijn de kosten meer, tot zelfs sterk, verhoogd.

Conclusies aanvullende vragen:

- Op basis van de huidige kennis zijn er twee voermaatregelen die mogelijk (beperkt) perspectief bieden voor verlaging van de ammoniakemissie bij biologische varkens:
 - Verlaging van de stikstofuitscheiding (in de vorm van ureum) door verlaging van het eiwitgehalte van het voer.
 - Verzuring van urine en mengmest door vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 .De mogelijkheden voor eiwitverlaging in biologische voeders zijn op dit moment nog beperkt, aangezien toevoeging van limiterende synthetische aminozuren niet is toegestaan. De optimalisering van de aminozuurverhouding via grondstoffen is daarom belangrijk. Verzuring van urine en mest moet voorzichtig worden toegepast, aangezien het invloed heeft op het zuur/base evenwicht in het dier. Teveel verzuring van de urine (pH lager dan ca. 5,5) kan ongewenste neveneffecten geven, zoals botontkalking. Daarnaast kan het de voeropname en de productie negatief beïnvloeden.
- Er zijn vooralsnog weinig mogelijkheden om de ammoniakemissie te reduceren via toevoegmiddelen aan de mest of door de inzet van schoonmaak-/ desinfectiemiddelen als urease-remmer. De regelgeving voor biologische varkenshouderij laat de inzet van deze middelen niet toe. Nieuwe of bestaande toevoegmiddelen aan de mest die mogelijk perspectief bieden zouden getest kunnen worden in een gevalideerde meetopstelling op lab-schaal van Wageningen Livestock Research.
- Er mag weinig effect worden verwacht van het (extra) isoleren van het dak of het wit maken van het dak op de ammoniakemissie. Voor het thermo-comfort van de varkens is het echter heel belangrijk om de stal goed te isoleren. Een goede isolatie zorgt voor hogere staltemperaturen in de winter en lagere staltemperaturen in de zomer.

8 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Extra onderzoek is gewenst naar de validatie van de modelberekeningen t.a.v. het effect van temperatuur en luchtsnelheid op de ammoniakemissie van met name de uitloop van biologische varkensstallen. Het effect van temperatuur is al wel eerder gevalideerd, maar er zijn weinig metingen bekend die de relatie tussen luchtsnelheid en ammoniakemissie hebben vastgesteld. Daarnaast is het van belang om het effect van een eventueel aanwezige interactie tussen temperatuur en luchtsnelheid te bepalen.
- Onderzoek is gewenst naar de mogelijkheden om de temperatuur van en de luchtsnelheid boven de emitterende oppervlakken (bevuilde vloer en mest in mestkelder) te verlagen om op die manier de ammoniakemissie vanaf de uitloop te beperken.
- Demonstratie-bedrijven zijn nodig om de effectiviteit van emissie-reducerende maatregelen aan te tonen en biologische varkenshouders te helpen om de beste keuzes te maken. Daarbij kan de focus worden gelegd op het functioneren van het hok, vooral in relatie tot hokbevuiling, en het functioneren van het emissie-reducerend systeem in de mestkelder(s).

Literatuur

1. Monteny, G. and J. Erisman, *Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction*. Netherlands Journal of Agricultural Science, 1998: p. 225-247.
2. Aarnink, A.J.A. and A. Elzing, *Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs*. Livest. Prod. Sci. 53: 153-169, 1998.
3. Groenestein, C.M., *Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw*. 2006, PhD thesis, Wageningen University: Wageningen. p. 146.
4. Hacker, R.R., et al., *Factors affecting excretory behavior of pigs*. J. Anim. Sci. 72, p. 1455-1460, 1994.
5. Ocepek, M., et al., *Drinker position influences the cleanness of the lying area of pigs in a welfare-friendly housing facility*. Applied Animal Behaviour Science, 2017. **198**: p. 44-51.
6. Besluit houders van dieren, *Geldend van 01-07-2018 t/m heden. Artikel 2.17. Beschikbaar oppervlak*, in <https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217/2018-07-01>. 2018: Den Haag.
7. Aarnink, A.J.A., et al., *Effect of type of slatted floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries*. J. agric. Engng Res. 1997, 66: 93-102, 1997.
8. Hoofs, A., *Metalen driekantroosters in vleesvarkenshokken met bolle vloeruitvoering*. Proefverslag nr. P 1.73, Varkensproefbedrijf "Zuid- en West-Nederland", Sterksel, 1991.
9. Voermans, M.P. and J.G.L. Hendriks, *Het grupstalsysteem voor guste en dragende zeugen in relatie tot ammoniakemissie*. Proefverslag P 1.158, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen: 20 pp., 1996.
10. Aarnink, A.J.A., et al., *Lig- en mestgedrag sturen : Star+ voor milieuvriendelijke huisvesting van vleesvarkens*. V-focus, 2015(april): p. 37-39.
11. Vermeer, H. and I. Vermeij, *Claw health and floor type in group housed sows*. CAB Reviews, 2014. **9**(015): p. 1-7.
12. Aarnink, A.J.A., H.M. Vermeer, and J.P.M. Ploegaert, *Ammoniakemissiearme verharde uitlopen voor varkens*. 2012, Wageningen UR Livestock Research: Lelystad. p. 30.
13. Aarnink, A.J.A., et al., *Rekentool voor het bepalen van de effecten van voer- en managementmaatregelen op de ammoniakemissie bij varkens: ontwikkeling en validatie [Calculation tool to estimate the effects of feeding and management measures on ammonia emission in pigs]*. 2018, Wageningen Livestock Research, Report 1086: Wageningen. p. 118.
14. Handboek voor de Varkenshouderij. 2018: Wageningen Livestock Research.
15. Groenestein, C.M., A.J.A. Aarnink, and N.W.M. Ogink, *Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen 2014*, Wageningen UR Livestock Research, rapport 786. p. 22.
16. Aarnink, A.J.A. and M.W.A. Verstegen, *Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production*. Livestock Sciences, 2007. **109**: p. 194-203.
17. van der Peet-Schwering, C., G. Binnendijk, and A.W. Jongbloed, *Minder eiwit in biologisch vleesvarkensvoer in de winter= Less protein in diets for organic finishing pigs in the winter*. 2009, Wageningen UR Livestock Research.
18. Aarnink, A.J.A., M.C.J. Smits, and I. Vermeij, *Reductie van ammoniakemissie op vleesvarkensbedrijven via gecombineerde maatregelen*. 2010: Lelystad. p. 30.
19. Moeser, A.J. and A.T.G. Van Kempen, *Dietary fibre level and enzyme inclusion affect nutrient digestibility and excreta characteristics in grower pigs*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002. **82**: p. 1606-1613.
20. Kirchgessner, M., et al., *Bestimmungsfaktoren der Gullecharakteristik beim Schwein. Einfluss von Futterungsintensitat und den Anteilen an unverdaulichen sowie an bakteriell fermentierbaren Substanzen (BFS) im Futter*. Agribiol. Res. 44 (4), p. 325-344, 1991.
21. Van der Peet-Schwering, C.M.C., *Ruwelstofvrije voeders voor zeugen: effect op reproductie en gedrag*. 2002, Praktijkonderzoek Varkenshouderij: Rosmalen. p. 28 pp.
22. Aarnink, A.J.A., J.M.G. Hol, and G.M. Nijeboer, *Ammonia emission factor for using benzoic acid (1% VevoVital) in the diet of growing-finishing pigs*. 2008, Animal Sciences Group, Divisie Veehouderij: Lelystad. p. 23.
23. Canh, T.T., et al., *Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry*. Livest. Prod. Sci. 56: 1-13, 1998.

-
24. Bakker, G.C.M., J.M.G. Hol, and M.C.J. Smits, *De addiviteit van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te verlagen uit varkensstallen. Proef 1. Balansmetingen en in vitro ammoniakemissie*. 2002, ID TNO Diervoeding: Lelystad. p. 39.
 25. Smits, M.C.J., et al., *Invloed van eiwitgehalte en toevoeging calciumchloride op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen*. 2012: Lelystad. p. 38.
 26. UITVOERINGSVERORDENING (EU) 2021/1165 VAN DE COMMISSIE, *UITVOERINGSVERORDENING (EU) 2021/1165 VAN DE COMMISSIE van 15 juli 2021 betreffende de toelating van bepaalde producten en stoffen voor gebruik in de biologische productie en de opstelling van de lijsten van die producten en stoffen*, EU, Editor. 2021: Brussels.
 27. VERORDENING (EG) Nr. 889/2008 VAN DE COMMISSIE, *Verordening (EG) nr. 889/2008 van de Commissie van 5 september 2008 tot vaststelling van bepalingen ter uitvoering van Verordening (EG) nr. 834/2007 van de Raad inzake de biologische productie en de etikettering van biologische producten, wat de biologische productie, de etikettering en de controle betreft*, EU, Editor. 2008: Brussels.
 28. Mosquera, J., J.M.G. Hol, and J.W.H. Huis in 't Veld, *Meetmethode voor ammoniakemissiemetingen uit stallen met uitloop = Measurement method for ammonia emissions from animal houses with an outdoor yard*. 2008, Animal Sciences Group: Wageningen.
 29. Aarnink, A.J.A., et al., *Ammoniakemissie uit varkensstallen met uitloop*. 2015, Wageningen UR (University & Research centre), Rapport 868: Wageningen.
 30. Le, P.D., et al., *Effects of Environmental Factors on Odor Emission from Pig Manure*. Transactions of the ASAE, 2005. **48**(2): p. 757-765.
 31. Mosquera, J. and J. Hol, *Meetmethode voor ammoniakemissiemetingen uit stallen met uitloop= Measurement method for ammonia emissions from animal houses with an outdoor yard*. 2008, Animal Sciences Group.
 32. Ivanova-Peneva, S.G., A.J.A. Aarnink, and M.W.A. Verstegen, *Ammonia and mineral losses on Dutch organic farms with pregnant sows*. Biosystems Engineering, 2006. **93**(2): p. 221-235.
 33. Roelsma, J., *Vervluchtiging van ammoniak uit dierlijke mest; literatuuronderzoek ten behoeve van de watersysteemverkenningen*. 1997, DLO-Staring Centrum.
 34. Oenema, O., et al., *Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen; gew. druk*. 2000.

Bijlage 1 Aanvullende beschrijving emissie-reducerende systemen Rav-lijst

De hieronder opgenomen beschrijvingen zijn aanvullend of een wijziging ten opzichte van de oorspronkelijke beschrijving voor reguliere stallen.

Bijlage 1a. Mestopvang in water in combinatie met metalen driekantroostervloer

BIOLOGISCHE VARKENSHOUDERIJ ANALOOG Groen Labelnummer: BB 95.10.029 V3
Naam van het systeem: Mestopvang in water in combinatie met metalen driekantroostervloer
Diercategorie: Vleesvarkens

Aanvullende omschrijving van het stalsysteem:

De ammoniakuitstoot wordt beperkt door de mest te verdunnen met water. De mest wordt opgevangen in water en de verdunde mest wordt regelmatig uit het mestkanaal (in de uitloop) afgevoerd. De mestkanalen zijn voorzien van een metalen driekant roostervloer.

Een rioleringsysteem is niet vereist, mits de mest op andere wijze goed afgevoerd kan worden, conform TID "afvoersystemen voor de varkenshouderij". Een goed gedimensioneerde overloop dient aanwezig te zijn en ophopende stroresten bij de overloop dienen regelmatig verwijderd te worden.

Bijlage 1b. Haglando mestschuif op gecoate keldervloer

BIOLOGISCHE VARKENSHOUDERIJ ANALOOG Groen Labelnummer: BB 93.03.001 VI

Naam van het systeem: Haglando mestschuif op gecoate keldervloer
Diercategorie: Gespeende biggen en kraamzeugen

Werkingsprincipe:

De ammoniakuitstoot wordt beperkt door het frequent en restloos verwijderen van mest uit de biggenopfokstal met behulp van een mestschuif.

Eisen aan de uitvoering:

3) Mestkanaal

d) op de vloer van het mestkanaal moet een waterafstotende epoxyhars coating worden aangebracht. Deze coating zorgt ervoor dat geen vocht in de vloer trekt en dat de mestdelen zich niet of zo weinig mogelijk aan de vloer vasthechten; een vlakke gladde vloer is cruciaal voor een goede schuifwerking; in plaats van een epoxy hars coating kan evt. ook andere toplaag aangebracht worden waarop geen biofilm gevormd wordt mits deze toplaag robuust aan de betonvloer blijft gehecht. Daarbij zijn te overwegen polyethyleen PE, polypropyleen PP, of rubber.

f Eisen aan het gebruik:

2) Er dient een onderhoudscontract voor de coating (of andere gladde toplaag van PE, PP of rubber) en voor de mestschuif aanwezig te zijn;

Bijlage 1c. Verkleining emitterend oppervlak via schuine putwanden

Werkingsprincipe:

Ammoniakemissiebeperking is gebaseerd op het beperken van hokemissie en putemissie. Vermindering van hokemissie vindt plaats door een sturing in het mestgedrag in combinatie met het toepassen van goed doorlatende roosters op de mestplaats. Beperking van de putemissie vindt plaats door het verkleinen van het emitterend mestoppervlak middels het toepassen van een gedeeltelijk roostervloer met een (water- en) mestkanaal.

Mestkanaal:

Helling t.o.v. putvloer minimaal 45° bij schuine wand tegen dichte vloer en minimaal 60° bij schuine wand tegen achterwand.

Bijlage 1d. Verdunning mest in waterkanalen

Werkingsprincipe:

Ammoniakemissiebeperking is gebaseerd op het beperken van hokemissie en putemissie in de uitloop. Vermindering van hokemissie in de uitloop vindt plaats door een sturing in het mestgedrag in combinatie met het toepassen van goed doorlatende roosters op de mestplaats. Beperking van de putemissie in de uitloop vindt plaats door het verkleinen van het emitterend mestoppervlak middels het toepassen van water- en mestkanalen.

In de uitloop wordt één mestkanaal toegepast (onder de mestplaats) en één of meerdere waterkanalen.

Vloeruitvoering:

De uitloop moet voor 50% dicht zijn. De definitie van 'dicht' is dat de vloer een maximale doorlaat heeft van 5%. Dus maximaal 5% van de vloer is open via spleten of gaten. Wanneer de dichte vloer doorlaatopeningen bevat dan worden de kanalen hieronder waterkanalen, zodat de geringe hoeveelheid urine en feces die hierin terecht komen voldoende worden verdund.

Mest- en waterkanalen:

Onder elk hok moet minimaal één mestkanaal liggen in de uitloop. Het mestkanaal wordt daar gesitueerd waar de meeste mest wordt verwacht. De rest van het hok in de uitloop, buiten de dichte vloeren, kan voorzien worden van waterkanalen. In de stal zijn waterkanalen niet geschikt aangezien daar stro(oisel) in het kanaal zal komen waardoor de verwijdering van de verdunde mest problemen zal opleveren.

Bijlage 1e. Toepassing van een (hellende, bolle of V-vormige) mestband

Werkingsprincipe:

De ammoniakuitstoot wordt beperkt door de mest en urine op te vangen op mestbanden die zich onder de roostervloeren bevinden. Omdat de mestbanden (al dan niet in combinatie met een urinegoot) zowel in dwarsrichting als in lengterichting hellend zijn wordt de urine continu afgevoerd. De mest wordt verwijderd doordat de mestband meerdere keren per etmaal wordt afgedraaid. Mestbanden zijn zowel onder de roosters in de stal als onder de roosters in de uitloop toepasbaar.

Bijlage 1f. Rondloopstal met zeugvoerstation en strobed

Werkingsprincipe:

Ammoniakemissiebeperking is gebaseerd op een verkleining van het emitterend oppervlak door sturing van het mestgedrag en het veranderen van de mestsamenstelling (opname stro door de zeugen). Daarbij spelen de specifieke stalindeling, die gericht is op het zo ongestoord mogelijk laten verlopen van de dagelijkse activiteiten, en het toepassen van "mest- en stromanagement" een belangrijke rol.

In de uitloop (buiten) wordt 1 mestkanaal gesitueerd ter hoogte van de mestplaats en verder waterkanalen; binnen wordt buiten het strobed een mestkanaal gesitueerd met een mestschuif of mestband.

Bijlage 2 Berekening van de ammoniakemissie reductie uit de mestkelder bij toepassing van een mestband

Referentie: Aarnink AJA, Huis in 't Veld J, Hol A, Vermeij I (2007) Kempfarm vleesvarkensstal: milieu-emissies en investeringskosten. Animal Sciences Group, Lelystad, pp. 32.

Tabel berekening

Referentiestal (0,8 m² hokopp. per varken)

Emissie mestkelder	2,00 kg/j per varkensplaats	[15]
Emissie betonnen rooster	0,75 kg/j per varkensplaats	[15]

Stal met mestband (0,8 m² hokopp. per varken)

Winterperiode, totale emissie	0,65 kg/j per varkensplaats	
Emissie vanaf roostervloer (driekant)	0,24 kg/j per varkensplaats	[15]
Emissie vanaf dichte vloer	0,09 kg/j per varkensplaats	6,8% bevuild [13]

De ammoniakreductie uit de mestkelder door toepassing van een mestband kan nu als volgt worden berekend:

$$E_{red_kelder} = \text{percentage}(1 - (0,65 - 0,24 - 0,09) / 2,00) = 84\%$$

NB. We gebruiken alleen de winterperiode om de reductie te berekenen, omdat de extra emissie in de zomerperiode waarschijnlijk vooral afkomstig was van de vloer (extra bevuilding)

Bijlage 3 Metingen ammoniakemissie, temperatuur en luchtsnelheid in biologische varkenstallen

Inleiding

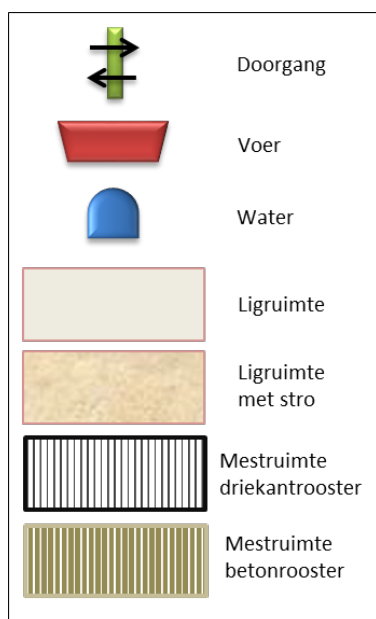
Het doel van dit deelonderzoek is om het beschikbare rekenmodel voor het inschatten van de ammoniakemissie te voorzien van de juiste invoergegevens. Hiervoor moeten een aantal vragen worden beantwoord:

- *Hoe hoog is de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de mest in biologische varkensstallen?* De oppervlaktetemperatuur van de mest is van invloed op de ammoniakemissie. Deze temperatuur is in biologische stallen met uitloop naar verwachting lager dan in reguliere stallen.
- *Hoe hoog is de gemiddelde luchtsnelheid boven de vloer van de uitloop en boven het mestoppervlak in biologische varkensstallen?* De emissiesnelheid van ammoniak vanaf een emitterend oppervlak is niet alleen afhankelijk van de temperatuur van dit oppervlak, maar tevens van de luchtsnelheid over het emitterend oppervlak. In de mestkanalen van de uitloop van biologische varkens zou dit hoger kunnen zijn dan in reguliere stallen.
- *Wat is de variatie in de ammoniakemissie in verschillende delen van de mestkelder?* Verschillen in ammoniakemissie kunnen vooral optreden als het hok verschillende mestkanalen heeft, bijvoorbeeld een kanaal binnen en buiten. Daar waar weinig wordt gemest kan uitputting van ammonium in de bovenste laag van de mest optreden, waardoor de ammoniakemissie op die plek zal afnemen.

Materiaal en methode

Stallen

Het onderzoek is uitgevoerd op twee biologische varkensbedrijven. Op elk bedrijf zijn metingen in één hok uitgevoerd bij de dragende zeugen, kraamzeugen, gespeende biggen en vleesvarkens. De volgende paragrafen geven de hokbeschrijvingen en plattegronden per bedrijf weer. Figuur 1 geeft de legenda weer van deze plattegronden. In de bijlagen bij de metingen zijn tekeningen en foto's opgenomen van de stallen en de hokken van beide bedrijven.

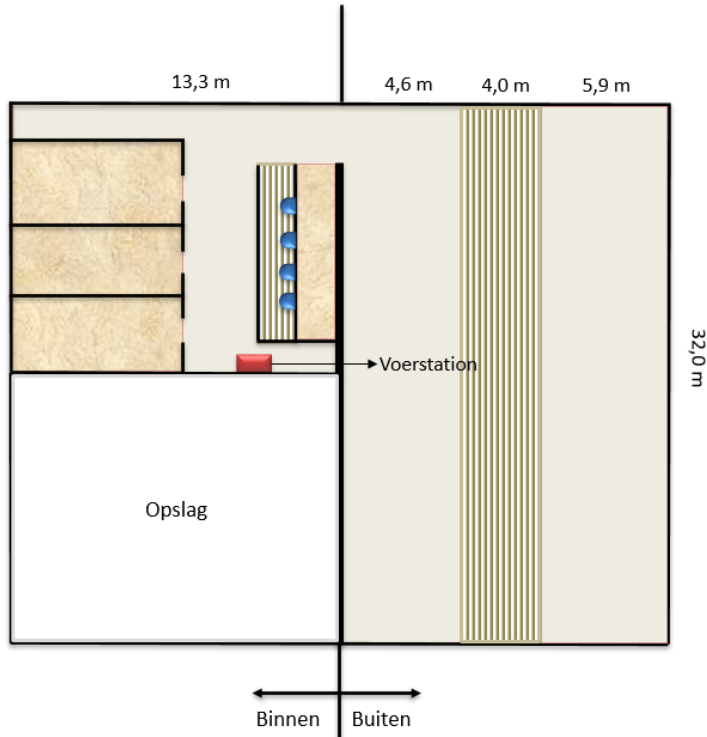


Figuur 1 Legenda voor de hokbeschrijvingen

Biologisch bedrijf 1

Dragende zeugen

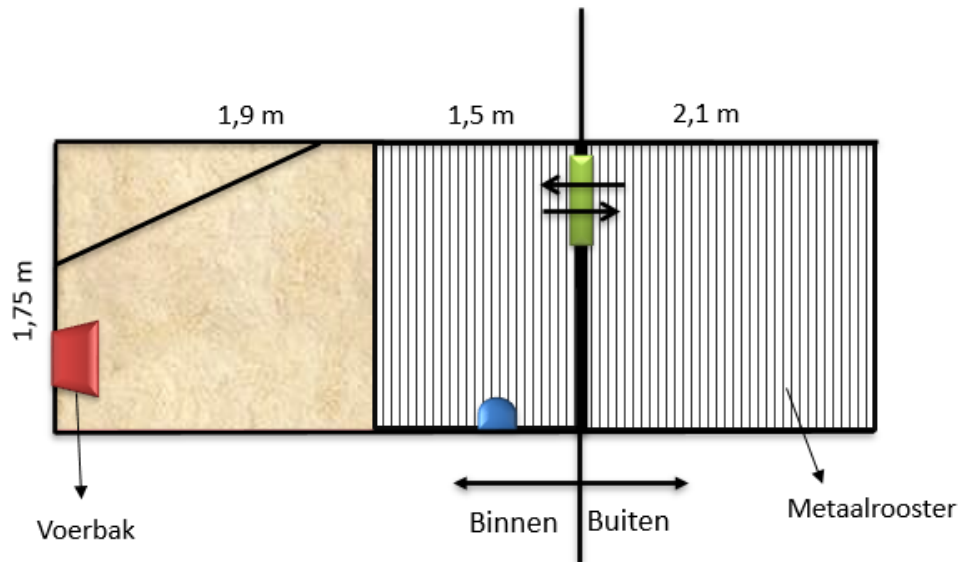
De metingen zijn uitgevoerd in het groepsverblijf van de zeugen met 270 dierplaatsen (Figuur 2). Binnen zijn 3 ingestrooide rust-ruimten voor de zeugen aanwezig. De dieren hebben een oppervlakte van 266 m² binnen en 464 m² buiten. Indien de (weers)omstandigheden het toelaten hebben de zeugen ook toegang tot de weide. De beschikbare ruimte is dan een veelvoud van de eerder genoemde oppervlakte. Zowel binnen als buiten zijn de aanwezige roostervloeren van beton. De kelderdiepte bedraagt 1,75 m. Het verblijf van de zeugen wordt natuurlijk geventileerd en de varkens worden binnen beperkt gevoerd via het voerstation en buiten met ruwvoer. Binnen zijn drinkbakjes aanwezig.



Figuur 2 Plattegrond van de stal voor dragende zeugen

Kraamzeugen

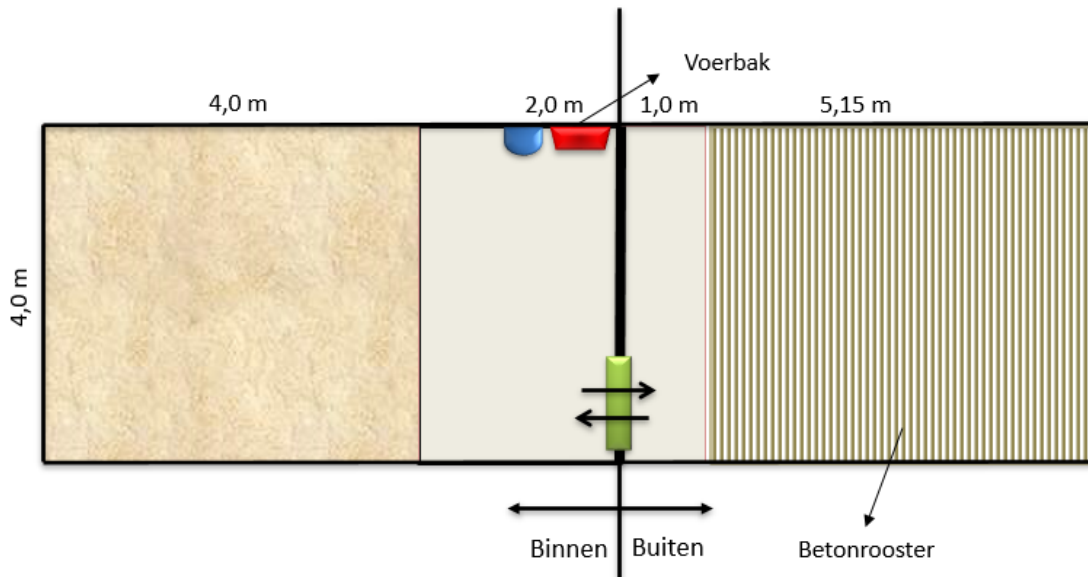
De metingen zijn uitgevoerd in één kraamhok (Figuur 3). In tegenstelling tot alle overige metingen op beide biologische varkensbedrijven, is op dit bedrijf bij de kraamzeugen, niet buiten maar binnen onder de roostervloer gemeten. De spleetafstand van de metaalroosters in de uitloop was dermate krap dat de 'paraplu' er niet doorheen paste. De onderliggende kelder van de uitloop stond in verbinding met de kelder binnen in de stal door een opening in de buitenmuur. De zeug en biggen hebben een oppervlakte van 5,95 m²/zeug binnen en 3,70 m²/zeug buiten. Het aandeel roostervloer binnen is 44% en buiten 100%. Zowel binnen als buiten zijn metaalroosters aanwezig en de kelderdiepte bedraagt 1,75 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd, de varkens worden beperkt gevoerd en drinkwater kan onbeperkt opgenomen worden via een drinknippel met een morsbakje.



Figuur 3 Plattegrond van het kraamzeugenhok

Gespeende biggen

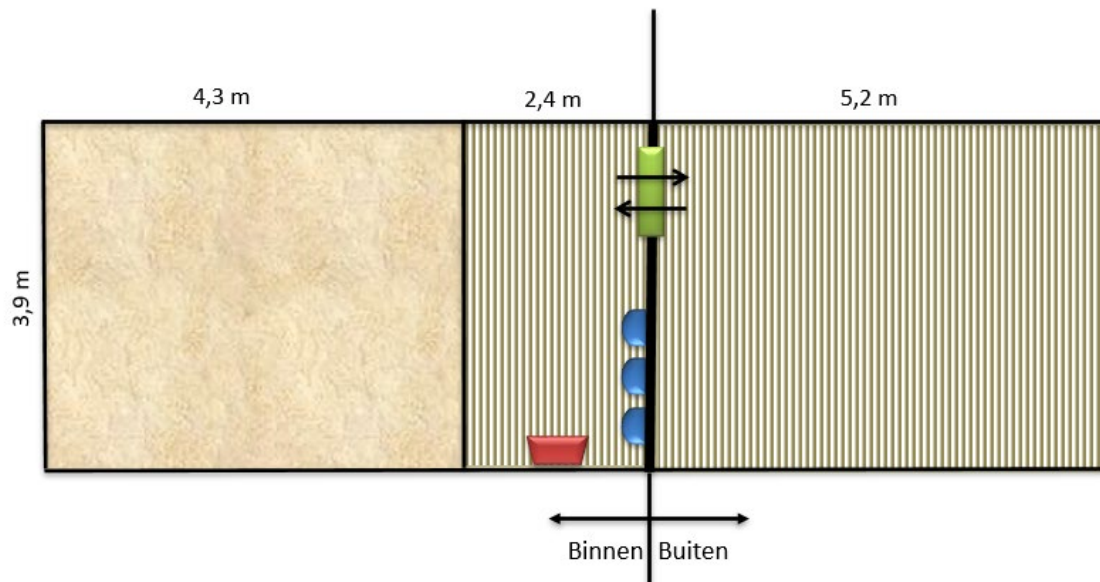
De metingen zijn uitgevoerd in één hok (Figuur 4) voor 20 dieren. De dieren hebben een oppervlakte van $1,2 \text{ m}^2/\text{dier}$ binnen en $1,2 \text{ m}^2/\text{dier}$ buiten. Binnen is het hok voorzien van een dichte vloer, waarvan het grootste gedeelte is ingestrooid, en buiten bestaat de vloer uit 84% betonrooster, met hieronder een mestkelder met een diepte van 1,0 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd en de biggen worden onbeperkt gevoerd en een drinknippel met morsbakje is aanwezig.



Figuur 4 Plattegrond van het gespeende biggenhok

Vleesvarkens

De metingen zijn uitgevoerd in één hok (Figuur 5) voor 20 dieren. De vleesvarkens hebben een oppervlakte van $1,3 \text{ m}^2/\text{dier}$ binnen en $1,0 \text{ m}^2/\text{dier}$ buiten. Het aandeel roostervloer binnen is 36% en buiten 100%. De roosters binnen zijn van metaal en hieronder ligt een mestschuif. Buiten liggen betonroosters met hieronder een mestkanaal met een diepte van 1,3 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd en de varkens worden onbeperkt gevoerd en drinknippels met morsbakje zijn aanwezig.

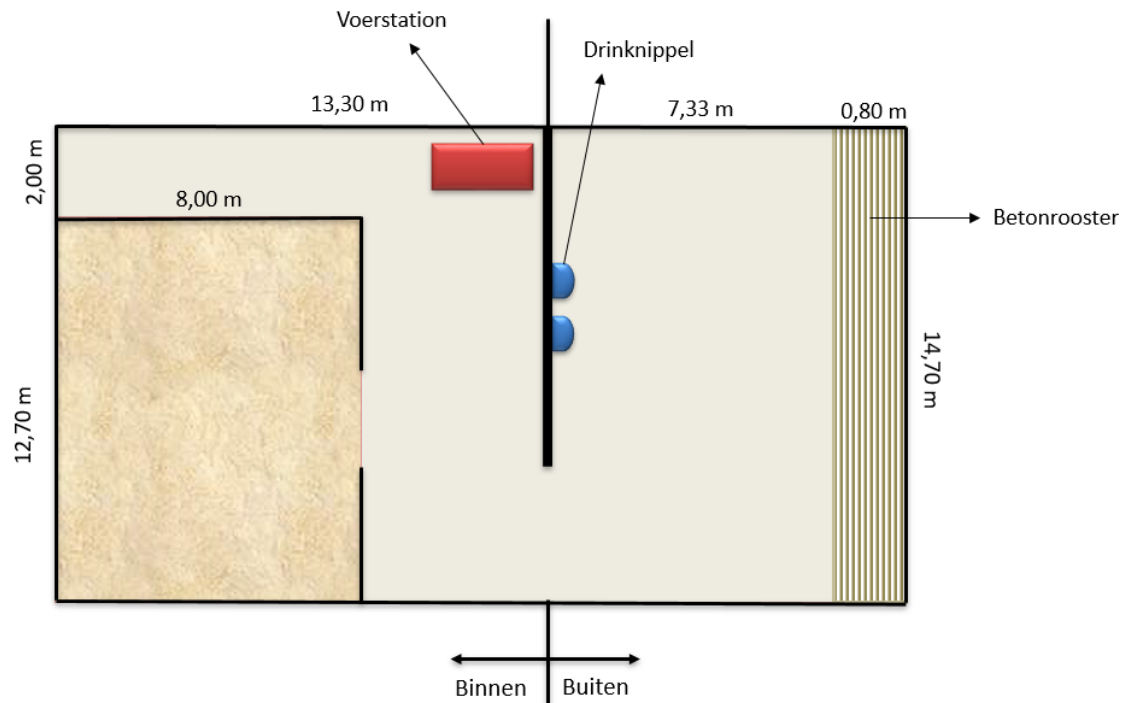


Figuur 5 Plattegrond van het vleesvarkenshok

Biologisch bedrijf 2

Dragende zeugen

De metingen zijn uitgevoerd in één stal (Figuur 6). Tijdens de 6 meetdagen waren gemiddeld 107 zeugen aanwezig. De dieren hebben een oppervlakte van 186 m² binnen en 120 m² buiten. Het strooppervlak binnen is 55%, het aandeel roostervloer buiten is 10%. Buiten liggen betonroosters met hieronder een mestkelder met een diepte van 0,8 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd en de varkens worden beperkt gevoerd en een drinknippel met morsbakje is aanwezig.

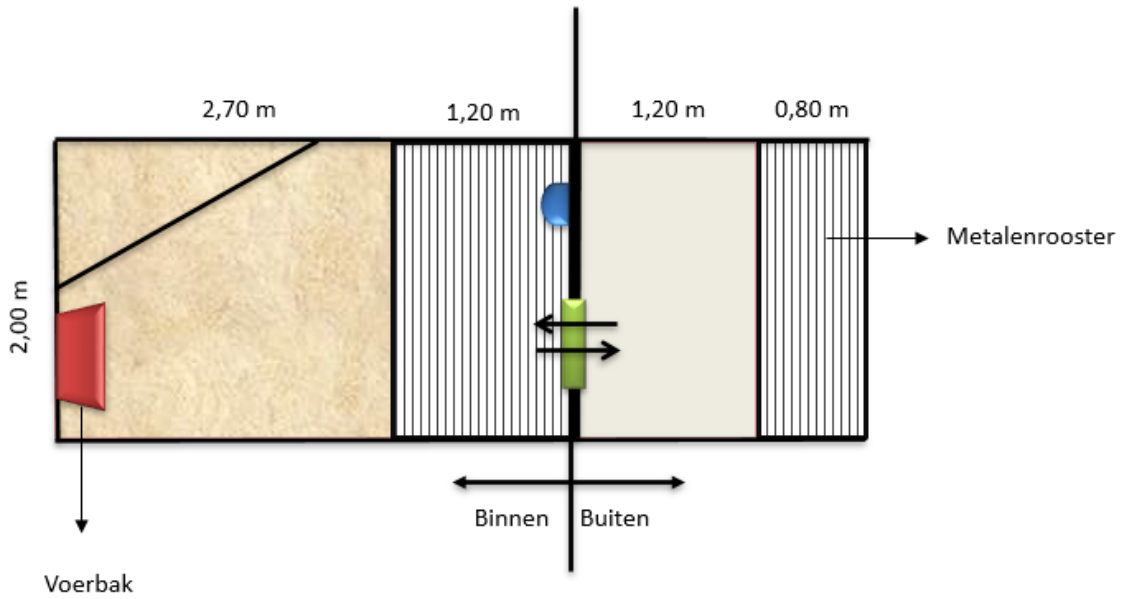


Figuur 6 Plattegrond van de dragende zeugen

Kraamzeugen

De metingen zijn uitgevoerd in één hok (Figuur 7). De zeug en biggen hebben een oppervlakte van 7,8 m² binnen en 4,0 m² buiten. Het aandeel roostervloer binnen is 31% en buiten 40%. De roosters binnen zijn van metaal en hieronder ligt een mestschuif. Buiten liggen ook metaalroosters met

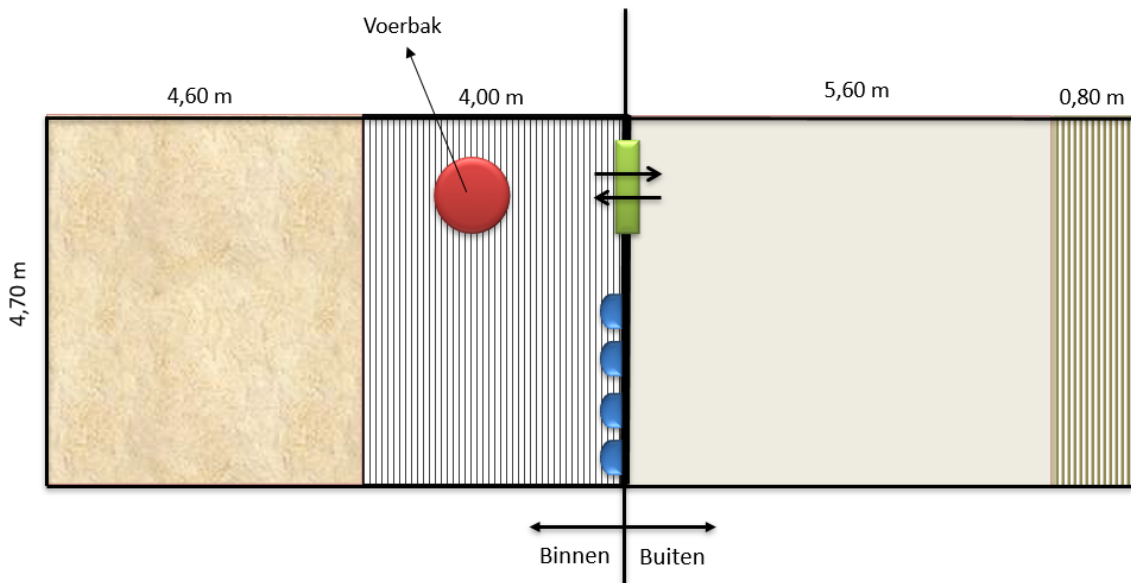
hieronder een mestkelder met een diepte van 0,8 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd en de zeug wordt beperkt gevoerd (zie bijlagen bij de metingen) en een drinknippel is aanwezig.



Figuur 7 Plattegrond van het kraamzeugenhok

Gespeende biggen

De metingen zijn uitgevoerd in één hok (Figuur 8). Tijdens de 6 meetdagen was de gemiddelde bezetting 64 gespeende biggen. De dieren hebben een oppervlakte van 0,63 m²/dier binnen en 0,47 m²/dier buiten. Het aandeel roostervloer binnen is 46% en buiten 13%. De roosters binnen zijn van metaal en hieronder ligt een mestschuif. Buiten liggen betonroosters met hieronder een mestkelder met een diepte van 0,8 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd en de varkens worden beperkt gevoerd. Drinknippels met morsbakje zijn binnen aanwezig.

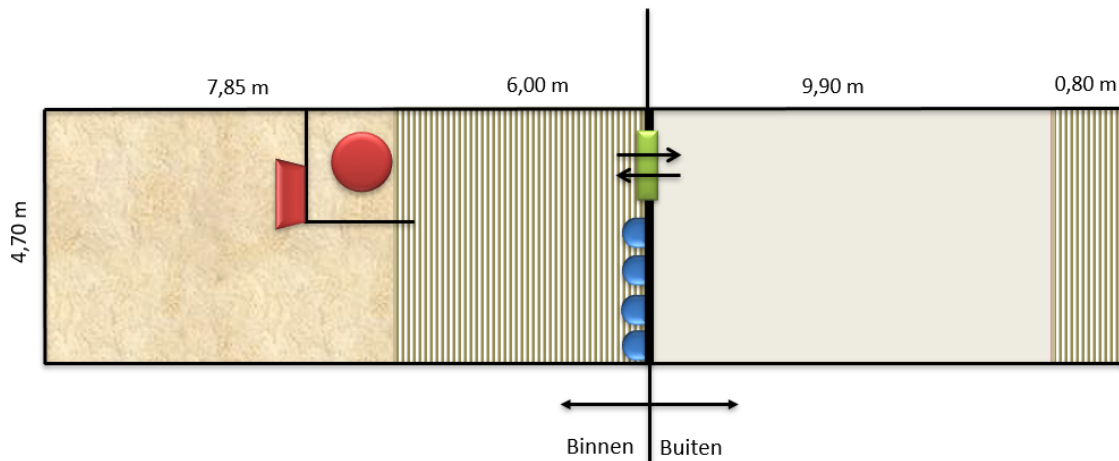


Figuur 8 Plattegrond van het gespeende biggenhok

Vleesvarkens

De metingen zijn uitgevoerd in één hok (Figuur 9). Tijdens de 6 meetdagen was de gemiddelde bezetting 55 vleesvarkens. De dieren hebben een oppervlakte van 1,2 m²/dier binnen en 0,9 m²/dier buiten. Het aandeel roostervloer binnen is 43% en buiten 7,5%. De roosters binnen zijn van metaal en hieronder ligt een mestschuif. Buiten liggen betonroosters met hieronder een mestkelder met een

diepte van 0,8 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd en de varkens worden beperkt gevoerd en drinknippels met morsbakje zijn binnen aanwezig.



Figuur 9 Plattegrond van het vleesvarkenshok

Metingen en waarnemingen

Globale methodebeschrijving

De vragen zijn beantwoord door metingen uit te voeren gedurende de periode van februari tot en met oktober 2021. De oppervlaktetemperatuur van de mest en de temperatuur en luchtsnelheid net boven de mest en boven de vloer van de uitloop zijn gemeten buiten de stal. De metingen zijn uitgevoerd op twee representatieve biologische bedrijven bij dragende zeugen, kraamzeugen, gespeende biggen en vleesvarkens. De gemeten temperaturen en luchtsnelheden zijn vergeleken tussen de meetpunten boven de vloer van de uitloop, boven het mestoppervlak in de put en met KNMI metingen van het dichtstbijzijnde weerstation.

Op dezelfde bedrijven is tevens de ammoniakemissie op verschillende plekken in de verschillende mestkanalen gemeten. Hiervoor is de statische boxmethode gebruikt. Hierbij is via de spleten van de roostervloer een meetdoos (een omgekeerde paraplu) op het emitterend oppervlak geplaatst (Figuur 10). De snelheid van de toename van de ammoniakconcentratie in deze meetdoos is een maat voor de ammoniakemissie vanaf het afgesloten oppervlak [31]. Deze metingen geven een indicatie van relatieve verschillen in emissiesterkte in ruimte (verschillende diercategorieën) en tijd (verschillende seizoenen). De waarden kunnen niet worden gebruikt voor bepaling van absolute emissies, aangezien het emitterend oppervlak wordt afgesloten waardoor er een minimale luchtsnelheid is over het emitterend oppervlak (alleen voor monsternamen van de lucht).



Figuur 10 Omgekeerde paraplu voor het meten van de ammoniakproductie uit de mest. Het voordeel van de paraplu is dat deze door de roosterspleten gestoken kan worden. In dit geval is het rooster er afgehaald.

Materiaal

De volgende materialen zijn gebruikt in dit onderzoek:

- 1 omgekeerde paraplu die geschikt is voor metingen in de mestkelder op de biologische varkensbedrijven. De paraplu is dusdanig geconstrueerd dat deze door de spleten van de roostervloeren kan worden gestoken
- 1 NH₃-sensor (Draeger Polytron 8000) met pomp
- 1 handheld infrarood oppervlakte-T meter (Raytec)
- 2 luchtsnelheid-sensoren (Schmidt Flowsensor ss20.250)
- 2 temperatuur sensoren (PT100)
- 1 Datalogger (Campbell Koenders)
- 1 IR-afstandsmeter

Meting ammoniakproductie

De twee biologische bedrijven zijn, tijdens de meetperiode van februari tot en met oktober, 6x bezocht. Tijdens deze bezoeken is het volgende gemeten bij de verschillende categorieën varkens (dragende zeugen, kraamzeugen, gespeende biggen en vleesvarkens):

- Paraplumetingen: bij elke diercategorie zijn (op verschillende locaties in hetzelfde hok) 3 metingen in de mestkanalen buiten uitgevoerd. Dit zijn in totaal 12 metingen. Elke meting duurde tenminste 10 minuten en gegevens zijn met korte intervallen van 15 sec gelogd.
- De paraplu is, onder de roostervloer maar boven het mestoppervlak, open gevouwen en vervolgens op het mestoppervlak geplaatst, zodanig dat het mestoppervlak onder de paraplu volledig is afgesloten.
- Een pompje zoog vervolgens een constante luchtstroom (3 L/min) vanonder de paraplu aan en leidde deze langs de NH₃-sensor. De lucht is vervolgens weer naar de ruimte onder de paraplu geleid, zodat hier geen onderdruk ontstond.
- Alle herhaalde metingen zijn telkens in dezelfde dierhokken uitgevoerd.

Meting luchtsnelheid en lucht- en mesttemperatuur

Parallel aan de paraplumetingen zijn in hetzelfde hok de luchtsnelheid en temperatuur gelijktijdig 10 cm boven het mestoppervlak en 1,0 meter boven de vloer van de uitloop gemeten. De metingen duurden ca. 10 minuten en data is elke 15 seconden gelogd met een datalogger.

Vooraf aan de paraplumeting op een bepaalde locatie is de oppervlaktetemperatuur van de mest gemeten met de infrarood temperatuurmeter. Alle herhaalde metingen zijn telkens in dezelfde dierhokken uitgevoerd.

De weergegevens van elk uur van het dichtstbijzijnde weerstation zijn gedownload van het KNMI. Voor beide meetlocaties was dit station 356 in Herwijnen. Hierbij zijn de volgende gegevens van belang: temperatuur (T), relatieve luchtvochtigheid (RV), windsnelheid en neerslag.

Waarnemingen

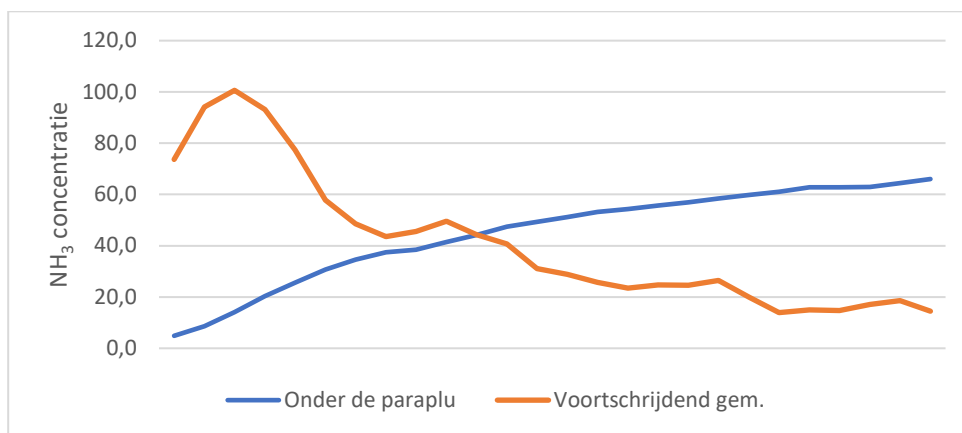
De volgende waarnemingen zijn gedaan tijdens de meetdagen (elk bezoek):

- Intekenen van het met urine bevuild oppervlak van de dichte vloeren.
- Boven welk(e) mestkanaal/-kanalen wordt er (vooral) gemest/geürineerd.
- Aantal dieren in het hok.
- Visuele beoordeling van de mest waar de paraplumetingen worden gedaan. Daarbij is het volgende beoordeeld:
 - Dikte van de mest: dun (vloeibaar als water), normaal (stroperig), dik (zeer stroperig tot bijna vast).
 - Mest bevat wel of geen stro(oisel).

Analyse gegevens

Data verwerking van de ammoniakproductie:

- De NH_3 -concentratie is iedere 15 seconden gemeten in ppm, deze waarden zijn omgezet naar $\text{mg NH}_3/\text{m}^3$.
- Vervolgens is de toename in de tijd (elke 15 sec) berekend en uitgedrukt in mg NH_3 per minuut per m^2 en vervolgens in $\text{g NH}_3/\text{m}^2/\text{jaar}$.
- Het voortschrijdend gemiddelde van telkens 4 meetwaarden is vervolgens berekend, waarbij elke 15 sec een meting werd gedaan en dus steeds het (voortschrijdend) gemiddelde is berekend van 1 minuut van de metingen.
- De hoogst berekende gemiddelde minuut-waarde van de eerste 3 minuten is vervolgens geselecteerd als de emissiewaarde. Dit is op deze manier gedaan omdat de eerste paar metingen vaak nog een aanloop laten zien waarna de gemiddelde minuutwaarde gaat pieken bij het einde van het lineaire verloop en vervolgens weer gaat afvlakken vanwege de toenemende ammoniakconcentratie onder de paraplu. Een voorbeeld van het verloop van de ammoniakconcentratie onder de paraplu en het verloop van het voortschrijdend gemiddelde van de minuutwaarden is weergegeven in figuur 11.



Figuur 11 Voorbeeld van het verloop van de ammoniakconcentratie onder de paraplu en het verloop van de gemiddelde concentratieverandering van de laatste 4 metingen (1 meting per 15 sec), aangegeven als voortschrijdend gem.

De volgende relaties zijn gelegd op basis van de meetgegevens:

- De relaties tussen de temperaturen van de lucht en van de mest in de mestkelder en boven de vloer met de NH_3 productie. Tevens zijn relaties gelegd tussen de temperaturen gemeten door het KNMI (op 1,5 m hoogte) en de temperaturen van de mest en de lucht boven de mestoppervlakken.
- De NH_3 productie en de totale neerslag van 3 en 7 dagen voor een meting. Dit is gedaan om een mogelijk effect van meer of minder neerslag in de dagen voorafgaand aan de metingen op de NH_3 productie (in de mestkelder van de uitloop) te bepalen.

- Luchtsnelheid boven het mestoppervlak en luchtsnelheid boven de vloer van de uitloop. Tevens relatie van deze luchtsnelheden met de windsnelheid gemeten door het KNMI op 10 meter hoogte.

Voor het leggen van relaties met de NH₃ producties is de gemeten NH₃ productie per diercategorie gestandaardiseerd over de twee bedrijven heen, wat resulteert in een verhoudingsgetal. Dit is berekend met behulp van de volgende formule:

$$R_{\text{NH}_3}^2 = \text{Gemeten NH}_3 \text{ productie} / \text{Gemiddeld gemeten NH}_3 \text{ productie diercategorie}$$

Daarnaast is het effect van type roostervloer op de luchtsnelheid boven het mestoppervlak getoetst, en het effect van de loef- of lijzijde van het meetpunt op de luchtsnelheid boven het mestoppervlak en boven de vloer van de uitloop. Deze effecten zijn getoetst met een ongepaarde t-toets met $\alpha = 0,05$.

Resultaten

Ammoniakproductie vanuit de mestkelder

In Tabel 1 wordt de gemiddelde ammoniakproductie (g/m² per jaar) weergegeven per diercategorie en de bijbehorende temperaturen van de lucht boven de vloer van de uitloop, boven het mestoppervlak en de gemeten temperatuur en luchtvochtigheid door het KNMI bij het dichtstbijzijnde weerstation. De ammoniakproductie van de gespeende biggen komt op een gemiddelde (\pm s.d.) van 433 ± 444 g/m² per jaar, de dragende zeugen op 858 ± 600 g/m² per jaar, de kraamzeugen op 258 ± 340 g/m² per jaar en de vleesvarkens op 1288 ± 1004 g/m² per jaar. Zoals de standaarddeviaties laten zien zit er een grote variatie tussen de metingen. Tabel 2 geeft daarom de ammoniakproductie per diercategorie per bedrijf weer, waaruit de verschillen in ammoniakproductie tussen bedrijf 1 en 2 naar voren komen. Het grootste verschil tussen beide bedrijven zit bij de kraamzeugen ($46,6$ vs $434,2$ g/m² per jaar) en is mogelijk te verklaren door het feit dat de ammoniakemissie op bedrijf 1 is gemeten in de stal en niet in de uitloop zoals bij alle andere metingen. Op bedrijf 1 was een grotere mestkelder aanwezig, welke vanuit het binnen verblijf doorliep naar de uitloop. De mest in het keldergedeelte in de stal bevatte hierdoor veel stro, waardoor op het mestoppervlak een droge harde korst gevormd was. Hierdoor is waarschijnlijk een lagere ammoniakproductie gemeten bij bedrijf 1 tegenover de hogere productie uit de drijfmest bij bedrijf 2. Door deze droge korst kan het zijn dat de paraplu tijdens de metingen niet altijd goed afgesloten is geweest, waardoor er mogelijk extra lucht aangezogen is. De metingen op bedrijf 1 bij de kraamzeugen geven daarom geen representatief beeld van de ammoniakemissie vanuit de mestkelders in de uitloop bij kraamzeugen. Het laat wel zien dat op plekken waar weinig wordt gemest de ammoniakemissie relatief laag kan zijn.

Bedrijf 1 laat een hogere ammoniakproductie zien bij de gespeende biggen, terwijl dit bij de dragende zeugen, vleesvarkens en kraamzeugen bij bedrijf 2 hoger was. Deze verschillen tussen bedrijven komt overeen met een eerder onderzoek van Ivanova-Peneva et al. [32], waarbij de ammoniakemissie bij dragende zeugen onderzocht is. Echter, hebben zij ook de ammoniakproductie van de dichte vloer meegenomen in de resultaten, wat in dit onderzoek niet het geval is.

Ook binnen het bedrijf is de variatie tussen de metingen groot. Deze variatie is mogelijk voor een (belangrijk) deel te verklaren door de invloed van weersomstandigheden, vooral de invloed van temperatuur en neerslag. Een hogere temperatuur zorgt voor een snellere vervluchtiging van ammoniak uit de mest. Figuren 12 t/m 14 geven de relaties weer tussen de temperaturen en gestandaardiseerde ammoniakproducties van alle metingen. De resultaten uit de figuren laten duidelijke positieve relaties zien, waarbij de ammoniakproductie toeneemt bij een toenemende temperatuur, zowel gemeten boven het mestoppervlak als boven de vloer van de uitloop, en wanneer de KNMI temperatuur toeneemt.

Er is geen relatie tussen de ammoniakproductie met de verdunning door neerslag (mm per dag) in de voorafgaande 3 of 7 dagen voor een meting aangetoond.

Uitlopen mogen voor maximaal 75% overkapt zijn. Hierdoor is het laatste deel van de uitloop open en hier zit over het algemeen het rooster waar de varkens het meest mesten, aangezien varkens in het algemeen de mest zo ver mogelijk van het lignest deponeren. Door dit open gedeelte komt de

² Relatieve gemeten NH₃ emissie, gestandaardiseerd per diercategorie

neerslag deels in de mestput waardoor de mest enigszins wordt verdund. Uit dit onderzoek bleek dit effect echter niet significant aangetoond te kunnen worden. Waarschijnlijk is het verdunningseffect in verhouding tot de variaties in de metingen te gering om aan te tonen. Verdunning van de mest met water is het meest efficiënt om ammoniak te reduceren in kanalen waar weinig wordt gemest. Aangezien het kanaal waar de neerslag terecht komt juist het kanaal is waar de varkens het meeste mesten, is het begrijpelijk dat we geen duidelijk effect van neerslag op de ammoniakemissie hebben kunnen meten.

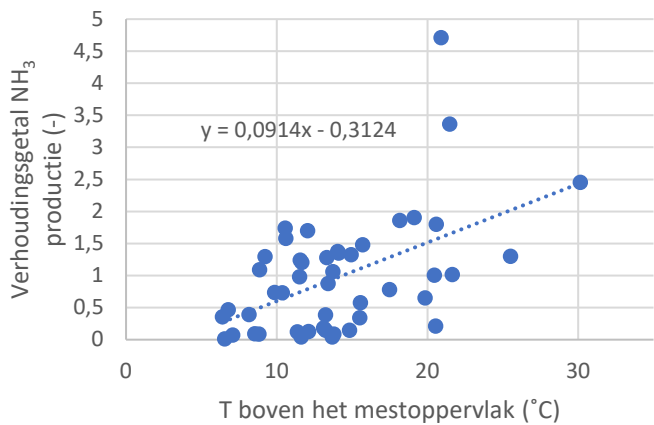
Op de meetdagen konden slechts een beperkt aantal metingen worden uitgevoerd. Aangezien de emissies vooral van de uitloop komen, is er voor gekozen om de metingen tot de uitloop te beperken en niet in de mestkanalen binnen waar weinig wordt gemest. In de mestkanalen buiten konden we ook maar een beperkt aantal metingen doen en er was geen aanleiding te veronderstellen dat er veel variatie zou zitten in de emissies tussen de verschillende hokken.

*Tabel 1 Gemiddelde NH₃ productie (g/m² per jaar), gemiddelde temperaturen (°C) van de lucht boven de vloer van de uitloop, boven het mestoppervlak en van het dichtsbijzijnde weerstation van KNMI, en de relatieve luchtvochtigheid (RH) tijdens de uitgevoerde metingen **per diercategorie**. Standaard deviaties zijn weergegeven tussen haakjes.*

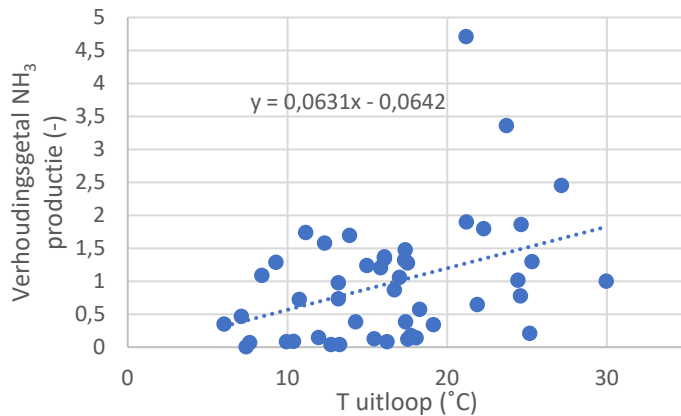
	NH ₃ productie g/m ² per jaar	T uitloop °C	T boven het mestoppervlak °C	T KNMI °C	RV KNMI %
Biggen	433 (445)	16,5 (5,6)	13,6 (4,6)	15,2 (5,8)	46,6 (32,9)
Dragende zeugen	858 (600)	17,0 (7,0)	15,2 (6,0)	15,6 (6,0)	44,4 (29,8)
Kraamzeugen	258 (340)	16,3 (4,8)	13,9 (3,9)	14,7 (5,0)	44,4 (32,5)
Vleesvarkens	1288 (1004)	17,4 (5,9)	15,0 (7,0)	15,6 (5,5)	46,8 (30,1)

*Tabel 2 Gemiddelde NH₃ productie (g/m² per jaar), gemiddelde temperaturen (°C) van de lucht boven de vloer van de uitloop, boven het mestoppervlak en van het dichtsbijzijnde weerstation van KNMI, en de relatieve luchtvochtigheid (RH) tijdens de uitgevoerde metingen **per bedrijf en per diercategorie**. Standaard deviaties zijn weergegeven tussen haakjes.*

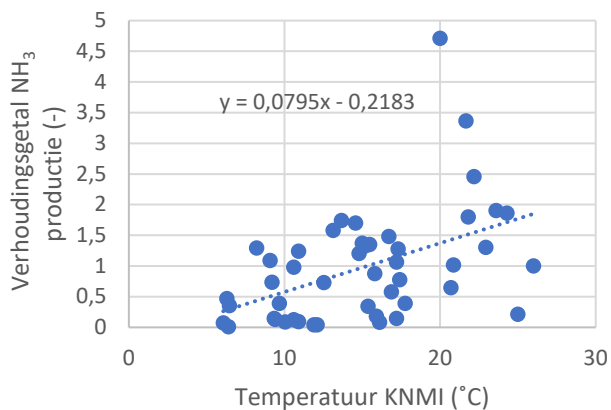
		NH ₃ productie g/m ² per jaar	T uitloop °C	T boven het mestoppervlak °C	T KNMI °C	RV KNMI %
Bedrijf 1	Biggen	516 (318)	16,3 (6,3)	13,6 (4,8)	15,6 (6,4)	59,3 (30,6)
	Dragende zeugen	698 (631)	20,1 (6,5)	18,1 (5,5)	17,9 (5,9)	50,8 (23,5)
	Kraamzeugen	47 (30)	18,2 (4,2)	15,0 (3,2)	15,5 (5,5)	55,6 (29,3)
	Vleesvarkens	1108 (853)	15,8 (4,7)	13,2 (4,9)	15,1 (5,6)	59,0 (28,0)
Bedrijf 2	Biggen	346 (544)	16,7 (5,0)	13,6 (4,6)	14,9 (5,1)	33,3 (30,7)
	Dragende zeugen	1044 (519)	13,4 (5,9)	11,7 (4,8)	12,8 (4,9)	36,9 (35,1)
	Kraamzeugen	434 (380)	14,7 (4,8)	12,9 (4,2)	14,0 (4,5)	35,1 (32,8)
	Vleesvarkens	1468 (1127)	19,0 (6,7)	16,8 (8,3)	16,0 (5,4)	34,5 (27,5)



Figuur 12 Relatie tussen de gestandaardiseerde NH₃ productie en de temperatuur boven het mestoppervlak (°C)



Figuur 13 Relatie tussen de gestandaardiseerde NH₃ productie en de temperatuur boven de vloer van de uitloop (°C)



Figuur 14 Relatie tussen de gestandaardiseerde NH₃ productie en de KNMI temperatuur van het dichtstbijzijnde weerstation (°C)

Mesttemperatuur en invloed op de ammoniakproductie

In Tabel 3 wordt de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de mest (T mest) weergegeven per diercategorie en de bijbehorende gemiddelde temperatuur van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation. De oppervlaktetemperaturen zijn opgesplitst per diercategorie, aangezien elke categorie een andere mestproductie heeft. De gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de mest in de mestkelder van de uitloop bij de gespeende biggen was $14,6 \pm 4,0$ °C, bij de dragende zeugen $14,3 \pm 3,1$ °C, bij de kraamzeugen $15,3 \pm 3,7$ °C en bij de vleesvarkens $15,4 \pm 4,8$ °C.

Figuur 15 laat een positieve relatie zien tussen de gestandaardiseerde ammoniakproductie en de temperatuur van het mestoppervlak. Vijf outliers zijn daarbij weg gelaten na het uitvoeren van een outlier test. We vinden de volgende relatie tussen T mest en de gestandaardiseerde ammoniakproductie:

$$\text{Gest. NH}_3 \text{ productie} = 0,10 (\pm 0,01) T_{\text{Mest}} - 0,54 (\pm 0,21) \quad (R^2 = 0,26)$$

Daarnaast zijn er relaties aangetoond (Figuur 16 t/m 18) tussen de gemeten temperatuur van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation met de temperatuur van het mestoppervlak, de temperatuur boven het mestoppervlak en de temperatuur van de lucht boven de vloer van de uitloop:

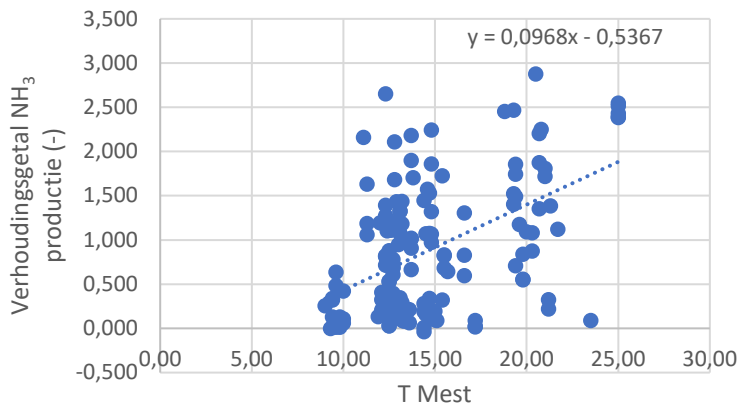
$$T_{\text{mest}} = 0,57 T_{\text{KNMI}} + 6,14 \quad (R^2 = 0,64)$$

$$T_{\text{lucht_mestoppervlak}} = 0,88 T_{\text{KNMI}} + 0,96 \quad (R^2 = 0,76)$$

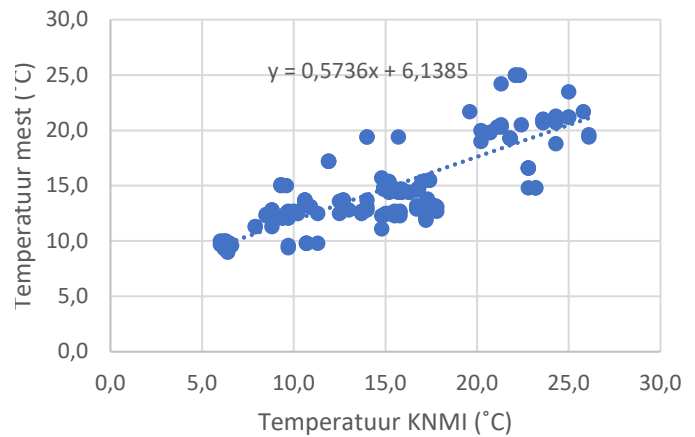
$$T_{\text{lucht_uitloop}} = 0,98 T_{\text{KNMI}} + 1,80 \quad (R^2 = 0,84)$$

Tabel 3 Gemiddelde temperatuur (T) van het mestoppervlak (°C) van de mest in de mestkelder van de uitloop en de gemiddelde KNMI temperatuur (°C) van het dichtstbijzijnde weerstation tijdens de uitgevoerde metingen per diercategorie. Standaard deviaties zijn weergegeven tussen haakjes.

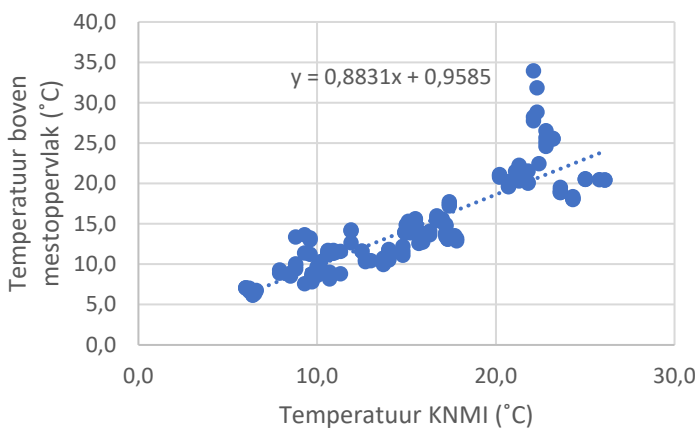
	T mest °C	T KNMI °C
Biggen	14,6 (4,0)	15,2 (5,8)
Dragende zeugen	14,3 (3,1)	15,6 (6,0)
Kraamzeugen	15,3 (3,7)	14,7 (5,0)
Vleesvarkens	15,4 (4,8)	15,6 (5,5)



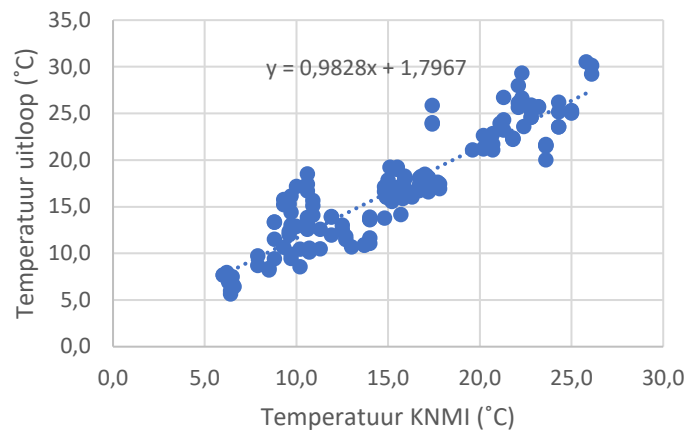
Figuur 15 Relatie tussen de gestandaardiseerde NH₃ productie en de temperatuur van het mestoppervlak (°C)



Figuur 16 Relatie tussen de temperatuur boven het mestoppervlak en de KNMI temperatuur van het dichtstbijzijnde weerstation (°C)



Figuur 17 Relatie tussen de temperatuur van het mestoppervlak en de KNMI temperatuur van het dichtstbijzijnde weerstation (°C)



Figuur 18 Relatie tussen de temperatuur boven de vloer van de uitloop en de KNMI temperatuur van het dichtstbijzijnde weerstation (°C)

Luchtsnelheid boven het mestoppervlak

In Tabel 4 worden de gemiddelde luchtsnelheden weergegeven in de mestkelder boven het mestoppervlak, boven de vloer van de uitloop en de uurgemiddelden van de windsnelheid van het KNMI op het moment van de metingen. De luchtsnelheden zijn uitgesplitst naar diercategorie. De gemiddelde luchtsnelheid boven het mestoppervlak voor gespeende biggen was $0,35 \pm 0,14$ m/s, voor dragende zeugen $0,21 \pm 0,24$ m/s, voor kraamzeugen $0,38 \pm 0,34$ m/s en voor vleesvarkens $0,43 \pm 0,18$ m/s. Luchtsnelheden boven de vloer van de uitloop waren hoger, voor de gespeende biggen was de gemiddelde luchtsnelheid $0,58 \pm 0,34$ m/s, voor de dragende zeugen $0,65 \pm 0,45$ m/s, voor de kraamzeugen $0,45 \pm 0,50$ m/s en voor de vleesvarkens $0,53 \pm 0,41$ m/s.

Tabel 5 geeft de gemiddelde luchtsnelheden weer opgesplitst naar bedrijf, omdat de uitlopen tussen deze twee bedrijven van elkaar verschilden. De gemiddelde luchtsnelheden in de mestkelders boven het mestoppervlak verschillen tussen de diercategorieën, terwijl de gemiddelde windsnelheden van het KNMI relatief kleinere verschillen laten zien. De verschillen lijken daarom meer te maken te hebben met het verschil in hokuitvoering en gebruik van het soort roostervloer. Bedrijf 2 laat voornamelijk een lagere luchtsnelheid zien bij de dragende zeugen in vergelijking met de overige diercategorieën. Een verklaring voor de hogere luchtsnelheid bij de kraamzeugen zou het gebruik van metaaldriekantroosters in plaats van een betonnen rooster zoals bij de dragende zeugen kunnen zijn. Echter, is zo'n verklaring niet te geven bij de gespeende biggen en vleesvarkens, aangezien hier ook gebruik werd gemaakt van een betonnen rooster.

Relaties zijn gevonden tussen luchtsnelheden boven het mestoppervlak, boven de vloer van de uitloop en tussen windsnelheden van het KNMI (Figuur 19 t/m 21). Voor deze relaties kunnen de volgende regressielijnen weergegeven worden:

$$V_{\text{mestoppervlak}} = 0,042 V_{\text{KNMI}} + 0,19 \quad (R^2 = 0,16)$$

$$V_{\text{uitloop}} = 0,11 V_{\text{KNMI}} + 0,17 \quad (R^2 = 0,35)$$

$$V_{\text{mestoppervlak}} = 0,10 V_{\text{uitloop}} + 0,31 \quad (R^2 = 0,03)$$

Door luchtbeweging over het mestoppervlak is er een snellere vervluchtiging van ammoniak [33, 34].

Er is geen significant verschil aangetoond in luchtsnelheden boven het mestoppervlak tussen loef- en lijzijde van de stal. Er is ook geen significant verschil aangetoond in windsnelheden boven de vloer van de uitloop tussen loef- en lijzijde van de stal.

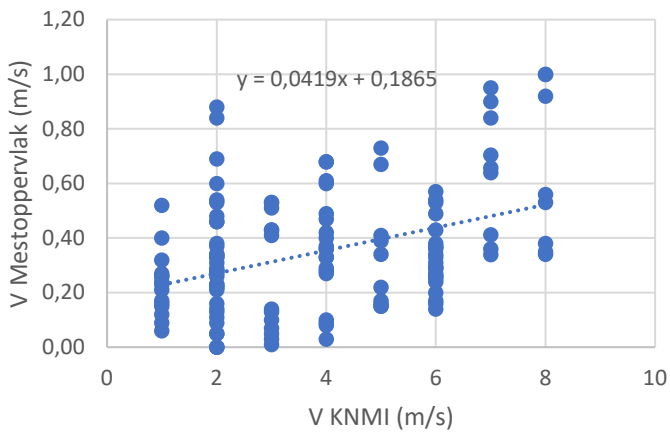
Er is geen significant verschil aangetoond in luchtsnelheden boven het mestoppervlak bij het gebruik van betonnen of metalen roosters. De grotere doorlaat van metalen driekantroosters ten opzichte van betonnen roosters zou kunnen resulteren in een hogere luchtsnelheid boven het mestoppervlak. Echter, zo'n verschil werd niet gevonden. In dit rapport zijn metalen driekantroosters alleen onderzocht bij hokontwerpen van kraamzeugen. Voor een betere analyse van de doorlaatbaarheid van lucht onder het rooster zouden metalen rooster ook bij de overige diercategorieën onderzocht kunnen worden.

Tabel 4 Gemiddelde luchtsnelheid (V) boven het mestoppervlak (m/s) van de mest in de mestkelder, boven de vloer van de uitloop en de gemiddelde KNMI windsnelheid van het dichtstbijzijnde weerstation tijdens de uitgevoerde metingen per diercategorie. Standaard deviaties zijn weergegeven tussen haakjes.

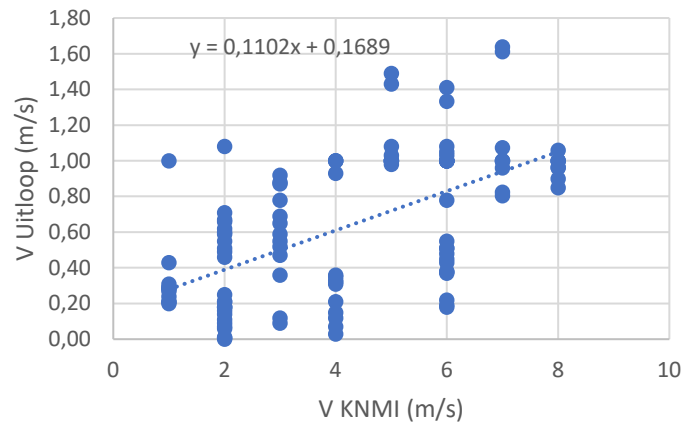
	V mestoppervlak	V uitloop	V KNMI
	m/s	m/s	m/s
Biggen	0,35 (0,14)	0,58 (0,34)	3,92 (2,33)
Dragende zeugen	0,21 (0,24)	0,65 (0,45)	3,72 (1,93)
Kraamzeugen	0,38 (0,34)	0,45 (0,50)	4,24 (2,24)
Vleesvarkens	0,43 (0,18)	0,53 (0,41)	3,81 (2,05)

Tabel 5 Gemiddelde luchtsnelheid boven het mestoppervlak (m/s) van de mest in de mestkelder, boven de vloer van de uitloop en de gemiddelde KNMI windsnelheid van het dichtstbijzijnde weerstation tijdens de uitgevoerde metingen per bedrijf en per diercategorie. Standaard deviaties zijn weergegeven tussen haakjes.

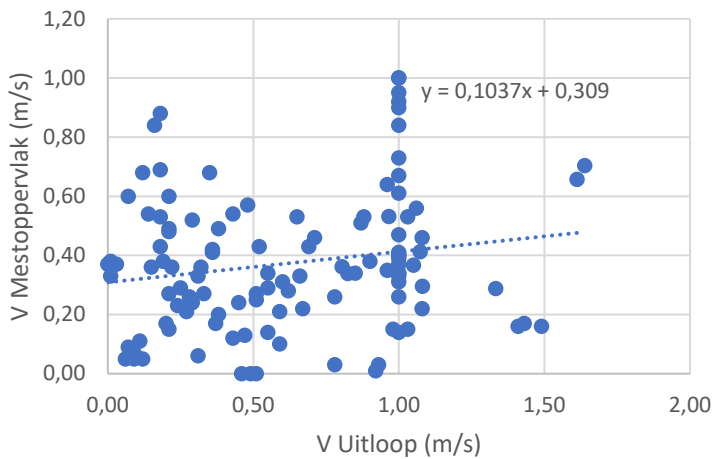
		V mestoppervlak	V uitloop	V KNMI
		m/s	m/s	m/s
Bedrijf 1	Biggen	0,32 (0,16)	0,48 (0,31)	3,53 (1,98)
	Dragende zeugen	0,24 (0,32)	0,70 (0,48)	3,52 (1,86)
	Kraamzeugen	0,28 (0,39)	0,21 (0,41)	4,13 (2,07)
	Vleesvarkens	0,50 (0,18)	0,27 (0,10)	3,43 (1,91)
Bedrijf 2	Biggen	0,39 (0,10)	0,70 (0,36)	4,33 (2,63)
	Dragende zeugen	0,17 (0,08)	0,59 (0,42)	3,94 (2,04)
	Kraamzeugen	0,46 (0,28)	0,68 (0,49)	4,33 (2,43)
	Vleesvarkens	0,37 (0,17)	0,86 (0,43)	4,19 (2,16)



Figuur 19 Relatie tussen de gemeten luchtsnelheid (m/s) boven het mestoppervlak en de KNMI windsnelheid (m/s) gemeten bij het dichtstbijzijnde weerstation



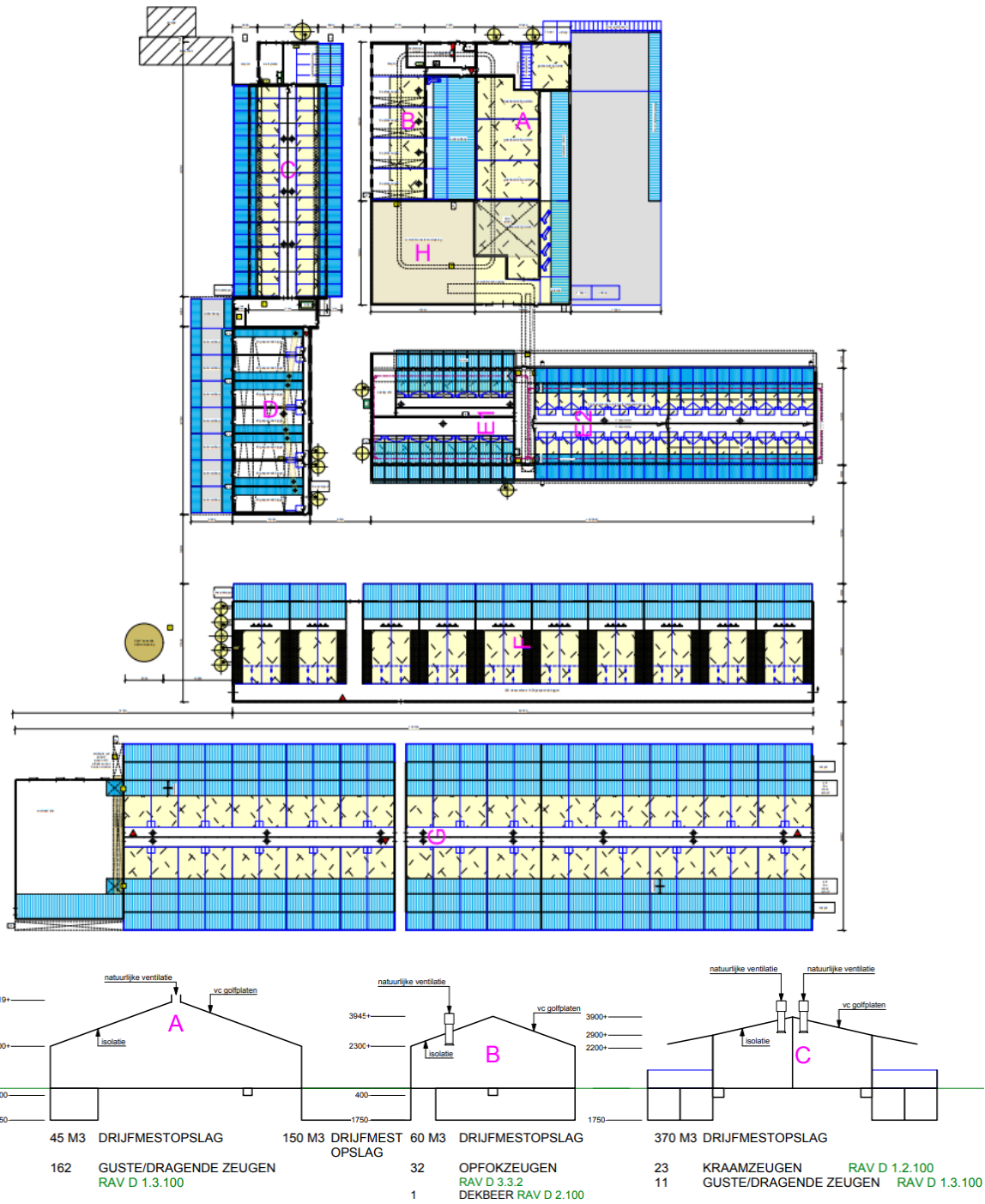
Figuur 20 Relatie tussen de gemeten luchtsnelheid (m/s) boven de vloer van de uitloop en de KNMI windsnelheid (m/s) gemeten bij het dichtstbijzijnde weerstation

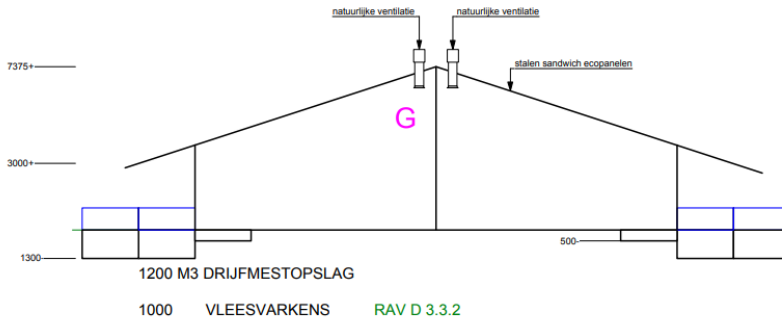
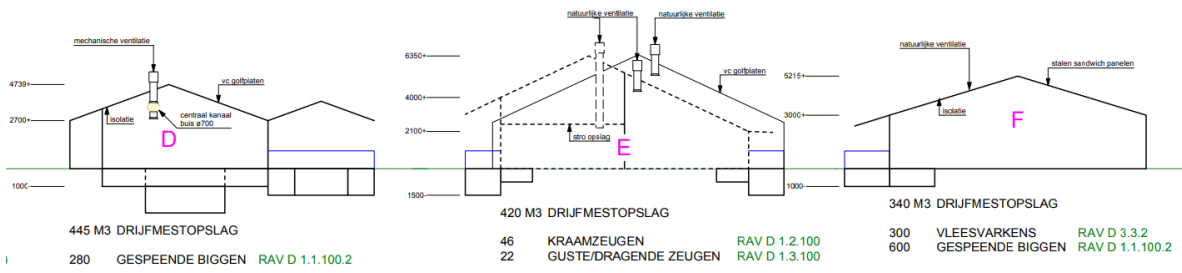


Figuur 21 Relatie tussen de gemeten luchtsnelheid boven het mestoppervlak (m/s) en boven de vloer van de uitloop (m/s)

Bijlagen bij de metingen

Biologisch bedrijf 1





Dragende zeugen strostal en uitloop



Kraamstal



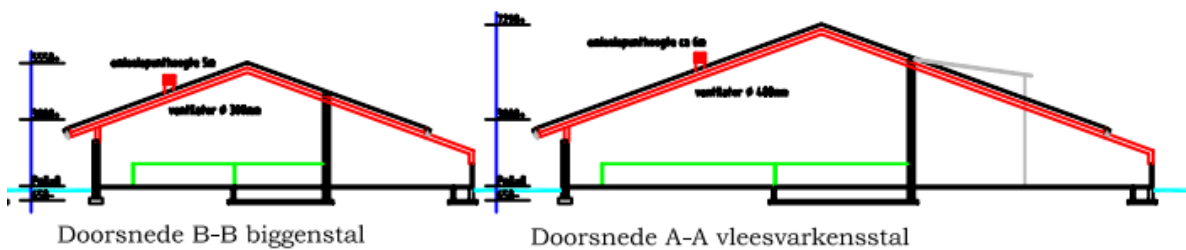
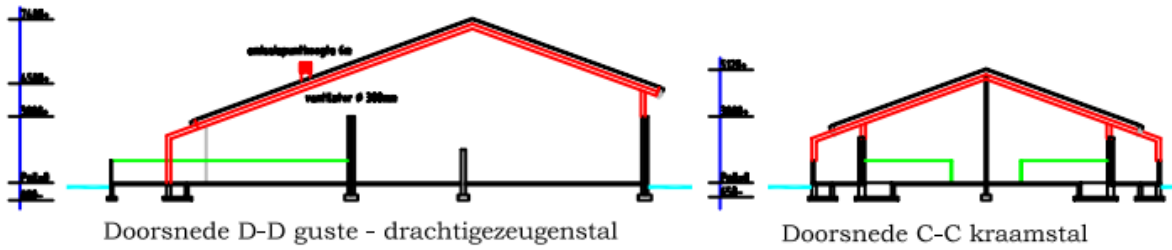
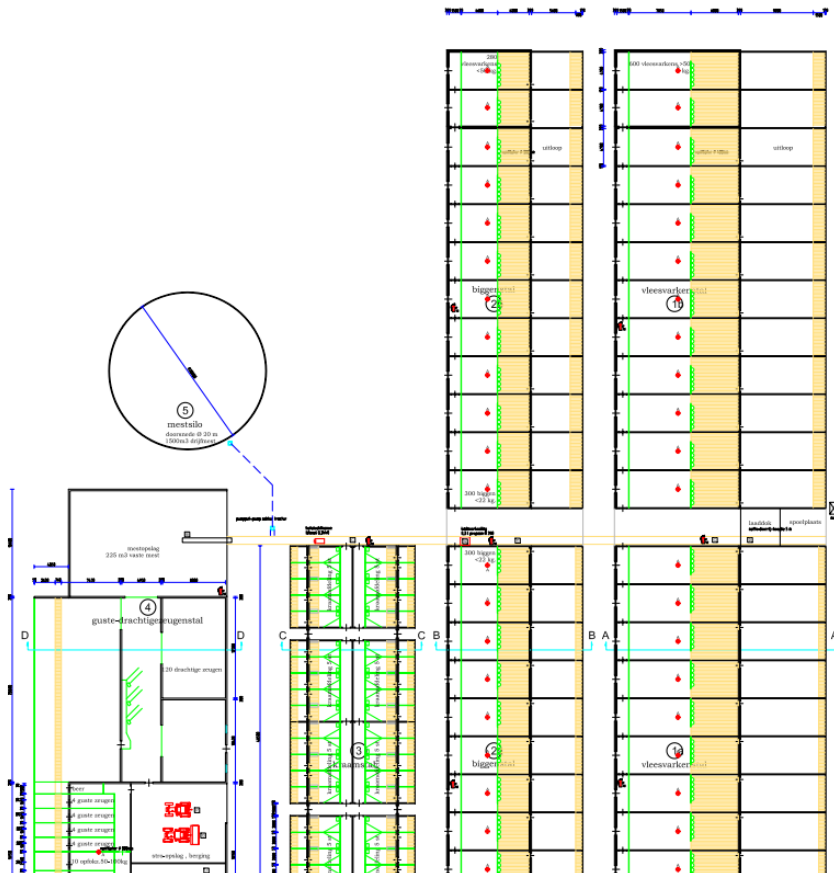
Gespeende biggen





Vleesvarkens

Biologisch bedrijf 2





Dragende zeugen strostal en uitloop



Kraamstal

Bijlage 4 Toelichting conclusies additionele kosten

P2 Additionele kosten:

- Lichte stijging bouwkosten doordat berenroostervloer meer kosten geeft dan dichte vloer en er mestkanaal onder rooster komt

P3 Additionele kosten:

- Extra kosten water en mestafzet
- Lichte stijging bouwkosten doordat berenroostervloer meer kosten geeft dan dichte vloer en er mestkanaal onder rooster komt

P4 Additionele kosten:

- Extra kosten water toevoer (mestkanaal 50% van uitloop)
- Lichte stijging bouwkosten doordat berenroostervloer meer kosten geeft dan dichte vloer en er mestkanaal onder rooster komt
- Extra kosten door schuine wanden

P5 en P7 Additionele kosten:

- Extra kosten water toevoer (mestkanaal 50% van uitloop)
- Lichte stijging bouwkosten doordat berenroostervloer meer kosten geeft dan dichte vloer en er mestkanaal onder rooster komt
- Extra kosten mestschuif

P6 en P8 Additionele kosten:

- Extra kosten veel water toevoer (mestkanaal 50% van uitloop)
- Lichte stijging bouwkosten doordat berenroostervloer meer kosten geeft dan dichte vloer en er mestkanaal onder rooster komt

Bijlage 5 Meetopstelling en -protocol voor bepaling van het effect van toevoegmiddelen aan de mest op de ammoniakemissie

Onderstaande beschrijving (in het Engels) is een samenvatting van een protocol dat nog uitgebreider beschreven zal worden in een openbare publicatie.

Experimental container setup to measure gaseous losses from stored manure

This appendix describes a laboratory setup to quantify loss of volatile nitrogen compounds from manure. The setup is made up of identical containers, each container representing an experimental unit. The setup in its current configuration allows for each vessel the determination of NH_3 loss from the headspace of the containers during a specified period, and determination of total N loss by means of a N balance. The setup can be extended to measure other gaseous losses like nitrous oxide and methane.

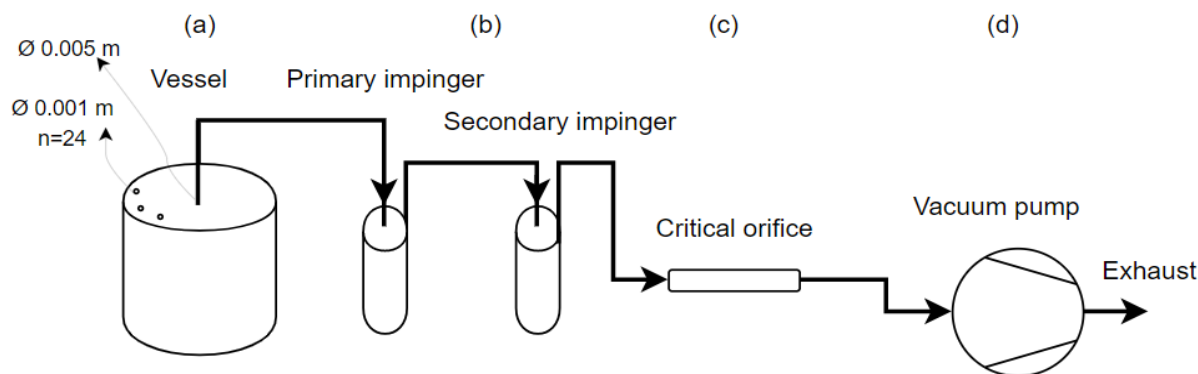


Figure 1 Schematic diagram of $\text{NH}_3\text{-N}$ measurement by using the Impinger method, a) vessel(s), b) impingers, c) critical orifices and vacuum pump. Only one vessel and corresponding connections have been drawn.

In total, 8 units are available in the setup. Each unit is filled with a sample from a thoroughly mixed amount of manure under investigation. The vessels (0.19 m diameter, 0.3 m height) are made from transparent Plexi-glass (Perspex Acrylate). The head of each vessel is perforated with 24 holes on the corner (Ø 0.001 m) as air inlets and another hole (Ø 0.005 m) in the middle as an air outlet. Each vessel is connected through transparent tubes to a primary impinger containing 5 M nitric acid (HNO_3). Each primary impinger is connected to another impinger that serves as secondary impinger (0.2 M HNO_3) to trap the remaining NH_3 that escapes from primary impinger. The secondary impingers are linked to filters and critical orifices of 1000 ml nominal capacity. A vacuum pump of 8000 ml min^{-1} is used to vacuum the volatilised NH_3 to acid solution in the impingers (Fig. 1). The flow rate over the substrates in the vessels can be varied from about $200\text{-}1000 \text{ ml min}^{-1}$. In this case the air exchanged amounts up to maximally 7 times per hour in the operational headspace of the vessels. Temperature ($^\circ\text{C}$) and relative humidity (RH %) are registered regularly each day within the experiment. The air flow is regularly measured (Defender 510) and bubbling condition regularly inspected each day. Figures 2, 3 and 4 provide an overview of the setup.

At the start of the experiment the manure provided to each of the vessels is sampled for chemical analysis and the remaining amount weighed in each container. At the end of the specified period of the trial the remaining mass is weighed and sampled again for chemical analysis. Duplicate samples of about 100 g each are taken from each vessel to analyse N content, dry matter (DM), ash, ammoniacal nitrogen and total P content. At the end of the trial the acid samples are taken from the impingers and transferred to a lab for $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration analysis. To quantify the amount of $\text{NH}_4\text{-N}$ in each impinger the acid volume is weighed and the $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration measured spectroscopically at 655 nm wavelength (NEN-ISO 7150-1, 2021). For each vessel the total amount of total N is calculated from the total N concentration and manure mass. Total N loss during the experimental period can be determined as the difference between total N at the start and the end of the experiment.



Figure 2 Experimental containers connected to the impinger setup



Figure 3 Impinger set-up for measuring NH_3 emission from manure a) vacuum unit, b) impinger unit and c) vessel unit

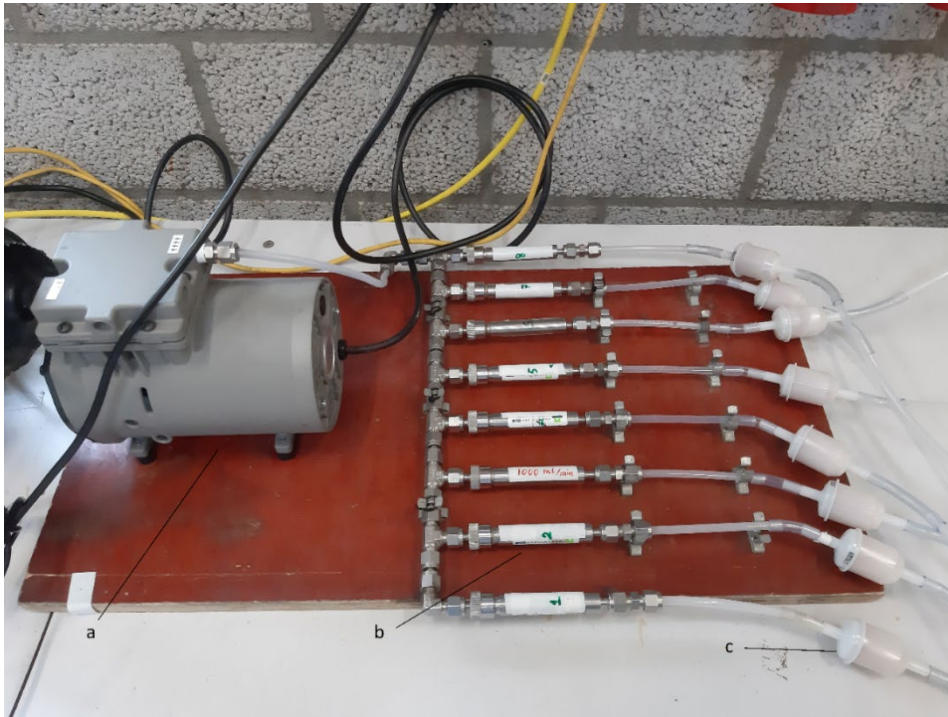


Figure 4 Vacuum pump (a), critical orifices (b) and filters (c) in the set-up

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

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.

