

Animal Sciences Group

Kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 179

Emissiereductie door kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal; proof of principle

CFD modelberekeningen en pilot in een afdeling van een
kalverhouderij

November 2008



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group van Wageningen UR
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail Info.veehouderij.ASG@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Liability

Animal Sciences Group does not accept any liability for damages, if any, arising from the use of the results of this study or the application of the recommendations.

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

A proof of principle study was performed on emission reduction by slurry pit air separation in a veal calf house. By scrubbing the separated pit air, ammonia emission may be reduced by 30 – 45%.

Keywords: ammonia, emission, pit, ventilation, cattle housing, veal calves

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs: M.C.J. Smits, J.B. Campen, J.W.H. Huis in 't Veld

Titel: Emissiereductie door kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal; proof of principle Rapport 179

Samenvatting

De haalbaarheid is getoetst van gerichte kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal. Door luchtwassing van afgezogen kelderlucht kan een emissiereductie van 30 à 45% bereikt worden.

Trefwoorden: ammoniak, emissie, mestkelder, ventilatie, vleeskalverstal



Rapport 179

Emissiereductie door kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal; proof of principle

Emission reduction by slurry pit air separation in a veal calf house; proof of principle

M.C.J. Smits

J.B. Campen

J.W.H. Huis in 't Veld

November 2008

Voorwoord

In een eerdere inventarisatie van emissiereducerende technieken voor de vleeskalverhouderij werd geconstateerd dat gerichte behandeling van de lucht uit de mestkelder van een vleeskalverstal een interessante mogelijkheid is die nader onderzoek behoeft. Het programmabureau Veluwestroom van de provincie Gelderland heeft zich ingezet om dit in de vorm van een pilot project van de grond te krijgen. Dit vooral omdat deze techniek wellicht toepasbaar is in de Agrarische Enclave op de Veluwe. Vanuit de vleeskalversector werd ook interesse getoond in deze nieuwe techniek. Door de provincie Gelderland en het productschap voor Vee en Vlees is het onderhavige 'proof of principle' onderzoek gefinancierd. De LTO vakgroep vleeskalverhouderij heeft de projectaanvraag gedaan en samen met Denkavit een kalverhouderijbedrijf gevonden waar een eerste pilot kon worden uitgevoerd. Wij willen de kalverhouder, dhr. Van Beijnum bedanken voor de op zijn bedrijf geboden gastvrijheid en flexibiliteit tijdens de pilot. Taeke Wahle heeft namens de LTO vakgroep vleeskalverhouderij het onderzoek begeleid. Linda Janssen-van Riet heeft de projectleiding vanuit 'LTO Noord projecten' verzorgd. ASG was verantwoordelijk voor de uitvoering van het onderzoek.

Namens de projectmedewerkers dank aan alle betrokkenen voor de constructieve medewerking,

Michel Smits

Samenvatting

Een groot deel van de emissie uit een vleeskalverstal is afkomstig uit de mestkelder. Door afzuiging van een beperkt volume lucht met een hoge ammoniakconcentratie kan de ammoniakemissie in principe met een veel kleinere luchtwasser gericht worden ingevangen.

Dit zou voor bestaande stallen en wellicht ook bij nieuwbouw een kosteneffectieve, emissiereducerende maatregel kunnen zijn, waarbij ook het stalklimaat (boven de mestkelder) verbeterd kan worden.

In dit project is de haalbaarheid getoetst van gerichte kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal. Uit CFD modelberekeningen is afgeleid in hoeverre gerichte behandeling van kelderlucht fysisch en technisch haalbaar is en op welke wijze dit qua luchtstroming het beste kan worden gerealiseerd. Dit concept is in een stalunit op een praktijkbedrijf in de provincie Gelderland gerealiseerd. Op dit praktijkbedrijf is onderzocht in hoeverre dit principe ook in een praktische stalsituatie met vleeskalveren werkt. Daarbij zijn gelijktijdig ammoniakfluxen via de nokventilatoren en via de kelderventilator afzonderlijk bepaald met een hoge tijdsresolutie.

Uit de CFD modelberekeningen is gebleken dat kelderlucht afgezogen kan worden via een beperkt aantal afzuigpunten en in een beperkte hoeveelheid lucht. Daarmee kan de emissie via de nokventilatoren verminderd worden en de ammoniakconcentratie boven de roosters verlaagd worden. De luchtsnelheid op dierniveau neemt volgens de CFD berekeningen niet veel toe en tochtproblemen worden niet verwacht.

Uit een eerste pilot in een praktijkstalunit tijdens de lente en zomer is gebleken dat het mogelijk is om de ammoniakflux via de nokventilatoren met 35 tot 50% te verminderen door de kelderlucht afzonderlijk af te zuigen. Als deze kelderlucht door een luchtwasser met een verwijderingsrendement van 90% zou worden geleid, zou een emissiereductie van 30 tot 45% bereikt worden.

Tijdens de koudere nachtelijke uren kon een wat kleiner deel van de totale ammoniakflux via de kelderafzuiginstallatie weggevangen worden dan overdag. Door het beperken van de nokventilatie en het vergroten van het aandeel van de kelderlucht afzuiging gedurende de nacht is wellicht een verdere verbetering van het rendement van de installatie te behalen.

Aanbevolen wordt om ook tijdens koudere, winterse perioden de kelderlucht afzuiging te onderzoeken.

Summary

Most of the ammonia emission from commercial Dutch veal calf houses is originating from the slurry in the pits. By separating the air from the pit, a substantial part of the ammonia emission can be treated in a small chemical or combined chemical and biological scrubber. In both existing and new buildings this might be a more cost effective technique than other techniques. Moreover the air quality at the animal level might be improved in this way.

CFD calculations were done to study the air flow patterns and the resulting distribution of ammonia from the pit with and without separate pit air ventilation at different outdoor temperatures. Subsequently, a pilot in a small unit (70 calves) of a commercial veal calf house was performed under mild spring and summer conditions. Ammonia fluxes were measured in periods with and without operating the pit ventilator. The ammonia fluxes through the regular roof ventilators and the added pit ventilator were distinguished.

From the CFD calculations it was concluded that a limited number of air inlet points in the pit was sufficient to remove the air in a restricted volume of air (m^3/h) at normal air velocity rates without draught risks for the calves above the slatted floor.

In the pilot, ammonia fluxes through the roof ventilators were 35% - 50% lower when pit ventilation was varied between 20 and 33% of the roof ventilation rates. If the separated pit air would be treated in an air scrubber with an ammonia removal efficiency of 90%, emissions would be reduced by 30-45%.

During the colder nighttime the proportion of ammonia (g/h) that was separated by the pit ventilation system was a little less than during the daytime. The performance of the system may be improved by restricting the roof ventilation rate and increasing the pit ventilation rate during the nighttime. It is recommended to further test the system during the colder winter season.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	CFD modelberekeningen	2
2.1	Globale aanpak	2
2.2	Computer Fluid Dynamics (CFD)	2
2.3	Vereenvoudigde benadering ammoniakemissie in CFD model	2
2.4	CFD benadering versus eerdere metingen in melkveestal	3
2.5	Verkennde CFD berekeningen aan een gesimuleerde vleeskalverstal	3
2.5.1	Uitgangspunten	3
2.5.2	Doorgerekende situaties met en zonder kelderluchtafzuiging	4
2.6	Simulatie pilot stalunit	5
2.6.1	Uitgangspunten	5
2.6.2	Resultaten onder koude omstandigheden	6
2.6.3	Resultaten bij hoge buitentemperaturen	9
2.6.4	Conclusies	17
3	Pilot in stalunit	18
3.1	Stal, toegepaste technieken en meetmethode	18
3.1.1	Stalunit	18
3.1.2	Kelderlucht afzuiginstallatie	18
3.1.3	Luchtwater	21
3.1.4	Ammoniakemissiemetingen	21
3.1.5	Klimaatgegevens	22
3.2	Proefopzet	22
3.3	Resultaten	25
3.4	Discussie	28
	Bijlagen	29
Bijlage 1	Vergelijking CFD versus eerdere meetresultaten in een melkveestal	29
Bijlage 2	Warmteproductie vleeskalf volgens CIGR (2002)	35
Bijlage 3	Resultaten van CFD simulaties uitgaande van een arbitrair gemodelleerde vleeskalverenstal	36
Bijlage 4	Verloop ammoniakemissie, ventilatie en temperatuur gedurende een selectie van afzonderlijke proefperioden	45
Bijlage 5	Regressie stalemissie in meetperioden zonder kelderluchtbehandeling	48
	Literatuur	49

1 Inleiding

Zowel voor vleeskalverstallen als voor melkveestallen is er behoefte aan kosteneffectieve maatregelen om de ammoniakuitstoot te beperken. Uit een quick scan van emissiebeperkende technieken voor vleeskalverstallen (Smits et al., 2005) is gebleken dat gerichte behandeling van de lucht uit de mestkelder een interessante mogelijkheid is die nader onderzoek behoeft. De emissie uit een vleeskalverstal is grotendeels afkomstig uit de mestkelder. Door een gerichte behandeling van de kelderlucht (afzuiging van een beperkt volume lucht met een hoge ammoniakconcentratie) kan de ammoniakemissie wellicht met een veel kleinere wasser gericht worden ingevangen. Naast ammoniak- kan hierbij ook fijnstof- en stankemissie beperkt worden.

Doel van het project is het toetsen van de haalbaarheid van gerichte kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal in Gelderland, waarmee de emissie uit vleeskalverstallen gereduceerd kan worden tegen lagere kosten dan andere op dit moment beschikbare emissie reducerende maatregelen.

Uit modelberekeningen is afgeleid in hoeverre gerichte behandeling van kelderlucht fysisch en technisch haalbaar is en op welke wijze dit qua luchtstroming het beste kan worden gerealiseerd. Dit concept is in een stalunit op een praktijkbedrijf in Gelderland gerealiseerd. Op dit praktijkbedrijf is onderzocht in hoeverre dit principe ook in een praktische stalsituatie met vleeskalveren werkt.

Kelderluchtbehandeling zou zowel in bestaande stallen als bij nieuwbouw een aantrekkelijke (kosteneffectieve) maatregel kunnen zijn, waarbij ook het stalklimaat (boven de mestkelder) verbeterd kan worden. Dit in tegenstelling tot luchtwassers die de lucht pas behandelen nadat die de stal verlaten heeft via de nok of ventilatiekanaal.

Alvorens het principe in praktijkstallen te implementeren, dient onderzocht te worden of het principe van kelderluchtbehandeling voldoende perspectief zal bieden en dient nader verkend te worden hoe het systeem gedimensioneerd en ventilatietechnisch geregeld dient te worden in samenhang met de reguliere stal(nok)ventilatie. Daartoe heeft een 'proof of principle' plaatsgevonden. Dit door theoretische toetsing met behulp van CFD modelberekeningen, gevolgd door een eerste praktische toetsing van het principe van kelderluchtafzuiging in een stalafdeling van een vleeskalverbedrijf. Voor de praktische toetsing heeft fine-tuning van de benodigde installaties plaatsgevonden. Daarna is de effectiviteit (emissiereductie) bepaald in een stalunit van een vleeskalverstal tijdens een mestrondte in het voorjaar en de zomer.

In dit rapport wordt het proof of principle project gerapporteerd.

Eerst worden de CFD modelberekeningen beschreven. Daarna volgt de beschrijving van de pilot in een praktijkstal.

Dit project is gefinancierd door Provincie Gelderland en het Productschap Vee en Vlees. LTO Noord Projecten heeft het project geleid.

2 CFD modelberekeningen

2.1 Globale aanpak

Doel van de CFD analyse is om af te leiden in hoeverre gerichte behandeling van kelderlucht fysisch en technisch haalbaar is en op welke wijze dit qua luchtstroming het beste kan worden gerealiseerd. Daarbij ging het ondermeer om het verkrijgen van aanwijzingen voor een goede dimensionering van afzuigpunten in de kelder. Dit voor wat betreft aantal en locaties van afzuigpunten en de hoeveelheden daardoor aan te zuigen lucht.

De dimensionering van afzuiglocaties werd gericht op:

- Een zo hoog mogelijke ammoniakconcentratie in de afgezogen kelderlucht
- Een zo laag mogelijke ammoniakconcentratie in de lucht die via de nokventilatoren wordt afgevoerd.
- Praktische inpasbaarheid van het systeem.
- Geringe lichtsnelheden (<20 cm/s) in de nabijheid van de dieren vooral als de buitentemperatuur laag is (<10°C); dit er voorkoming van tocht

In de CFD modelberekeningen is alleen de ammoniakemissie uit de kelder gesimuleerd. De emissie vanaf de stalvloer is buiten beschouwing gelaten om zo goed mogelijk in beeld te brengen wat de invloed is van de kelderafzuiging op de ammoniak die uit de kelder afkomstig is.

In paragraaf 2.2 wordt de CFD modelbenadering kort toegelicht. In paragraaf 2.3 wordt kort beschreven hoe de ammoniakemissie in de CFD berekeningen is gesimuleerd. In paragraaf 2.4 wordt een 'toetsing' van de CFD benadering beschreven aan de hand van een melkveestal waar in het verleden de ammoniakemissie en luchtstroming in de kelder is gemeten. In paragraaf 2.5 worden CFD resultaten beschreven van berekeningen bij een gedefinieerde vleeskalverstal met een gangbare uitvoering (niet specifieke 'gemiddelde' stal). In paragraaf 2.6 zijn resultaten van CFD simulaties beschreven voor een specifieke stal: de pilot stalunit waar later (zie hoofdstuk 3) een praktijkproef is uitgevoerd. Voor die situatie zijn modelberekeningen uitgevoerd bij diverse mogelijke posities van aanzuigpunten in de kelder en diverse hoeveelheden af te zuigen lucht.

2.2 Computer Fluid Dynamics (CFD)

CFD is een rekenmethode om stromings- en temperatuurprofielen te bepalen.

De 3-dimensionale stalruimte is geometrisch opgedeeld in kleine secties waarover continuïteitsvergelijkingen worden opgelost. Hiermee kunnen nieuwe concepten worden verkend zonder daarvoor dure, tijdsverslindende experimenten te doen en kunnen ook extreme situaties gesimuleerd worden. Voor een uitvoerige technische beschrijving van de CFD techniek en toepassing wordt verwezen naar Campen en Bot (2003) en Versteeg en Malalasekera (1995).

2.3 Vereenvoudigde benadering ammoniakemissie in CFD model

De ammoniak emissie uit de mest werd in de CFD berekeningen op vereenvoudigde wijze gesimuleerd. Dit door in elke modelrun de ammoniakconcentratie in de lucht die grenst aan het oppervlak van de mest in de kelder (bronsterkte) in te stellen op een vaste waarde van 1 mg NH₃ per kg lucht. De absolute waarde van deze arbitrair ingestelde concentratie aan de bron heeft in de CFD simulaties geen invloed op de relatieve uitkomst: als deze concentratie 10 x zo laag zou zijn ingesteld, zouden ook de berekende ammoniakconcentraties in de stallucht 10 x zo laag geweest zijn. Afgezien van het schaalverschil zou de verdeling binnen de stal van hogere en lagere concentraties hetzelfde geweest zijn (dus overall een factor 10 lager).

Met het CFD model werd de luchtstroming door de stal berekend afhankelijk van de temperatuur van de vers aangezogen buitenlucht, de warmteproductie van de dieren, de hoeveelheid stallucht die per uur ververscht wordt en de ventilatieopeningen (positie, aantal, diameter). Afhankelijk van de luchtstroming in de mestkelder en de rest van de stal wordt de ammoniak vanaf de bron (1 mg NH₃ per kg lucht) door de stal verspreid. De stofoverdracht werd op een gelijke wijze als de warmteoverdracht berekend. Indien de lucht hard langs een oppervlak stroomt is de warmteoverdracht en stofoverdracht groot; indien de lucht vrijwel stilstaat is deze gering. De luchtstroming in de stal werd in verschillende modelruns berekend op basis van variërende randvoorwaarden: ventilatie en temperatuurverschillen. De berekende luchtstroming bepaalde uiteindelijk hoeveel ammoniak er door de lucht werd meegenomen vanaf het oppervlak van de mest.

2.4 CFD benadering versus eerdere metingen in melkveestal

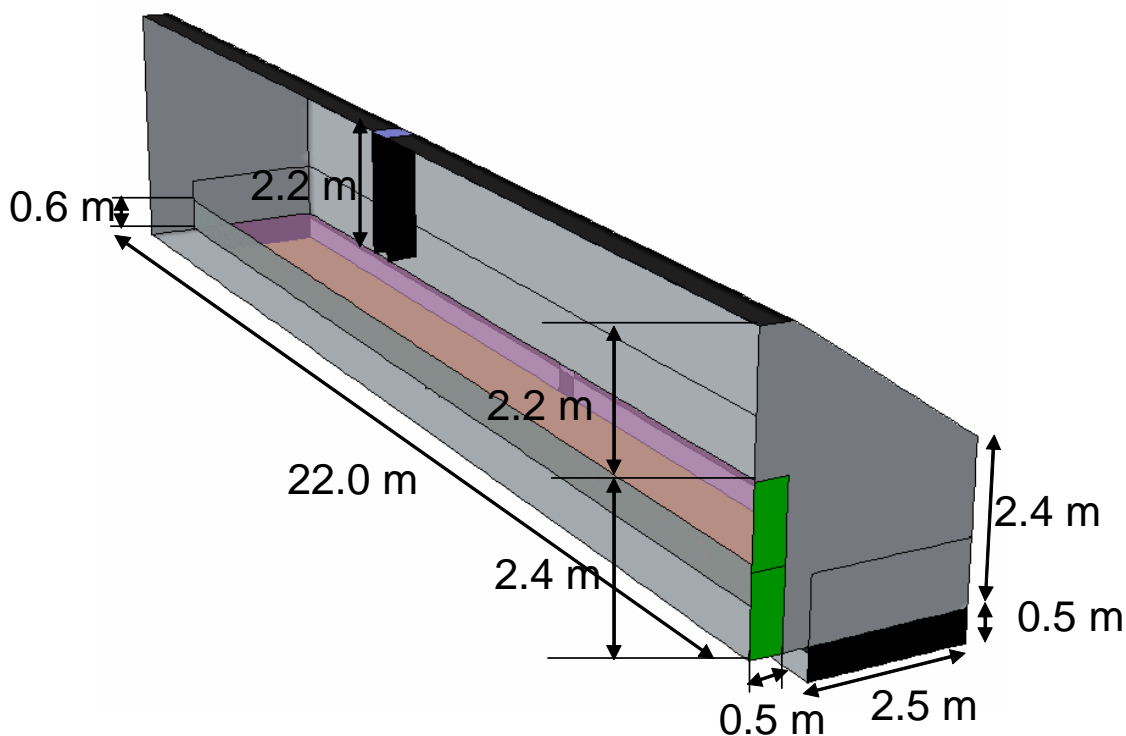
De uitwisseling van stallucht tussen de ruimte boven de roostervloer en de kelder daaronder is eerder onderzocht in een melkveestal zonder kelderluchtafzuiging en beschreven in hoofdstuk 5 van het proefschrift van Monteny (2000). In dat experiment werd met een tracergas bepaald hoe groot de ventilatie van de kelder was als functie van de hoeveelheid mechanische ventilatie van de stal en het temperatuurverschil tussen de luchttemperatuur in de kelder en de buitenluchttemperatuur. CFD berekeningen bij simulatie van deze melkveestal zijn eerst vergeleken met de door Monteny beschreven meetresultaten. Dit om te valideren of de CFD benadering voor het onderhavige project een realistische benadering is en inzicht kan geven in de luchtbeweging in de stal en de daarbij behorende verdeling van ammoniakconcentraties. In bijlage 1 zijn de resultaten van deze vergelijking als validatie weergegeven.

Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat CFD een goed inzicht kan geven in luchtbeweging in de stal en de daarbij behorende concentratieverdeling. Het is van belang alle componenten op te nemen in het model die wezenlijk de stroming in de stal beïnvloeden (inclusief voerhek, eventuele grote TL balken, e.d.). Vooral op locaties waar de luchtsnelheid relatief hoog is, is dit van grote invloed op de berekende luchtstroming en de daaruit voortvloeiende verdeling van ammoniakconcentraties.

2.5 Verkennende CFD berekeningen aan een gesimuleerde vleeskalverstal

2.5.1 Uitgangspunten

De gesimuleerde stal betreft een unit met 60 kalveren met per dier maximaal 200 m³/h (dus op stalniveau 12.000 m³/h) mechanische ventilatie. Dit via een tweetal nokventilatoren die de lucht aanzuigen via ventilatiekokers halverwege de stallengte op een hoogte van 2,4 m boven de voergang. De luchtinlaat wordt gevormd door een open deur in de voergang aan één staluiteinde. Figuur 1 laat een schematische tekening zien van de stalhelft van de vleeskalverenstal zoals deze is gemodelleerd. Het groene vlak is de deur. Het paarse vlakje in het dak is de afzuiging.



Figuur 1 Schematische tekening van de helft van de vleeskalverenstal

2.5.2 Doorgerekende situaties met en zonder kelderluchtafzuiging

In tabel 1 zijn de doorgerekende varianten opgesomd. Berekeningen zijn uitgevoerd bij een warmteproductie per dier van 200 W en bij een hoge warmteproductie per dier van 500 W.

Als achtergrondinformatie is het verloop van de warmteproductie van een groeiend kalf in relatie tot het gewicht weergegeven in bijlage 2.

De doorgerekende situaties zonder kelderafzuiging geven een beeld van de plaatsen waar de ammoniakconcentraties binnen de stal normaliter relatief hoog zijn (afhankelijk van debiet e.d.). Op die locaties kan kelderafzuiging het meest doelgericht toegepast worden. Berekeningen met kelderafzuiging op verschillende locaties in de kelder en bij verschillende niveaus (m³/h) van kelderafzuiging geven een beeld van de potentiële effectiviteit doordat de concentratieverdeling van ammoniak per variant opnieuw berekend is en vergeleken kan worden met de modeloutput zonder kelderafzuiging. Ook de resulterende ammoniakflux (verdeling) via de nok en via de kelderafzuiging werd berekend. Op het debiet via de kelderafzuigpunten kan de luchtwasser gedimensioneerd worden.

De ammoniakconcentratie in de lucht aan het oppervlak van de mest (bronsterkte) is op 1 gr ammoniak per kg lucht ingesteld. Afhankelijk van de luchtstroming in de stal wordt deze concentratie door de stal verspreid. De waarde van deze concentratie heeft geen invloed op de berekende relatieve effecten (verdeling van ammoniakconcentraties in de ruimte); wel op het absolute niveau van de uitkomsten. Indien de uitgangskoncentratie (bronsterkte) 2 x zo hoog zou worden ingesteld zouden ook de diverse berekende concentraties in de lucht 2 x zo hoog worden.

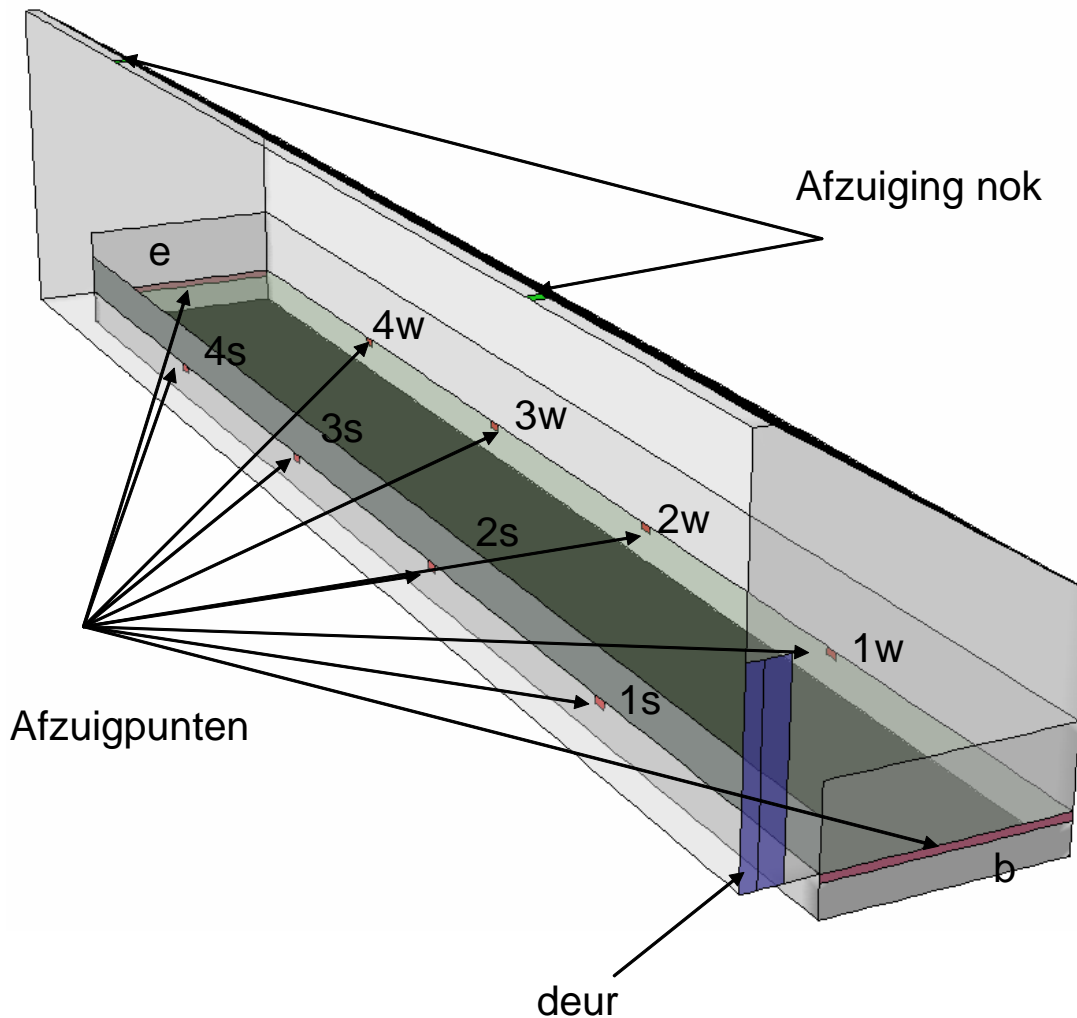
Tabel 1 Verschillende situaties waarvoor de CFD berekeningen werden uitgevoerd

Nr.	T _{buiten} [°C]	T _{mest} [°C]	P _{dier} [W/dier]	φ _{stal} [m ³ /h]	φ _{kelder} [m ³ /h]	Figuur in bijlage 3
1	20	15	500	12000	0	31
2	20	15	500	12000	1200	32
3	20	15	500	12000	2400	33,34
4	20	15	200	6000	0	37
5	20	15	200	6000	600	38
6	20	15	200	6000	1200	39,40
7	20	15	200	3000	0	41
8	20	15	200	3000	600	42
9	20	15	200	3000	1200	43
10	0	15	200	3000	0	45
11	20	15	200	3000	1200	
12	20	15	200	3000	1200	

De resultaten van deze oriënterende berekeningen zijn weergegeven in bijlage 3. Uit deze modelresultaten blijkt dat

- de kelderluchtafzuiging in deze stal het beste kan gebeuren in het midden van de kelder bij de wand en nabij de deur;
- de verspreiding van ammoniak sterk afhangt van het verschil tussen de buitenluchttemperatuur en de temperatuur van de mest.

2.6 Simulatie pilot stalunit

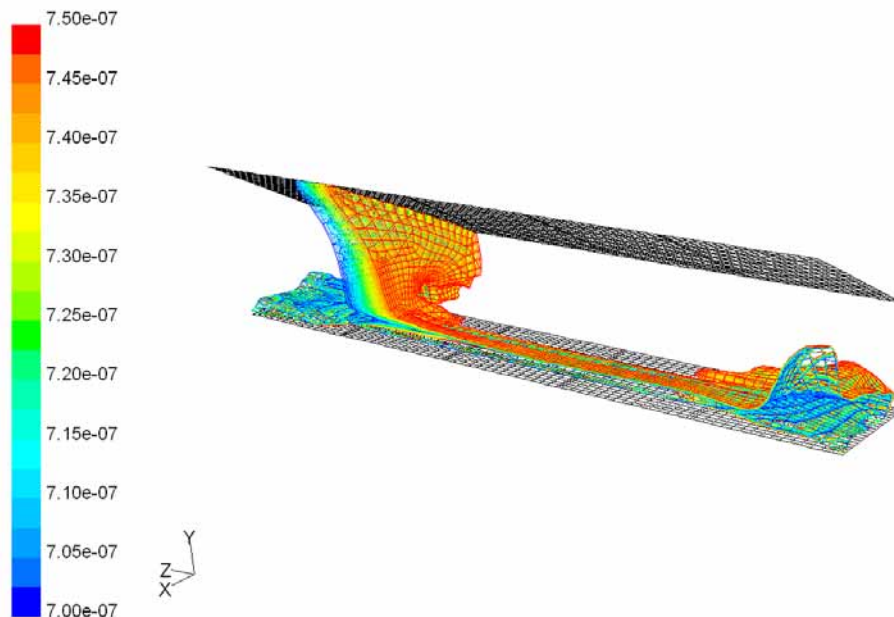


Figuur 2 CFD model van de rechterhelft van de pilot stalunit

2.6.1 Uitgangspunten

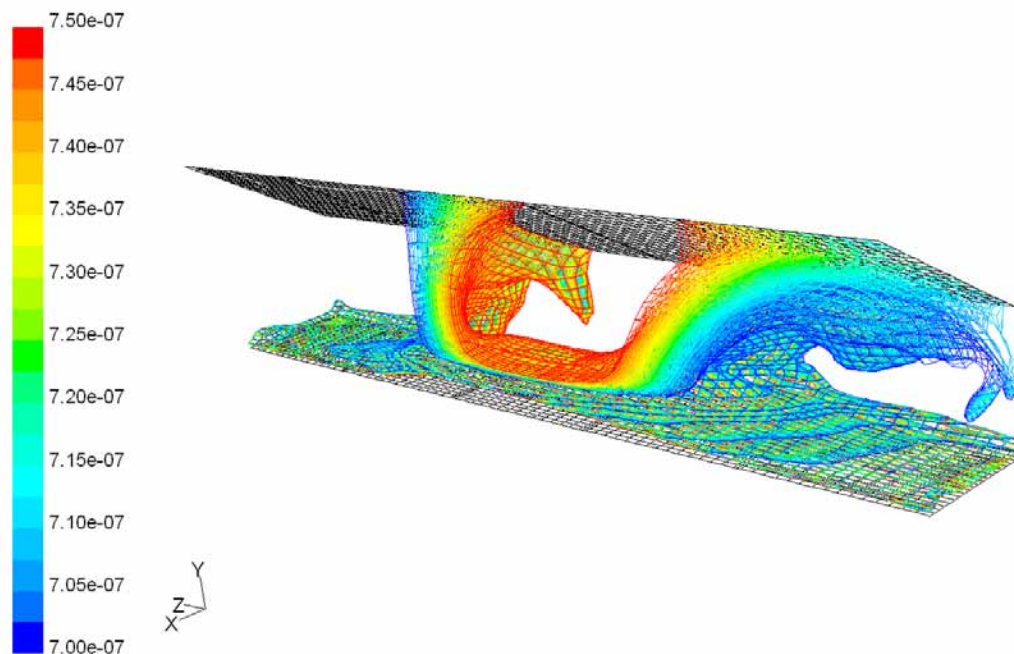
Figuur 2 laat het CFD model van de stalunit zien. Er zijn verschillende afzuigpunten in de stal gemodelleerd die mogelijk kunnen worden gebruikt. In de stalhelft zoals in bovenstaande figuur weergegeven is uitgegaan van 32 dierplaatsen. De buitenafmetingen van het gebouw komen overeen met die in figuur 1. Dit betreft een stalunit met 70 kalveren met per dier maximaal ca. 150 m³/h (op stalniveau 10.000 m³/h) mechanische ventilatie via een tweetal nokventilatoren die de lucht aanzuigen op ca. 1/5 en 4/5 van de stallengte boven de voergang; direct in de nok. Er is hier dus geen ventilatiekoker in de stal. De luchtinlaat wordt gevormd door een open deur in de voergang aan één staluiteinde. In de berekeningen is een lagere warmteproductie per dier (125 W; ergens halverwege het groeitraject) aangehouden dan in de oriënterende berekeningen in de vorige paragraaf.

2.6.2 Resultaten onder koude omstandigheden



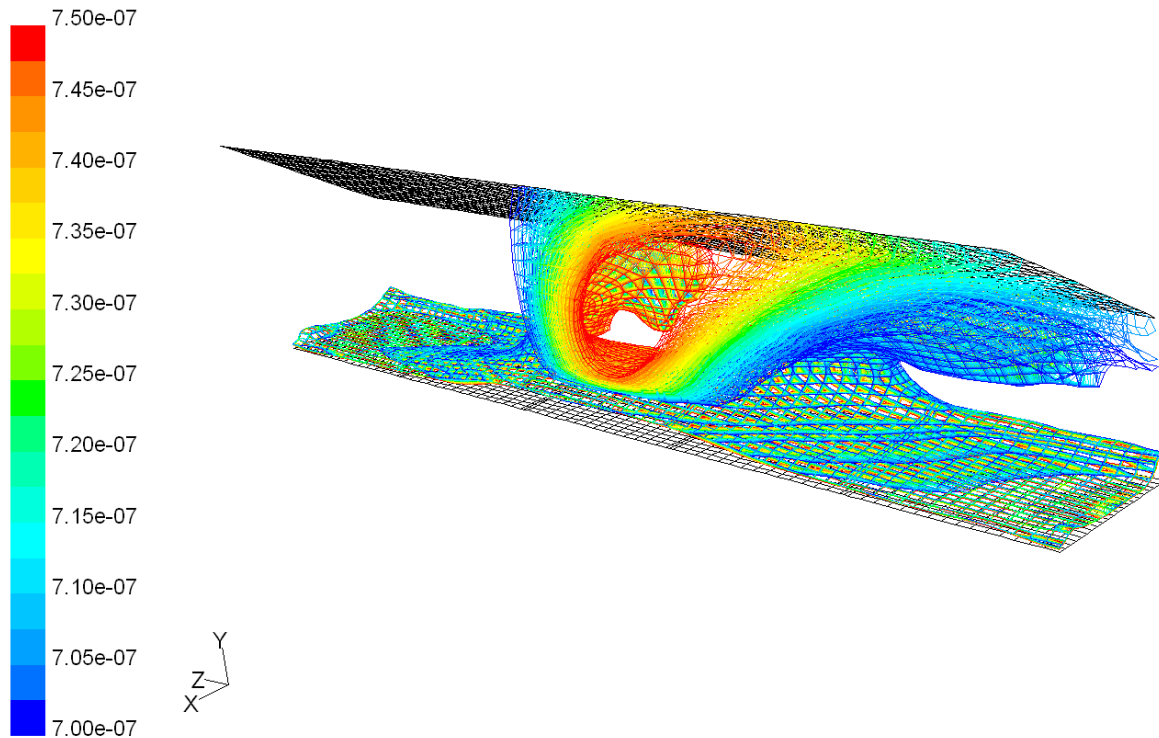
Figuur 3 Berekende verdeling van ammoniakconcentraties (concentratieverdeling) in een specifieke range (onderscheiden range: zie legenda) bij een warmteproductie van 125 W/dier en ventilatie van 1000 m³/uur bij een buitentemperatuur van 0°C en een mesttemperatuur van 10°C; zonder kelderluchtafzuiging

Indien de ventilatie van de stal op een laag niveau staat namelijk 10% van het maximum, nadert de berekende concentratie in de stal de concentratie bij de mest van 1 10⁶ kg/m³. De ammoniakconcentratie van de lucht in de uitlaat is 8.0 10⁻⁷ kg/m³. De totale ammoniak emissie komt hiermee op 0.80 gr/uur.



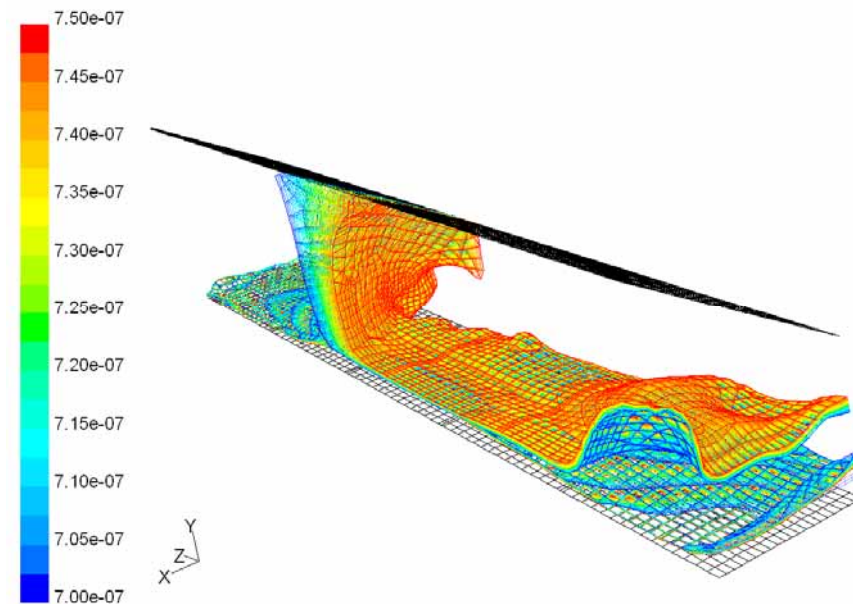
Figuur 4 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 125 W/dier en ventilatie van 1000 m³/uur bij een buitentemperatuur van 0°C en een mesttemperatuur van 10°C waarbij er langs elk wand van de stal 4 afzuigpunten (1 W t/m 4w) worden gebruikt om 1000 m³/h af te zuigen

Door de luchtafzuiging in de kelder wordt het gebied in de stal met een hoge berekende ammoniakconcentratie kleiner. De ammoniakconcentratie in de lucht welke door de nokventilator stroomt is $6.5 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ terwijl de concentratie in de afzuiging in de kelder $8.7 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ is. De afzuiging in de kelder heeft tot gevolg dat de emissie van ammoniak toeneemt tot 1.52 gr/uur. Bij een lage buitentemperatuur en een lage ventilatie neemt de concentratie in de lucht die door de nok stroomt maar weinig af terwijl de totale emissie sterk toeneemt.



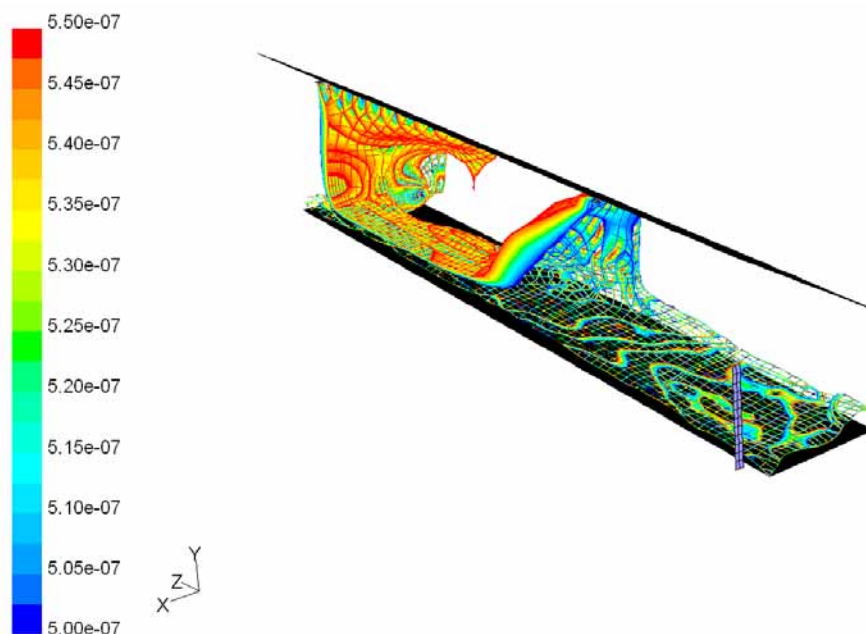
Figuur 5 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 125 W/dier en ventilatie van 1000 m³/uur bij een buitentemperatuur van 0°C en een mesttemperatuur van 10°C waarbij er langs elk wand van de stal 2 afzuigpunten worden gebruikt om 1000 m³/h af te zuigen

Als er niet vier afzuigpunten worden gebruikt maar 2 in het midden van de stal (2w en 3w in de tekening) neemt de ammoniakconcentratie bij deze afzuigpunten toe tot $9.5 \cdot 10^{-7}$ kg/m³. Echter de concentratie in de nok van de stal blijft gelijk.



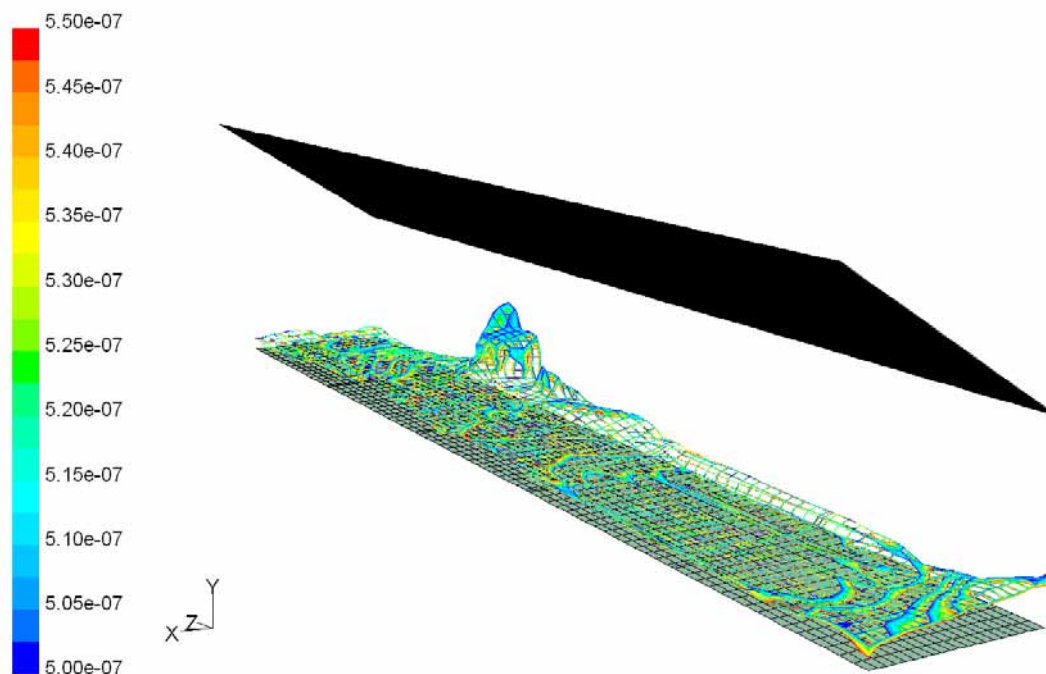
Figuur 6 Concentratieverdeling in de stal in een specifieke range bij een warmteproductie van 125 W/dier en ventilatie via de nok van 1000 m³/uur bij een buitentemperatuur van 0°C en een mesttemperatuur van 10°C waarbij het afzuigpunt bij de deur (b) wordt gebruikt om 1000 m³/h af te zuigen

Indien het afzuigpunt in de kelder nabij de deur wordt aangebracht (positie b in figuur 2) is de berekende ammoniakconcentratie bij dit afzuigpunt $7.0 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ en bij de nok $6.8 \cdot 10^{-7}$ kg/m³. Veel lager dus dan bij de vorige optie.



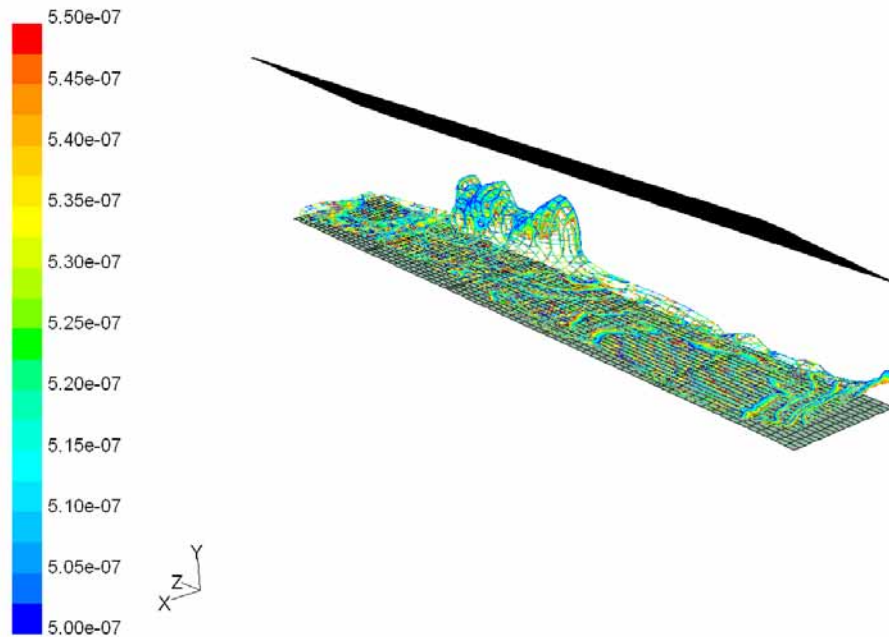
Figuur 7 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 125 W/dier en ventilatie van 4000 m³/h, een warmteproductie van 125 W/dier, bij een buitentemperatuur van 0°C en een mesttemperatuur van 10°C

Bovenstaande figuur laat de concentratieverdeling in de stal zien bij 40% van de maximale ventilatie; zonder kelderluchtafzuiging. Onder deze omstandigheden wordt de hoogste ammoniakconcentratie berekend in het midden en achterin de stal. De berekende ammoniakconcentratie in de afzuiging is $4.4 \cdot 10^{-7}$ kg/m³.



Figuur 8 Ventilatie nok: 4000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 0°C, T_{mest} = 10°C; kelderluchtafzuiging: 2000 m³/h via kelder wand midden (afzuigpunten 2w en 3w)

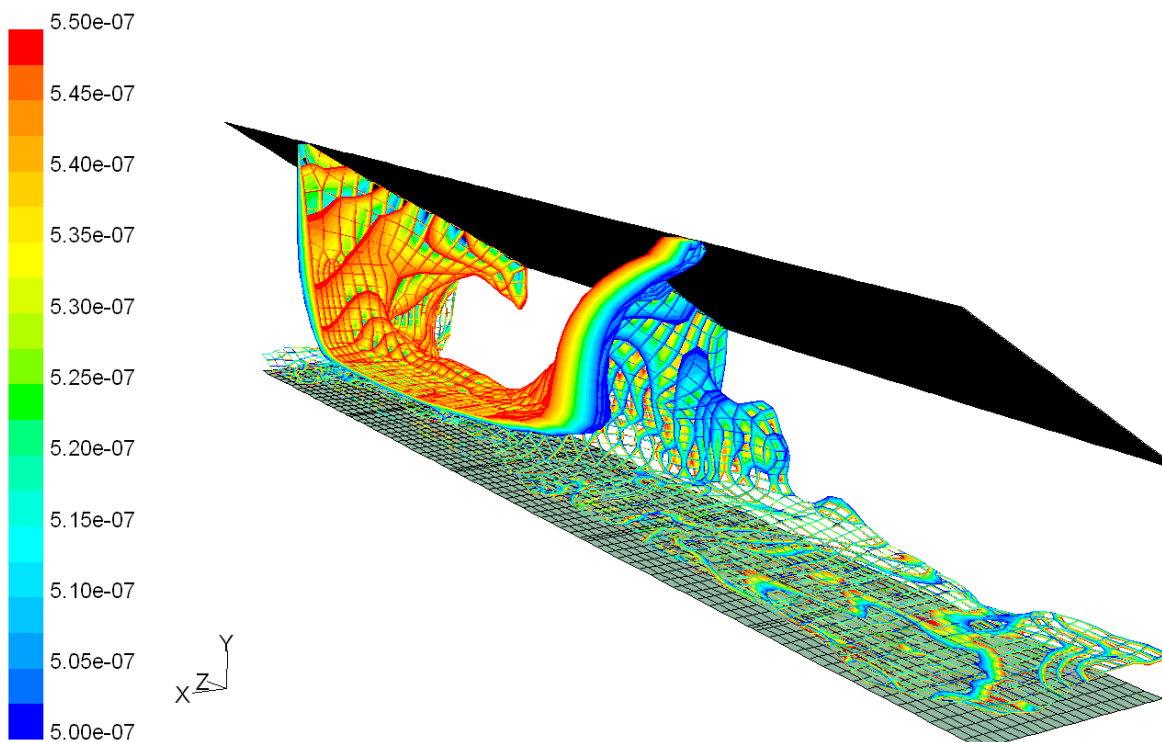
Bovenstaande figuur laat de berekende concentratie in een specifieke range zien als er in het midden van de stal bij twee afzuigpunten nabij de wand kelderlucht wordt afgezogen met 50% van het debiet van de nokventilatoren. Afzuiging in het midden zorgt ervoor dat de concentratie hier daalt. De berekende ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht in de nokventilator is hierbij $1.8 \cdot 10^{-7}$ kg/m³.



Figuur 9 Ventilatie 4000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 0°C, T_{mest} = 10°C; kelderafzuiging: 2000 m³/h met gelijkmatige afzuiging in de kelder op 4 plaatsen bij de wand

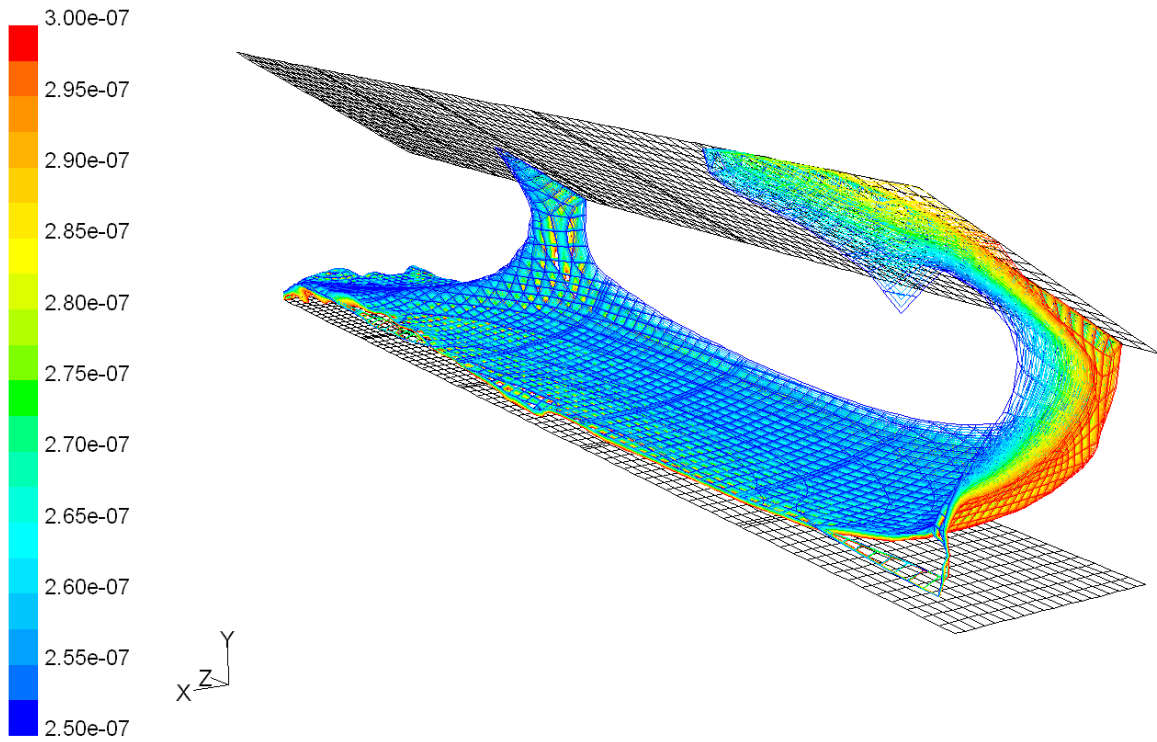
Concentratie in de afzuiging van het dak is $2.2 \cdot 10^{-7}$ kg/m³. Deze methode werkt iets minder goed voor deze omstandigheden dan afzuigen in het midden omdat daar de concentratie hoger is: $6.6 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ in de kelderafzuiging.

2.6.3 Resultaten bij hoge buitentemperaturen



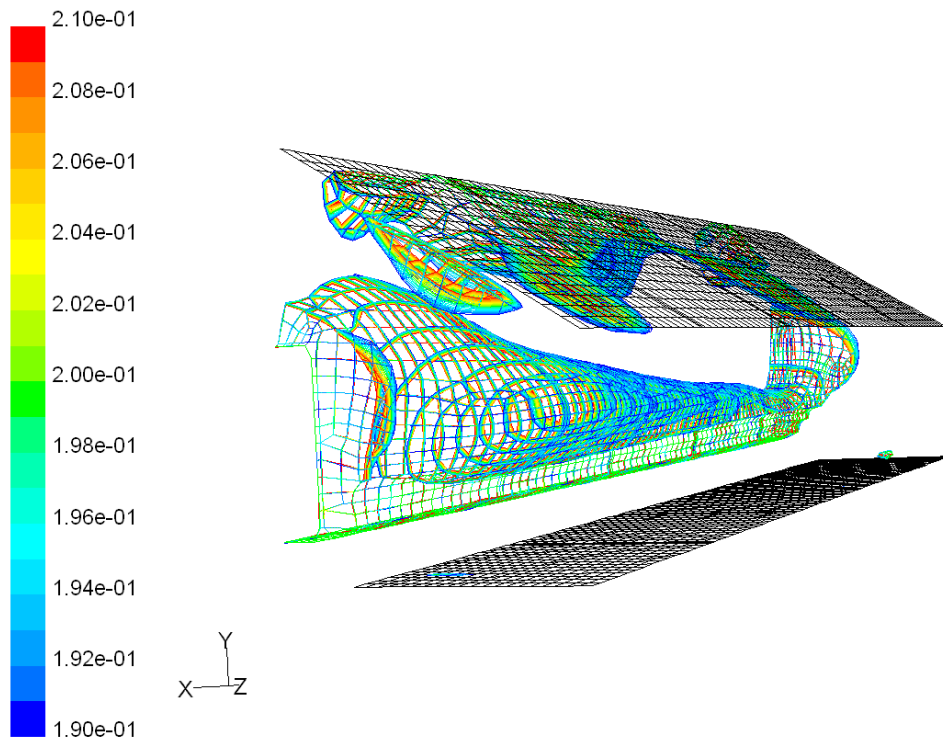
Figuur 10 Ventilatie 4000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C

Bij verhoging van de buitentemperatuur van 0 naar 20 °C en gelijktijdige verhoging van de mesttemperatuur van 10 naar 15 °C (figuur 10) is de berekende concentratieverdeling in de stal vergelijkbaar met die onder koude omstandigheden (zie figuur 3).



Figuur 11 Ventilatie 10000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C

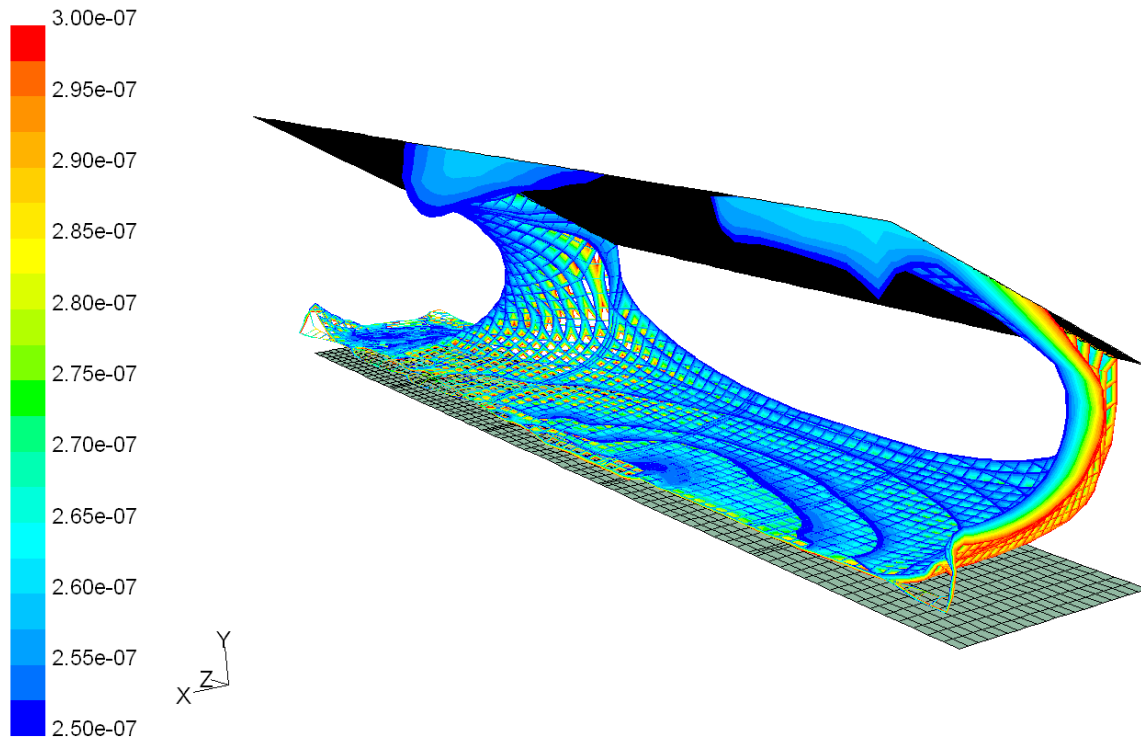
Bij een verhoging van de ventilatie neemt de concentratie bij de deur toe. De concentratie in de afzuiging is $1.84 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}^3$.



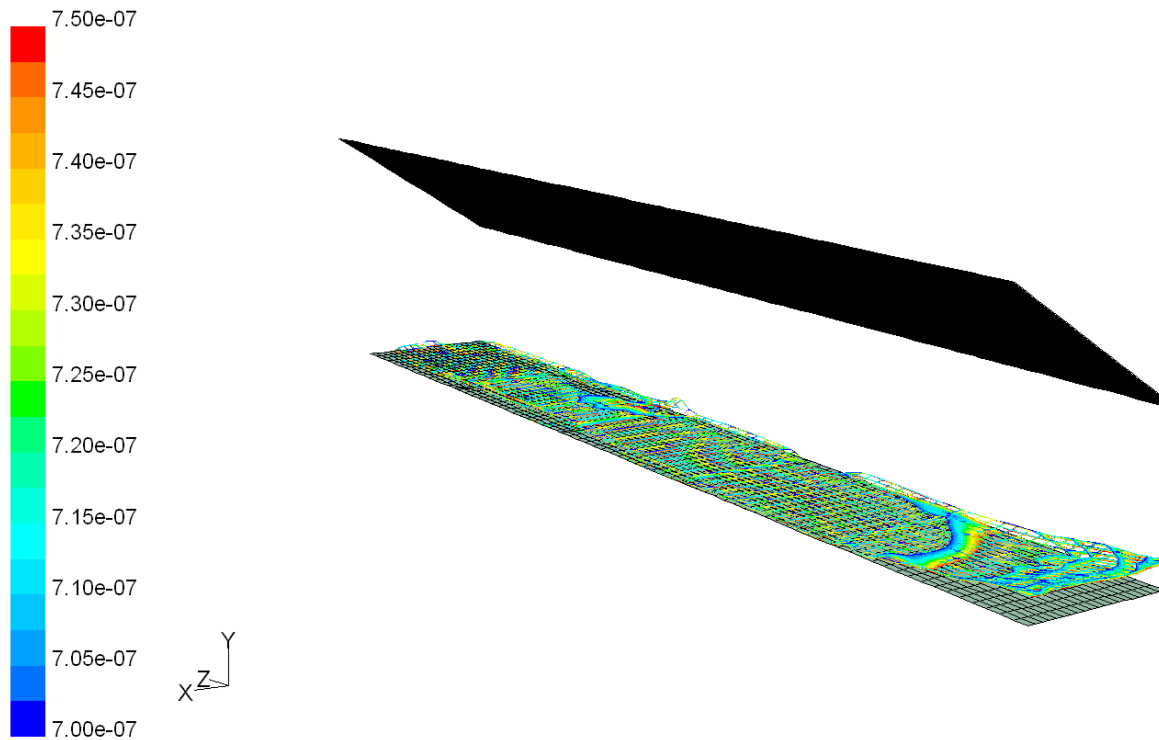
Figuur 12 Luchtsnelheid in de range van 19 tot 21 cm/s bij een maximaal debiet van 10000 m³/h en 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C

Bij maximale ventilatie is de luchtsnelheid in de stal alleen hoger dan 20 cm/s in de voergang en net boven het schot waar achter de dieren zich bevinden.

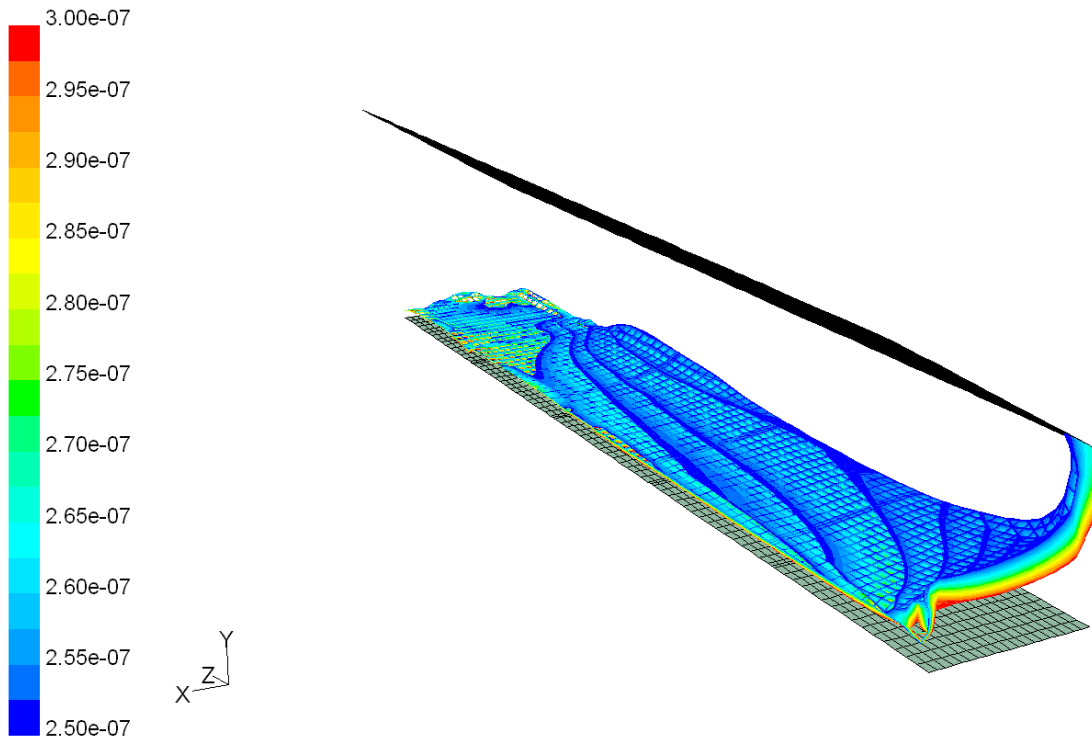
Ook voor deze stal geldt dat de concentratieverdeling afhankelijk is van de hoeveelheid ventilatie. Indien de ventilatie laag is zijn de hoogste concentraties in het midden van de stal te vinden. Als de ventilatie hoog is dan is de concentratie hoog bij de deur.



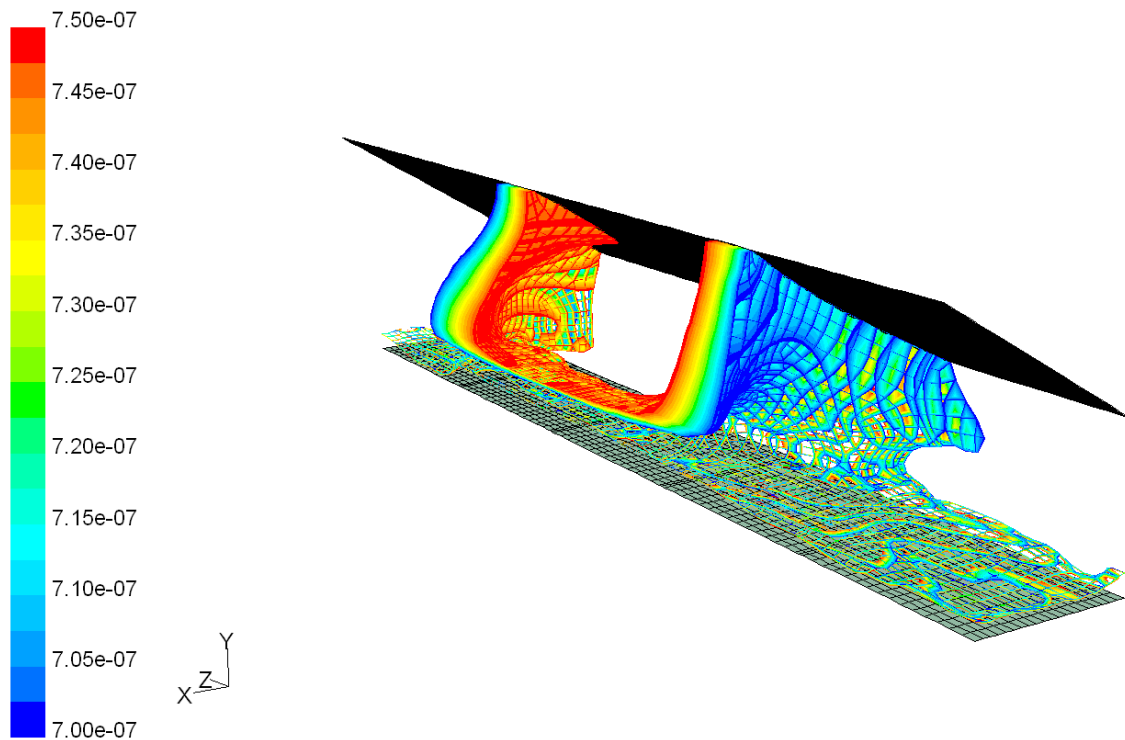
Figuur 13 Concentratie bij nokventilatie van 8000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C



Figuur 14 Ventilatie 8000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C en kelderafzuiging van 2000 m³/h op 3/5 van de stal nabij de wand (3w)

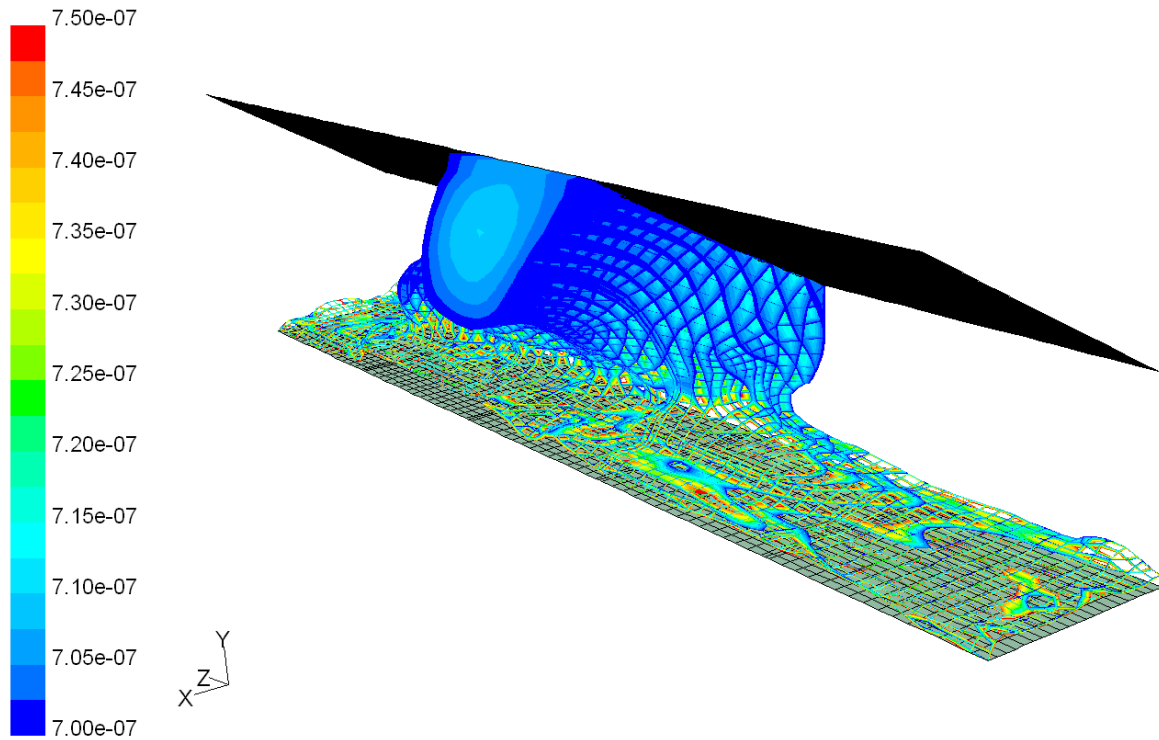


Figuur 15 Concentratie bij nokventilatie 8000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C Afzuiging bij de deur nabij de wand met 2000 m³/h en 2000 m³/h op 4/5 van de stal nabij de wand



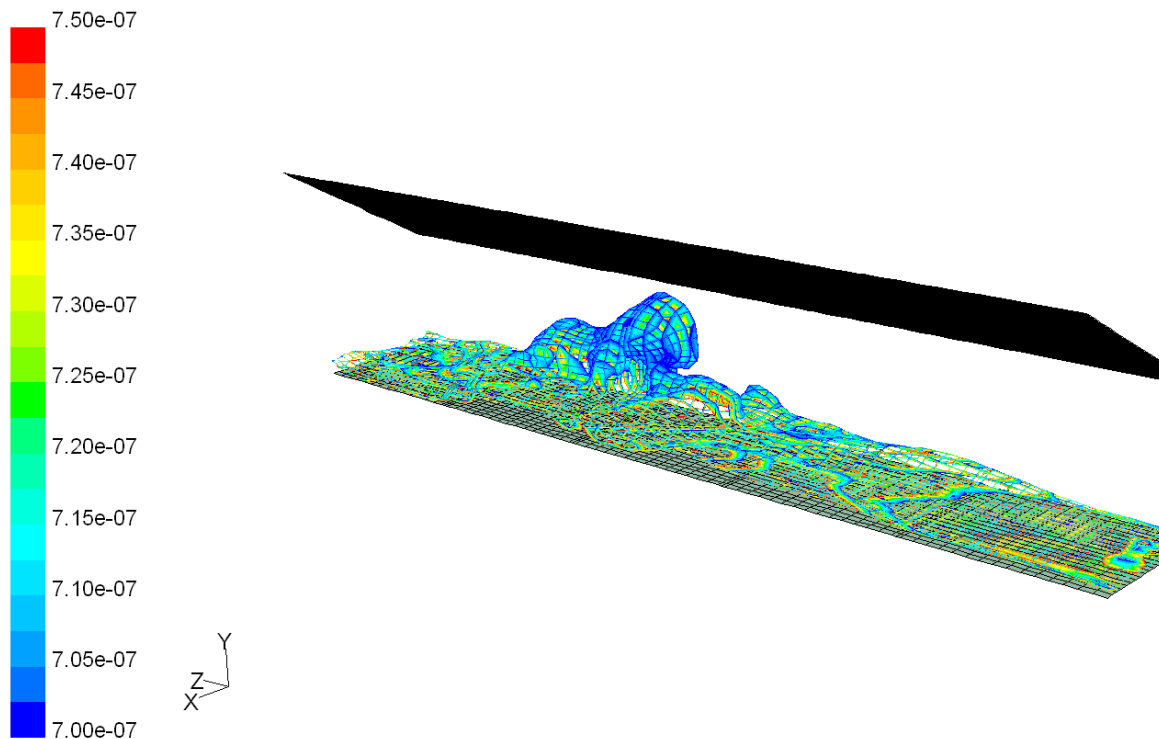
Figuur 16 Concentratie bij nokventilatie van 2000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C

Bij nokventilatie van 2000 m³/h zoals in figuur 16 is de berekende ammoniakconcentratie van in de nok afgezogen lucht $6.0 \cdot 10^{-7}$ kg/m³.



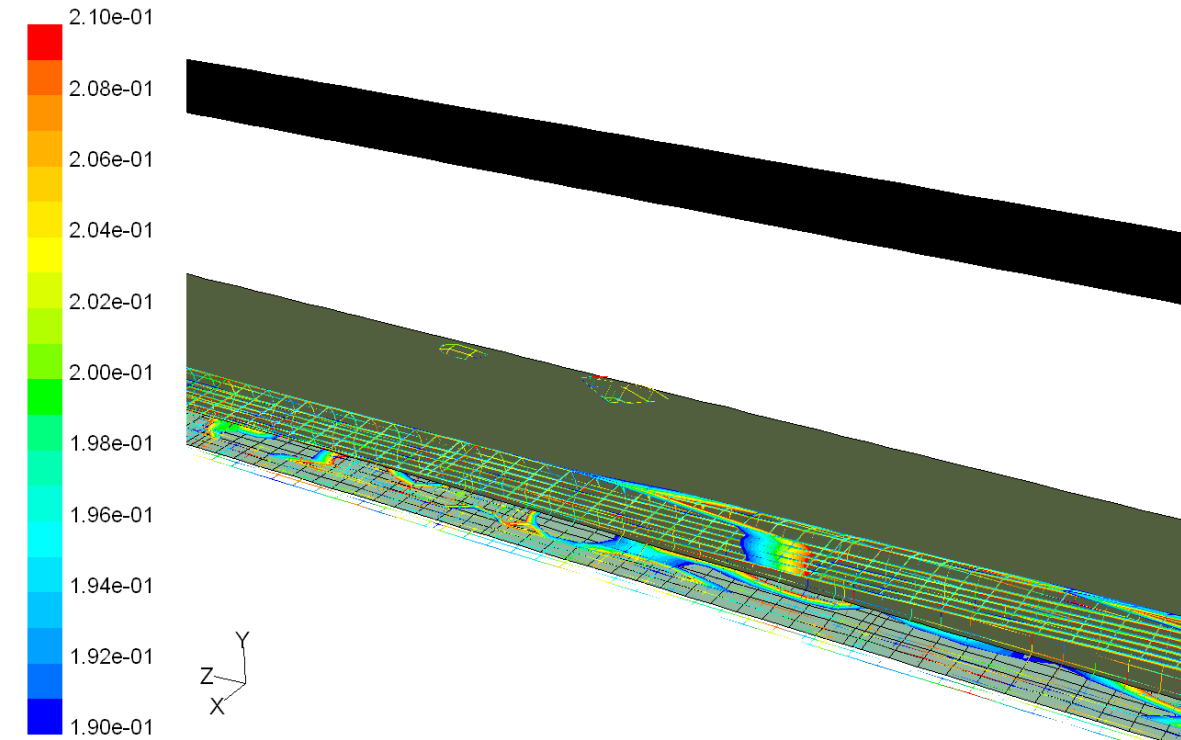
Figuur 17 Concentratie bij nokventilatie van 2000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C en 500 m³/h op 3/5 van de stal in de kelder

Bij nokventilatie van 2000 m³/h en kelderafzuiging van 500 m³/h zoals in figuur 17 is de berekende ammoniakconcentratie van in de nok afgezogen lucht $5.6 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ en van de afgezogen kelderlucht $1.05 \cdot 10^{-6}$ kg/m³. De luchtsnelheden rond de dieren blijven bij deze ventilatieniveaus ver onder de 20 cm/s.



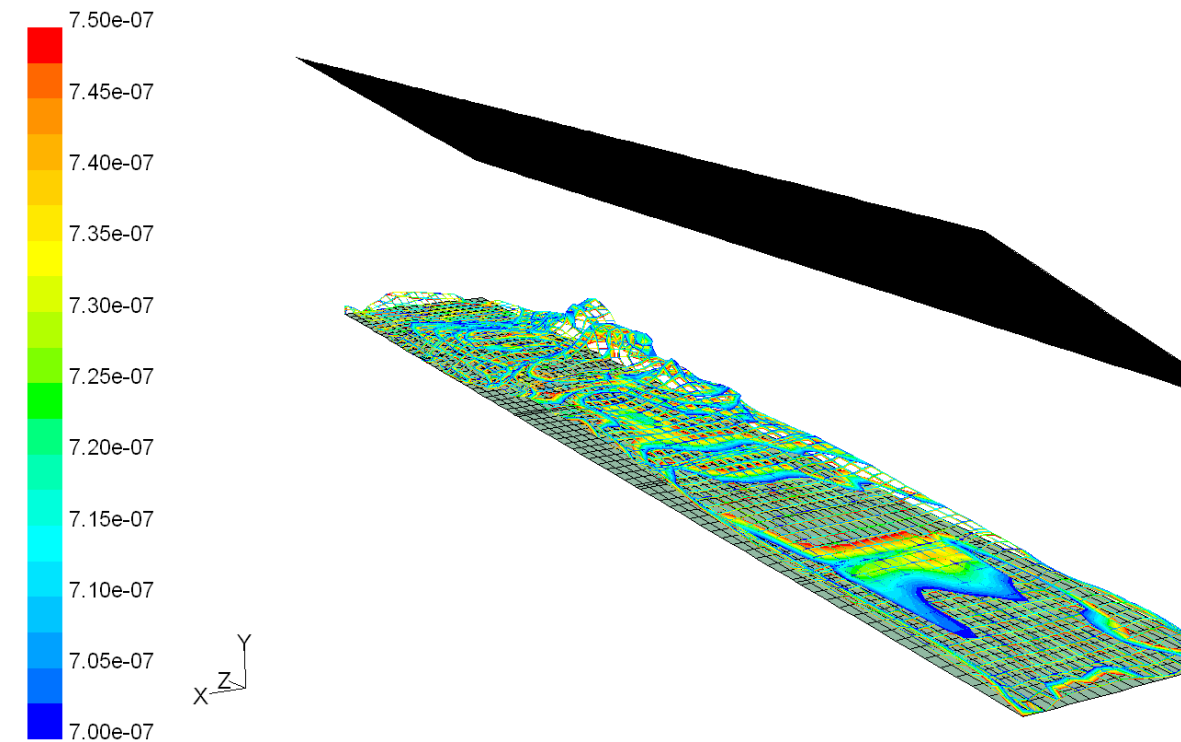
Figuur 18 Concentratie bij nokventilatie van 2000 m³/h, 125 W/dier, T_{buiten} 20°C, T_{mest} = 15°C en kelderluchtafzuiging van 1000 m³/h op 3/5 van de stal

Bij nokventilatie van 2000 m³/h en kelderafzuiging van 1000 m³/h zoals in figuur 18 is de berekende ammoniakconcentratie van in de nok afgezogen lucht $4.2 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ en van de afgezogen kelderlucht $9.7 \cdot 10^{-7}$ kg/m³



Figuur 19 Luchtsnelheid nabij het rooster bij een nokventilatie van 2000 m³/h, 125 W/dier, $T_{\text{buiten}} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{mest}} = 15^{\circ}\text{C}$ en 2000 m³/h op 3/5 van de stal in de kelder

Alleen in een zeer klein gebied nabij het afzuigpunt in de kelder is luchtsnelheid rond de 20 cm/s aanwezig.



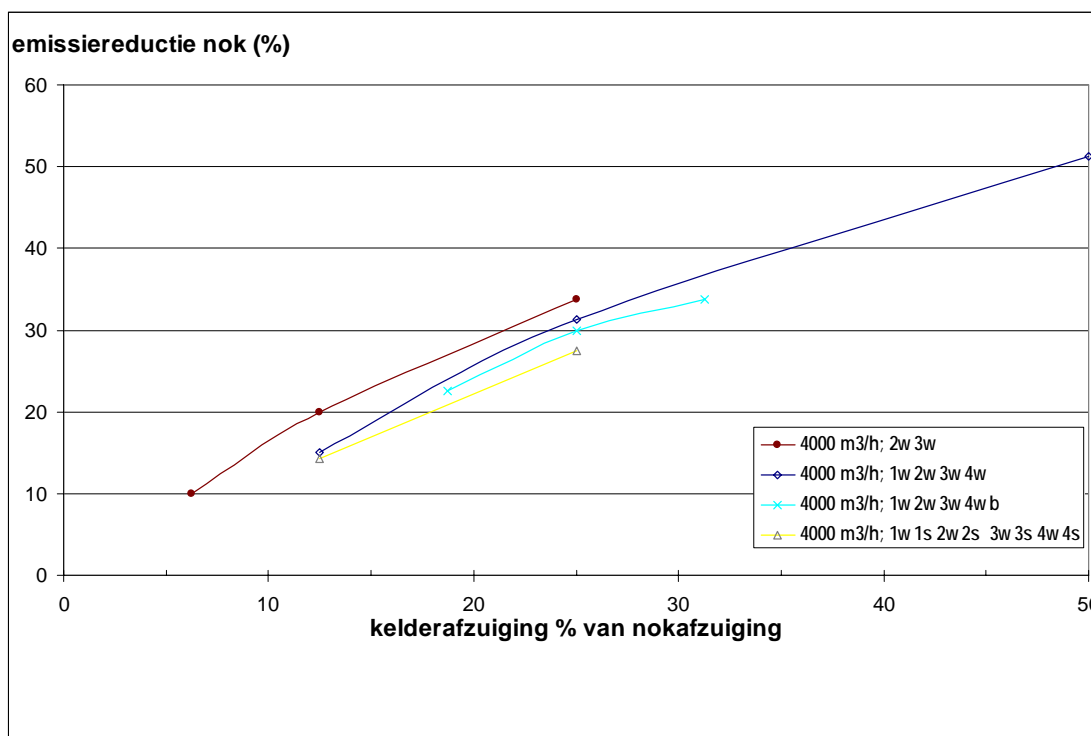
Figuur 20 Concentratie bij een nokventilatie van 2000 m³/h, 125 W/dier, $T_{\text{buiten}} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{mest}} = 15^{\circ}\text{C}$ en 2000 m³/h op 3/5 van de stal in de kelder

$2.5 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ $8.6 \cdot 10^{-7}$ kg/m³ Ook bij een ventilatie van 2000 m³/h vanuit de kelder is de luchtsnelheid bij het rooster nog gering. Conclusie kan zijn dat lokaal afzuigen geen belemmering hoeft te zijn voor de luchtsnelheid nabij de dieren.

In tabel 2 zijn voor de diverse varianten weergegeven: de berekende ammoniakconcentraties in de afgezogen lucht in de nok en in de kelder, de totale ammoniakflux (nok+kelder), de reductie van de ammoniakemissie via de nok en de toename van de totale ammoniakflux ten opzichte van de flux zonder kelderafzuiging.

Tabel 2 Per variant de berekende ammoniakconcentratie in de afgezogen lucht in de nok (C nok) en in de kelder (C kelder), de totale ammoniakflux (nok+kelder); de reductie van de ammoniakemissie via de nok (red nok) en de toename van de totale ammoniakflux ten opzichte van de flux zonder kelderafzuiging

Vent nok [m3/h]	Tbuiten [°C]	Tmest [°C]	Vent kelder [m3/h]	keldervent [%]	C nok [kg/m3]	C kelder [kg/m3]	Debiet NH3 [kg/h]	afzuigpunten	red nok [%]	toename NH3 [%]
1000	0	10	0	0	8.00E-07		8.00E-04			
1000	0	10	500	50	7.40E-07	8.50E-07	1.17E-03	1w 1s 2w 2s 3w 3s 4w 4s	7	46
1000	0	10	1000	100	6.50E-07	8.70E-07	1.52E-03	1w 2w 3w 4w	19	90
1000	0	10	1000	100	6.50E-07	9.50E-07	1.60E-03	2w 3w	19	100
1000	0	10	1000	100	6.80E-07	7.00E-07	1.38E-03	b	15	73
2000	20	15	0	0	6.00E-07		1.20E-03			
2000	20	15	500	25	5.60E-07	1.00E-06	1.62E-03	3w	7	35
2000	20	15	1000	50	4.20E-07	9.70E-07	1.81E-03	3w	30	51
2000	20	15	2000	100	2.50E-07	8.60E-07	2.22E-03	3w	58	85
4000	0	10	0	0	7.00E-07		2.80E-03			
4000	0	10	0	0	6.60E-07		2.64E-03	deur half dicht		
4000	0	10	500	12.5	6.70E-07	7.00E-07	3.03E-03	1w 1s 2w 2s 3w 3s 4w 4s	4	8
4000	0	10	500	12.5	6.50E-07	6.90E-07	2.95E-03	1w 1s 2w 2s 3w 3s 4w 4s, halve deur	2	12
4000	0	10	1000	25	6.30E-07	7.00E-07	3.22E-03	1w 1s 2w 2s 3w 3s 4w 4s, halve deur	5	22
4000	20	15	0	0	4.00E-07		1.60E-03			
4000	20	15	250	6.25	3.60E-07	8.20E-07	1.65E-03	2w 3w	10	3
4000	20	15	500	12.5	3.20E-07	8.00E-07	1.68E-03	2w 3w	20	5
4000	20	15	500	12.5	3.40E-07	6.70E-07	1.70E-03	1w 2w 3w 4w	15	6
4000	20	15	750	18.75	3.10E-07	4.50E-07	1.58E-03	1w 2w 3w 4w b	23	-1
4000	20	15	1000	25	2.65E-07	7.10E-07	1.77E-03	2w 3w	34	11
4000	20	15	1000	25	2.75E-07	6.40E-07	1.74E-03	1w 2w 3w 4w	31	9
4000	20	15	1000	25	2.80E-07	4.50E-07	1.57E-03	1w 2w 3w 4w b	30	-2
4000	20	15	1000	25	2.90E-07	5.50E-07	1.71E-03	1w 1s 2w 2s 3w 3s 4w 4s	28	7
4000	20	15	1250	31.25	2.65E-07	4.50E-07	1.62E-03	1w 2w 3w 4w b	34	1
4000	20	15	2000	50	2.10E-07	4.50E-07	1.74E-03	1w 2w 3w 4w b	48	9
4000	20	15	2000	50	1.95E-07	5.70E-07	1.92E-03	1w 2w 3w 4w	51	20
8000	20	15	0	0	2.10E-07		1.68E-03			
8000	20	15	500	6.25	1.88E-07	5.90E-07	1.80E-03	2w 3w	10	7
8000	20	15	500	6.25	1.88E-07	5.45E-07	1.78E-03	1w 2w 3w 4w	10	6
8000	20	15	750	9.375	1.82E-07	5.95E-07	1.90E-03	1w 2w 3w 4w b	13	13
8000	20	15	1000	12.5	1.80E-07	5.20E-07	1.96E-03	1w 2w 3w 4w	14	17



Figuur 21 De procentuele verlaging van de ammoniak concentratie in de lucht afgezogen via de nok als functie van de hoeveelheid lucht die wordt afgezogen uit de kelder ten opzichte van de nokventilatie bij een ventilatiedebiet via de nok van 4000 m³/h; een buitentemperatuur van 20°C en een mesttemperatuur 15°C

Bij een nokventilatie groter dan 4000 m³/h is de procentuele afname van de concentratie in de nokventilatoren vrijwel gelijk aan het percentage van de lucht dat wordt afgezogen uit de kelder ten opzichte van de nokventilatie.

2.6.4 Conclusies

- Meer afzuigpunten oftewel een minder hoge luchtsnelheid in de kelder zorgt ervoor dat de hoeveelheid ammoniak die wordt afgevoerd uit de kelder niet toeneemt.
- De luchtsnelheid bij de dieren blijft beperkt (<20 cm/s) ook als er veel lucht via de kelder wordt afgezogen.
- Het temperatuurverschil tussen de mest en de lucht is volgens de CFD berekeningen van groot belang. Indien de mest kouder is dan de lucht heeft het afzuigen in de kelder wel nut; indien de mest warmer is dan de lucht dan zorgt de afzuiging in de kelder volgens de CFD berekeningen niet voor een vermindering van de ammoniak concentratie in de nok uitlaat.
- De CFD berekeningen zijn uitgevoerd bij 2 temperaturniveaus. In de praktijk zullen temperaturen en temperatuurverschillen continu veranderen, afhankelijk van de aangevoerde buitenlucht, de warmteproductie van de dieren en de warmteafvoer via de ventilatielucht. De variabele effectiviteit zal blijken uit waarnemingen met een hoge tijdsresolutie (verloop binnen etmaal) en het langere termijn verloop door seizoensinvloeden en toenemende warmteproductie door de groeiende dieren.

3 Pilot in stalunit

3.1 Stal, toegepaste technieken en meetmethode

3.1.1 Stalunit

In een afdeling op een praktijkbedrijf is een stalafdeling met twaalf hokken van zes kalveren (70 kalveren) is het kelderluchtafzuigsysteem uitgetest. De stalvloer was uitgevoerd met gangbare houten latten roosters.



Foto: Aanzicht houten latten roosters

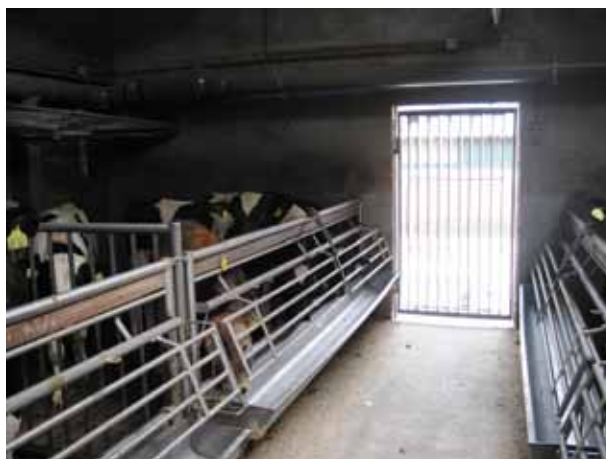


Foto: De luchtinlaat via lamellen in de deuropening

De witveeskalveren waren eind december 2007 opgelegd. De dieren kregen voornamelijk kunstmelk volgens een gangbaar voerschema en daarnaast een beperkte hoeveelheid ruwvoer (maïs). De verzorging van de dieren werd door de kalverhouder/eigenaar van het bedrijf uitgevoerd.

De normale ventilatie van de stal werd geregeld via 2 ventilatoren in de nok (totale ventilatiecapaciteit ca. 10500 m³/h ofwel per dier ca. 150 m³/h). In een kopgevel was een deur uitgevoerd als regelbare luchtinlaat. De ventilatie werd gestuurd via een klimaatcomputer. De minimum en maximum ventilatie bij een bepaalde minimum en maximum temperatuur werden door de kalverhouder op de gebruikelijke niveaus ingesteld. Tussen de ingestelde minimum en maximum temperatuur werd aangestuurd op een lineaire toename van de ventilatie. Naarmate de dieren zwaarder werden, werd de ventilatie via de instellingen op de klimaatcomputer in enkele stappen opgeschroefd.

3.1.2 Kelderlucht afzuiginstallatie

De dimensionering van het kelderluchtafzuigsysteem werd gebaseerd op eerdere CFD modelberekeningen en de gewenste range (hoeveelheden lucht in m³/uur) waarbinnen het systeem getest zou worden. De doorsnedes van de afzonderlijke aanzuigpunten, de verzamelbuis, een meetventilator en de koppeling met de buiten opgestelde kelderventilator werden in onderlinge samenhang berekend op basis van fysieke expertise (o.a. de wet van Daniël Bernoulli). Dit werd zo gedimensioneerd dat elke aanzuigopening in de kelder ongeveer evenveel lucht zou aanzuigen. De ventilator werd geselecteerd op basis van de berekende drukval in het systeem en de beoogde ventilatieniveaus.

Op de beide zijgevels van de afdeling werd bovenin de stal een verzamelbuis (PVC pijp met diameter van 200 mm) aangebracht. Verdeeld over de zijgevels (buitenwanden) en de kopgevel van de stal werden tien aftakkingen loodrecht naar beneden vanaf de verzamelbuis gemaakt. Deze aftakkingen (PVC pijpjes met een diameter van 110 mm) werden geïnstalleerd tot net onder de roostervloer, zodat de mestopslagcapaciteit slechts minimaal afnam en de kans op aanzuigen van mest (bij een te hoog mestniveau) zo klein mogelijk was. In de houten vloer werden aan de muurzijde kleine, ronde gaten gemaakt voor de doorgang van de afzuigpijpjes. Aan het uiteinde van de buizen werden aanzuigopeningen (verloopstukken) met een diameter van 75 mm geïnstalleerd. De verzamelbuis van de linker en rechter stalhelft werden aan de kopgevel met elkaar verbonden in een grote centrale buis (diameter ca. 300 mm). Deze centrale buis werd via een aangebracht gat door de buitenmuur geleid en daar aangesloten op een meetwaaier (diameter ca. 400 mm) voor exacte bepaling van de hoeveelheid

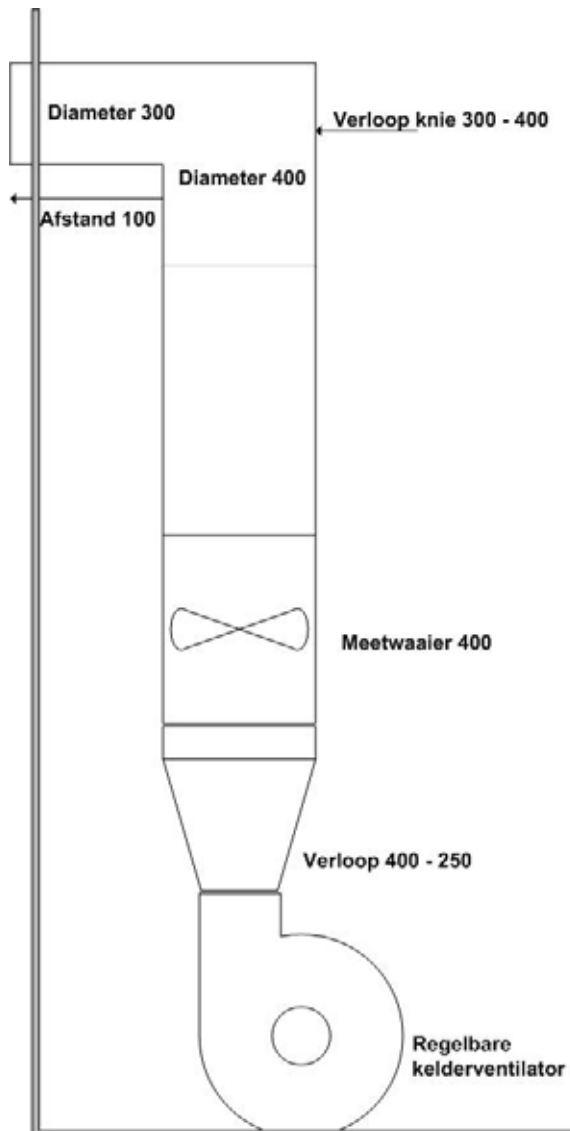
aangezogen lucht. Vervolgens werd de buis gekoppeld aan een regelbare kelderventilator. De uitlaat van deze ventilator werd aangesloten op de drukkamer van een opgestelde experimentele chemische luchtwasser.



Foto: Stalimpressie met tegen de zijwand horizontaal (op ca. 2 m hoogte) de verzamelbuis van de kelderafzuiginstallatie en verticaal de aftakkingen (zie naar beneden wijzende pijtjes op de beschermmantel van de buis) naar de afzuigpunten onder de roosters



Foto: Op de achterwand (onder de witte pijl op de kopgevel) de verbinding van de verzamelbuizen van de linker en rechter stalhelft



Tekening dwarsdoorsnede afzuiginstallatie buiten de stal met onderaan de ventilator



Foto: Zijaanzicht afzuiginstallatie buiten de stal

3.1.3 Luchtwasser

Tijdens de metingen is achter de kelderventilator een nieuw prototype luchtwasser voor kleine stalenheden opgesteld. Dit prototype was nog niet uitontwikkeld. Tijdens de proef is getracht om deze luchtwasser volledig operationeel te krijgen. Dit bleek lastiger dan voorzien. Alleen in de laatste maanden van de proef is het systeem beperkt operationeel geweest. De wasser was gedimensioneerd voor een debiet van ca. 10000 m³/h. Via de kelderafzuiginstallatie werd echter slechts 1000 tot 3000 m³ lucht per uur aangevoerd. Door de zeer geringe hoeveelheid lucht die vanuit de kelderventilator door de wasser werd geleid, was er onvoldoende tegenstroming van lucht ten opzichte van de hoeveelheid waswater die rondgepompt werd. Waarschijnlijk viel er in de opwaartse luchtstroom veel waswater naar beneden door de specifieke constructie van de wasser. Dit waswater hoopte zich op in de drukkamer die tussen de kelderventilator en de wasser was opgesteld. Daardoor functioneerde het wassysteem onvoldoende.

De resultaten van de kelderluchtafzuiging (ammoniakfluxen) worden daarom in dit rapport vermeld tot aan de wasser. Vervolgens zijn berekeningen gemaakt van de haalbare emissiereductie indien een goed functionerende wasser met een ammoniakverwijderingsrendement van 90% opgesteld zou worden. Dergelijke wassers worden reeds op grote schaal met succes toegepast in de varkens- en pluimveehouderij. Aangenomen mag worden dat deze erkende luchtwassers ook achter de kelderluchtafzuiginstallatie van een kalverstal goed zullen functioneren.



Foto: Prototype luchtwasser die achter de kelderluchtafzuiginstallatie werd opgesteld (luchtwassysteem heeft blauwe onderzijde en witte bovenzijde).

3.1.4 Ammoniakemissiemetingen

In de uitgaande luchtstroom bij de nok- en kelderventilator werden geijkte meetwaaiers gemonteerd die continu per omwenteling pulssignalen afgaven. Op basis hiervan werden de hoeveelheden ventilatielucht (m³/uur) bepaald. In de luchtstroom van de nok- en kelderventilator waren tevens bemonsteringsbuisjes aangebracht waarmee continu kleine deelstromen van de uitgaande lucht werden weggezogen naar een gasmonitor (Advanced Pollution Instruments Inc, model 200A). De ammoniakconcentraties van de lucht die de stal uitging via de nokventilatoren en via de kelderventilator konden zo afzonderlijk bepaald worden met een hoge tijdsresolutie. Per 10 minuten werden de ammoniakconcentraties en ventilatiedebieten door een datalogger vastgelegd. Uit deze gegevens werd later de ammoniakemissie via de nokventilatoren en via de kelderluchtafzuiginstallatie afzonderlijk berekend. De ammoniakemissie (g/h) is het product van het ventilatiedebiet (m³/h) en de ammoniakconcentratie (g/m³).

3.1.5 Klimaatgegevens

Continu werden de temperatuur en RV in de stal gemeten (met een Rotronic-sensor) en door de datalogger vastgelegd.

De buitentemperatuur en windsnelheid werden ontleend aan het in de nabijheid (afstand tot pilotlocatie: 5 km) gelegen weerstation van WUR-meteorologie (locatie weerstation: Haarweg Wageningen).

3.2 Proefopzet

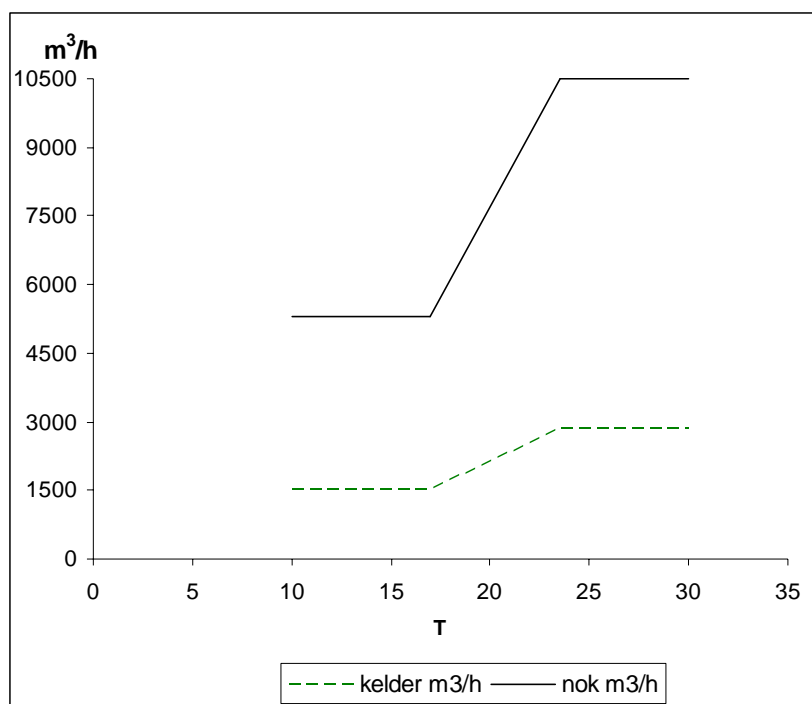
Voorafgaand aan de hierna beschreven proefperioden is de kelderluchtafzuiginstallatie en het ammoniakmeetsysteem verkennend getest (pretest).

In tabel 3 is de proefopzet met de bemeten varianten van kelderluchtafzuiging in relatie tot de nokventilatie weergegeven. Tijdens de proef werd in opeenvolgende perioden de hoeveelheid kelderlucht die afgezogen werd gevarieerd. De sturing van de hoeveelheid afgezogen kelderlucht werd steeds in vaste proporties afgestemd op de nokventilatie. Dit op een laag, medium of hoog niveau; het beoogde kelderafzuigdebiet was daarbij respectievelijk 20%, 27% en 33% van het nokventilatie-debiet. Om het risico op tocht ter hoogte van de dieren te minimaliseren werd besloten om tijdens de pilot niet bij hogere niveaus van kelderluchtafzuiging dan 33% van de nokventilatie te experimenteren.

Tijdens de pilot werden ook perioden zonder kelderluchtafzuiging ingelast om zo een beeld te krijgen van de normale ammoniakemissie in de loop van de tijd.

In periode 1, 5, 7, 9, 14 en 17 is geen kelderluchtafzuiging toegepast.

De kelderventilator werd aangestuurd via een apart kanaal van de in de stal aanwezige klimaatcomputer die ook voor de nokventilatoren gebruikt werd. In figuur 22 is de temperatuurafhankelijke sturing in proefperiode 9 geïllustreerd.



Figuur 22 Illustratie van de temperatuurafhankelijke regeling van de kelderafzuiging (m³/h) en de ingestelde nokventilatie in periode 9. De nagestreefde kelderventilatie is in deze periode steeds 28% van de nokventilatie. De maximale nokventilatie van ca. 10500 m³/h komt overeen met per dierplaats ca. 150 m³/uur

Per proefperiode is het verloop in de tijd (binnen etmalen en over meerdere etmalen) van de emissieflux via de nokventilatoren en de kelderafzuiginstallatie bepaald. Tevens zijn gemiddelden van de relevante gegevens per proefperiode bepaald en is uitgaande van een verwijderingsrendement van een luchtwasser van 90% de netto emissiereductie per proefperiode berekend.

Tabel 3 Per proefperiode de ingestelde minimum en maximum ventilatie via de nokventilatoren en via de kelderluchtafzuiginstallatie bij de ingestelde temperaturen. Beneden Tmin werd het minimum ventilatieniveau aangehouden; tussen Tmin en Tmax werd de ventilatie lineair opgeschroefd tot het ingestelde maximum bij Tmax. Boven Tmax werd de ventilatie constant op het ingestelde maximum gehandhaafd. De nokventilatoren hadden samen een maximum capaciteit van 10500 m3/h. De instellingen van de ventilatie zijn in de tabel uitgedrukt als percentage van deze maximale capaciteit (%).

Periode	Startdatum	Duur	behandeling	Klimaatcomputer		klimaatcomputer instelling		streefverhouding
				instelling nok & kelder		nok		
	d-m-y	Dagen		Tmin	Tmax	min	Max	Ventilatie
				'C	'C	%	%	Kelder : nok
						ventilatorcap.	ventilatorcap.	%
1	2-4-2008	5	0 (ref)	16	22,5	20	60	0
2	7-4-2008	9	<<L	17	23,5	15	60	15 (15-12) ^A
3	16-4-2008	7	<L	18	23,5	20	60	20 (22-16)
4	24-4-2008	12	M	16-17 ^B	22,5-23,5	20	60	26,5
5	6-5-2008	5	0 (ref)	17	23,5	35	100	0
6	10-5-2008	6	L	17	23,5	35	100	20
7	21-5-2008	5	0 (ref)			35	100	0
8	24-5-2008	1	L			35	100	20
9	4-6-2008	4	0 (ref)	17	23,5	35	100	0
10	9-6-2008	4	M	17	23,5	35	100	26,5
11	13-6-2008	4	H · M	17	23,5	35	100	33 – 27 ^C
12	17-6-2008	3	H · L	17	23,5	35	100	33 – 20 ^D
13	20-6-2008	8	M · L	17	23,5	35	100	27 – 20 ^E
14	29-6-2008	4	0 (ref)	17	23,5	35	100	0
15	2-7-2008	8	M	17	23,5	35	100	27
16	10-7-2008	5	M	17	23,5	35	100	27
17	14-7-2008	1	0 (ref)	17	23,5	35	100	0

^A In proefperiode 2 week de gerealiseerde ventilatie af van de beoogde waarde. De meetresultaten waren verder wel bruikbaar.

^B In proefperiode 4 is Tmin gewijzigd van 16 naar 17 en Tmax van 22,5 naar 23,5 °C.

^C kelderventilatie is 33% van nokventilatie bij Tmin en loopt procentueel terug naar 27% van nokventilatie bij Tmax

^D kelderventilatie is 33% van nokventilatie bij Tmin en loopt procentueel terug naar 20% van nokventilatie bij Tmax

^E kelderventilatie is 27% van nokventilatie bij Tmin en loopt procentueel terug naar 20% van nokventilatie bij Tmax

3.3 Resultaten

In tabel 4 zijn per periode de gemiddelden weergegeven van de gemeten ammoniakemissie, ventilatie-debiet, staltemperatuur, relatieve vochtigheid, en verschillen tussen stal- en buitentemperatuur.

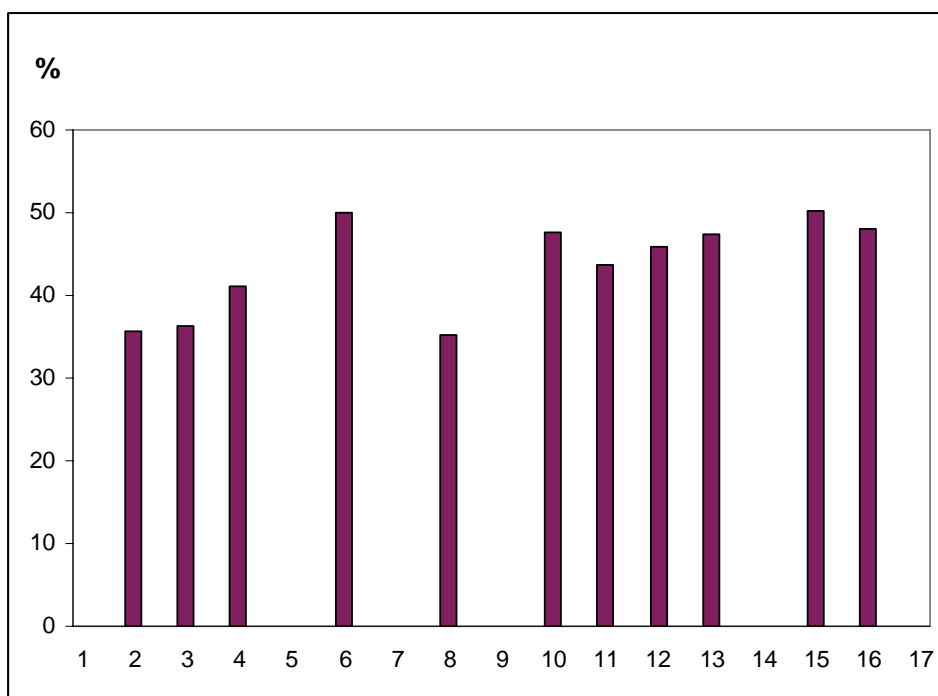
Tabel 4 Per periode, de gemiddelden van de gemeten ammoniakemissie, ventilatie-debiet, staltemperatuur, relatieve vochtigheid, en verschillen tussen stal- en buitentemperatuur

Periode	Behandeling (kelderluchtafzuiging)	Nokventilatie, m ³ /uur	Kelderventilatie, m ³ /uur	Nok NH ₃ emissie, g/uur	Kelder NH ₃ flux, g/uur	Kelderflux : totaal, %	Nok NH3 concentratie, ppm	Kelder NH3 concentratie, ppm	T stal °C	RH stal%	T buiten °C	Windsnelheid, m/s	Temperatuurverschil binnen-buiten, °C
1	Ref	3970	0	26	0	0	9,3		16,0	80	6,8	3,1	10,0
2	<<L	3710	960	19	10	36	7,2	14,9	16,1	72	6,4	2,6	9,9
3	<L	5000	1040	21	12	36	6,0	15,8	17,7	67	10,1	4,8	7,6
4	M	5770	1400	21	15	41	5,5	14,6	19,5	66	13,1	3,7	6,4
5	Ref	9170	0	35	0	0	5,5		23,1	54	19,1	3,5	4,0
6	L	9980	1900	22	21	50	3,1	15,4	23,6	51	19,7	3,0	3,9
7	Ref	9680	0	36	0	0	5,4		21,8	57	16,5	3,4	5,3
8	L	8460	1590	29	16	35	4,9	14,0	20,0	72	14,2	4,8	5,8
9	Ref	10320	0	40	0	0	5,5		23,9	69	18,6	2,2	5,3
10	M	8480	2240	24	23	48	4,3	14,1	21,1	64	14,1	2,4	7,0
11	H-M	7500	2160	31	24	44	6,1	15,3	19,5	66	12,2	1,9	7,3
12	H-L	9350	2000	29	24	46	4,5	16,8	21,5	62	15,8	3,8	5,8
13	M-L	9920	1990	29	26	47	4,1	18,0	23,0	61	17,6	4,5	5,4
14	Ref	10230	0	51	0	0	7,1		24,2	62	18,5	3,0	5,7
15	M	9870	2480	29	30	50	4,2	16,7	22,8	69	17,5	4,1	5,3
16	M	9600	2460	31	29	48	4,7	16,5	21,9	71	16,2	3,8	5,7
17	Ref	10360	0	55	0	0	7,5		23,2	66	16,5	4,1	6,7

Kelderflux : totaal % : percentage dat kelderflux uitmaakt van som van nok en kelderflux van ammoniak

Uit tabel 4 blijkt dat tijdens de eerste meetperioden 36 tot 41% van de totale emissie via de kelderafzuiginstallatie is weggevangen. In latere perioden neemt dit –waarschijnlijk door een betere instelling van de kelderafzuiging en wellicht ook door een toename van de kelderemissie- toe tot ca. 50% (figuur 23). Tussen de verschillende behandelingen zijn er vanaf periode 10 geen grote verschillen. In veel gevallen was de staltemperatuur nagenoeg de gehele meetperiode niet veel onder de 23 °C en daarbij werd steeds het maximale nokventilatie-niveau benaderd. Een wijziging van de minimumventilatie heeft dan vrijwel geen effect.

Het verloop van de belangrijkste parameters gedurende de afzonderlijke meetperioden is grafisch weergegeven in bijlage 4.



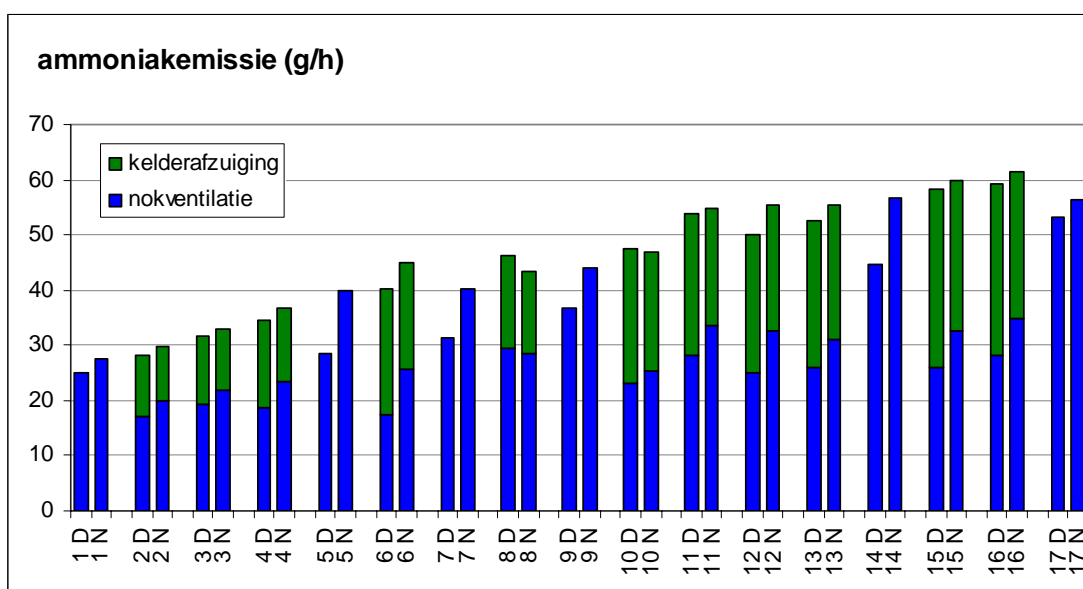
Figuur 23 Per periode, het percentage van de totale emissie dat via de kelderafzuiginstallatie is weggevangen

Uit de meetresultaten blijkt dat overdag gemiddeld een wat groter deel van de totale ammoniakemissie via de kelderluchtafzuiginstallatie ingevangen kan worden dan 's nachts (tabel 5).

Tabel 5 Gemiddelde verdeling van ammoniakemissie (% van som van kelder en nok) tussen kelder en nok; overdag en 's nachts

	Overdag (%)	's Nachts (%)
Kelder	48	40
Nok	52	60

In figuur 24 zijn per periode de gemiddelden van de ammoniakemissie via de nok en via de kelderluchtafzuiginstallatie, overdag (7.00 -19.00 uur) en 's nachts (19.00 – 7.00 uur) afzonderlijk weergegeven.

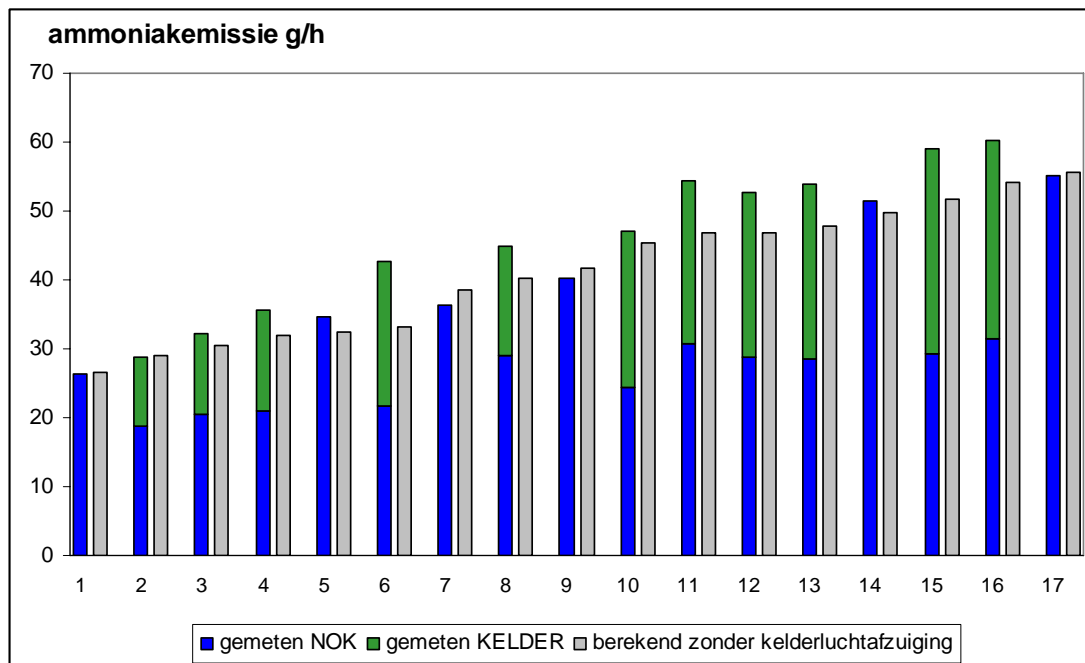


Figuur 24 Per periode de gemiddelden ammoniakemissie via de nok en via de kelderluchtafzuiginstallatie; overdag (D) en 's nachts (N) afzonderlijk

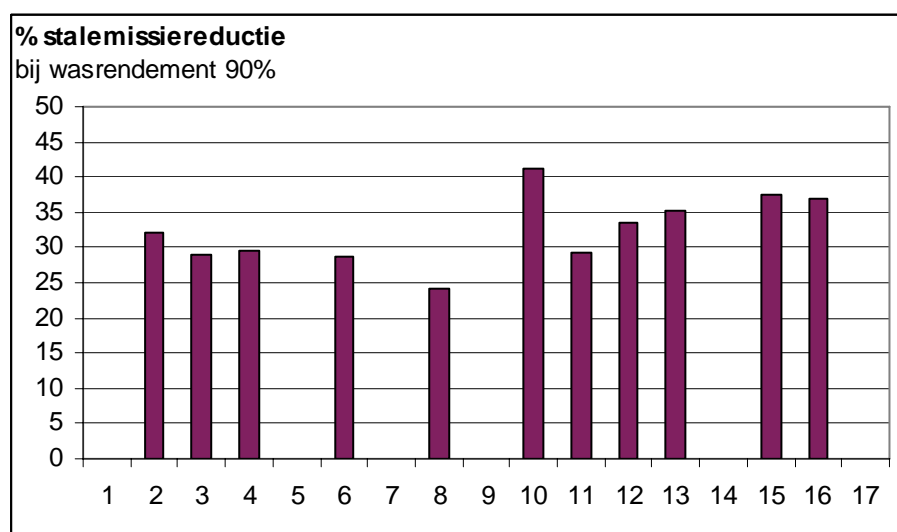
In figuur 25 zijn de periodegemiddelden van de gemeten ammoniakemissies via de reguliere nokventilatoren en via de bijgeschakelde kelderluchtafzuiginstallatie weergegeven. Tevens is per periode een schatting weergegeven van de ammoniakemissie die zonder kelderluchtafzuiging gerealiseerd zou zijn. Deze schatting (door interpolatie) is gebaseerd op een regressie van de gemeten emissies tijdens de perioden waarin geen kelderluchtbehandeling is toegepast (zie bijlage 5).

Uit figuur 25 kan afgeleid worden dat door kelderluchtafzuiging de totale emissie wat toeneemt ten opzichte van de emissie zonder kelderluchtafzuiging. De ammoniakflux via de kelder kan met een luchtwasser echter fors beperkt worden.

In figuur 26 is het verloop van de emissiereductie door de kelderluchtbehandeling weergegeven ervan uitgaande dat de bijdrage van de kelderflux aan de ammoniakuitstoot gedecimeerd wordt. dit door een luchtwasser met een rendement van 90%.



Figuur 25 Periodegemiddelden van de gemeten ammoniakemissies via de reguliere nokventilatoren en de bijgeschakelde kelderluchtafzuiginstallatie. Tevens is een berekende ammoniakemissie zonder kelderluchtafzuiging weergegeven op basis van regressieanalyse. In periode 1, 5, 7, 9, 14 en 17 is geen kelderluchtafzuiging toegepast.



Figuur 26 Verloop van de emissiereductie (per periode) door de kelderluchtbehandeling, ervan uitgaande dat de bijdrage van de kelderflux aan de ammoniakuitstoot gedecimeerd wordt door een luchtwasser met een rendement van 90%

3.4 Discussie

Proof of principle

Uit de hier gerapporteerde eerste test van een systeem met kelderluchtafzuiging in een vleeskalverstal is gebleken dat het principe werkt: het is praktisch haalbaar om een aanzienlijke hoeveelheid ammoniak via kelderluchtafzuiging te verwijderen in een beperkt volume lucht. Door een luchtwassysteem met een ammoniakverwijderingsrendement van 90% toe te passen achter de kelderventilator kan een ammoniakemissiereductie van 30-45% bereikt worden.

Deze proef werd uitgevoerd in een mechanisch geventileerde stal zodat de ammoniakemissie via de nokventilatoren ook op relatief eenvoudige wijze nauwkeurig gekwantificeerd kon worden. Hetzelfde principe is ook toepasbaar in natuurlijk geventileerde stallen. De kelderluchtafzuiginstallatie kan immers evengoed in een dergelijke stal aangelegd worden. De luchtstroming door de kelder en de ventilatiedebieten in de stal zijn bij natuurlijke ventilatie echter wel meer variabel en minder stuurbaar dan in mechanisch geventileerde stallen. Onder koude omstandigheden kan bij mechanische ventilatie het debiet nauwkeurig bijgesteld worden; bij natuurlijke ventilatie kan dit slechts in beperkte mate. Bij natuurlijke ventilatie vraagt de regeling van de kelderventilatie nog nadere fine-tuning.

Verbetermogelijkheden ventilatieregeling

Tijdens deze eerste proef is de ventilatieregeling van de nokventilatie niet gewijzigd tijdens de perioden dat de kelderlucht werd afgezogen. De aanvullende luchtafzuiging via de kelder is beperkt tot maximaal 33% van de nokventilatie. Uit de resultaten blijkt dat 's nachts een wat kleiner deel van de totale ammoniakflux via de kelderafzuiginstallatie weggevangen kon worden.

Gedurende de nacht neemt het verschil tussen de temperatuur in de stal en de temperatuur van de aangevoerde buitenlucht toe. De door de onderdruk in de stal aangevoerde koudere buitenlucht zal voor een groter deel door de kelder stromen dan de warmere buitenlucht die overdag in de stal stroomt.

Wellicht is door het beperken van de nokventilatie en het vergroten van het aandeel van de kelderluchtafzuiging gedurende de nacht een verdere verbetering van het rendement van de installatie te behalen. Deze aanpak heeft echter ook een beperking. 's Nachts zullen de dieren grotendeels rusten en een aanzienlijk deel van de roostervloeroppervlakte afdekken. De resterende openingen in de roosters hebben een beperkte oppervlakte. Als hier meer lucht wordt doorgezogen dan er van nature door de koudeval doorheen zakt, kan een tochtprobleem gecreëerd worden. De kalveren kunnen bij tocht gevoeliger worden voor luchtwegaandoeningen en andere ziekten. Dit is vooral bij jonge dieren een belangrijk aandachtspunt. De verdeling van de lucht tussen nokventilator en kelderventilator kan met deze randvoorwaarden verder geoptimaliseerd worden.

De metingen zijn uitgevoerd in het voorjaar en de zomer. Aanbevolen wordt om ook gedurende een mestrone in de winter waarnemingen te verrichten.

Aandachtspunt vervuiling

Tijdens de proef bleek dat met de afgezogen kelderlucht haren en andere deeltjes vanuit de mestkelder werden meegevoerd. Voor het praktisch functioneren van een luchtwasser is het van belang dat dit materiaal goed gefilterd wordt met een zeef en/of een watertrap zodat de chemische wasser niet snel vervuult. In de pluimveehouderij is veel ervaring met het wegvangen van fijnstof (inclusief veren en kleine strooiseldeeltes) voor de luchtwasser. Het luchtwassysteem kan daarmee jarenlang goed functioneren.

Ook geuremissiereductie mogelijk

De meeste geurcomponenten in een kalverstal komen waarschijnlijk vrij uit de mest in de mestkelder. Door de kelderlucht apart af te zuigen en te behandelen in een biologisch luchtwassysteem of een gecombineerde luchtwasser (chemisch en biologisch) zal de geuremissie naar verwachting fors verminderen. In de hier gerapporteerde pilot is de geuremissie niet bepaald. Aanbevolen wordt om dit bij verdere opschaling wel te onderzoeken.

Diergezondheid

Naast de beperking van de ammoniakemissie heeft het onderzochte systeem mogelijk ook nog een aantal andere voordelen. Door lucht met hoge concentraties van gassen die uit de mest zijn vervluchtigd onder de roosters af te zuigen moet de kwaliteit van de lucht boven de roosters een stuk beter zijn. Dit zal de gezondheid van de dieren ten goede komen. Aanbevolen wordt om de verbetering van de luchtkwaliteit in de stal (concentraties van gassen ter hoogte van de dieren) in vervolgonderzoek nader te specificeren.

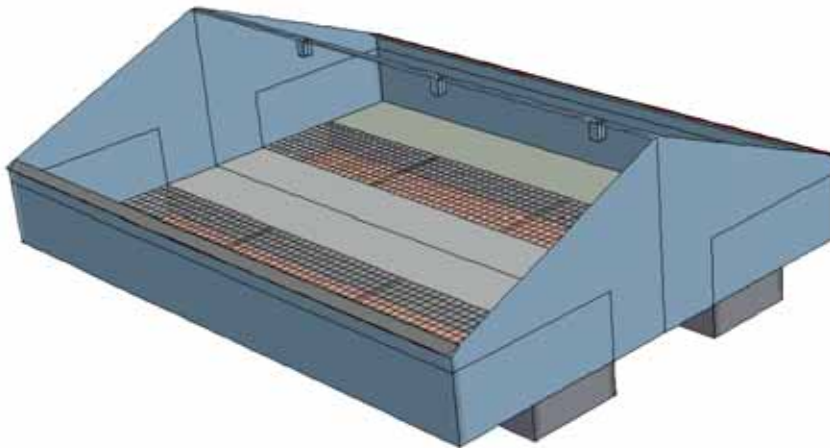
Bijlagen

Bijlage 1 Vergelijking CFD versus eerdere meetresultaten in een melkveestal

Er is een vergelijking gemaakt tussen CFD simulaties en de door Monteny (2000) gerapporteerde meetwaarden in een mechanisch geventileerde melkveestal. De meetwaarden zijn beschreven in hoofdstuk 5 van het proefschrift van Monteny. In de melkveestal is destijds met een tracergas bepaald hoe groot de ventilatie van de kelder was als functie van de hoeveelheid mechanische ventilatie van de stal en het temperatuurverschil tussen de luchttemperatuur in de kelder en de buitenlucht. De maximale capaciteit van de drie ventilatoren in de betreffende stal was 24000 m³/uur. In de kelder wordt in het CFD model gesimuleerd dat een kleine hoeveelheid tracergas geïnjecteerd wordt met dezelfde eigenschappen als lucht. Op basis van de concentratie in de kelder kan dan worden bepaald hoe groot de luchtuitwisseling met de stal is in m³/s.

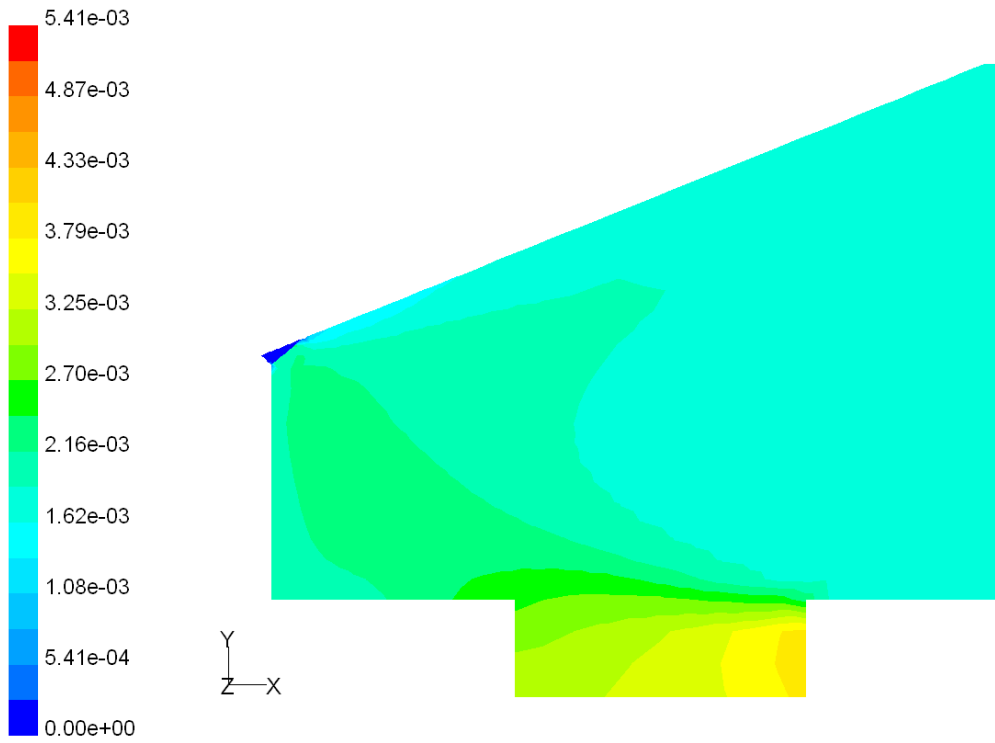
$$\phi_{v,kelder} = \frac{\phi_{m,tracer}}{c_{tracer}}$$

Waarbij $\phi_{m,tracer}$ de totale dosering tracergas is in kg/s en c_{tracer} de concentratie tracergas is in de kelder in kg/m³.



Figuur 27 Het CFD model van de melkveestal

De mestopslag onder de ligplaatsen van de koeien is niet meegenomen in het model omdat deze ruimte niet direct in contact staat met de stal (-lucht). Niet de gehele stal zoals in bovenstaande figuur wordt weergegeven maar de helft ervan is meegenomen tijdens de CFD berekeningen. De stal is symmetrisch in de lengterichting en halvering bespaart rekentijd. De simulatie op basis van het model zoals weergegeven in de figuur laat een te hoge ventilatie van de kelderruimte zien, namelijk 55% bij 100% ventilatorcapaciteit en een temperatuurverschil van 5K. De reden is waarschijnlijk dat het voerhek een deel van de luchtstroom tegenhoudt. Het voerhek is in het model niet opgenomen. Als het voerhek wel wordt opgenomen waarbij de onderkant van het voerhek voor 60 cm als dicht wordt beschouwd

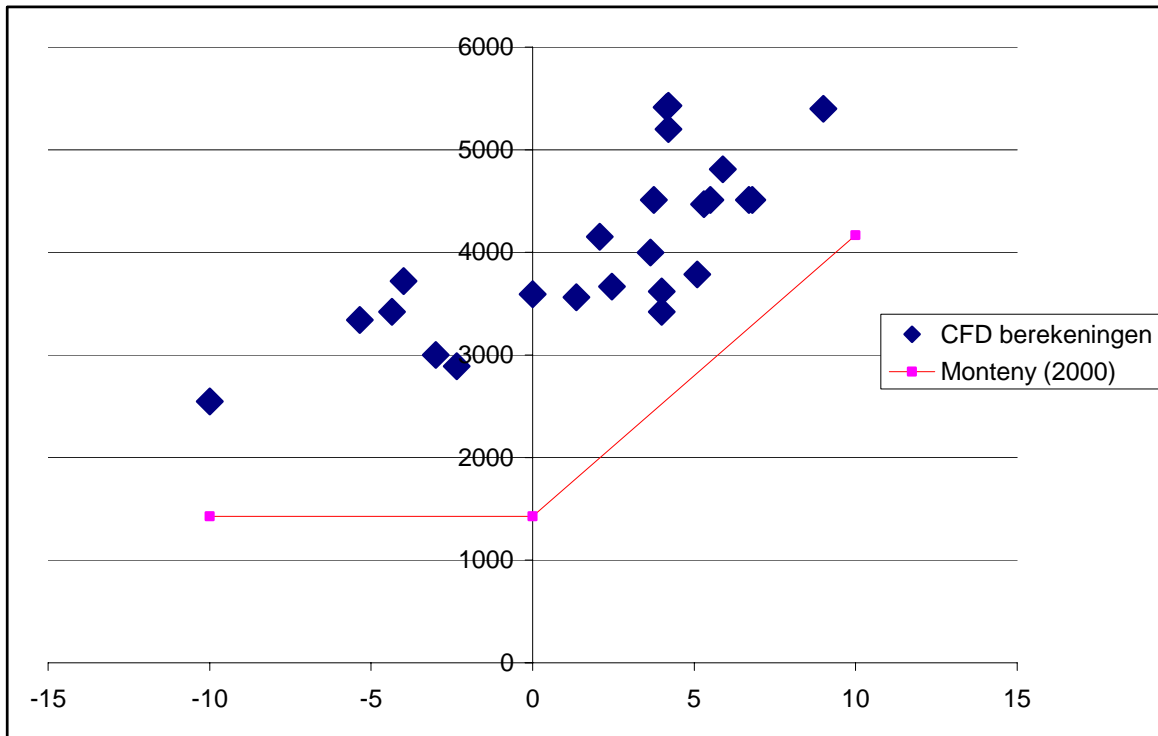


Figuur 28 Concentratie van het tracergas in het vlak midden in de stal

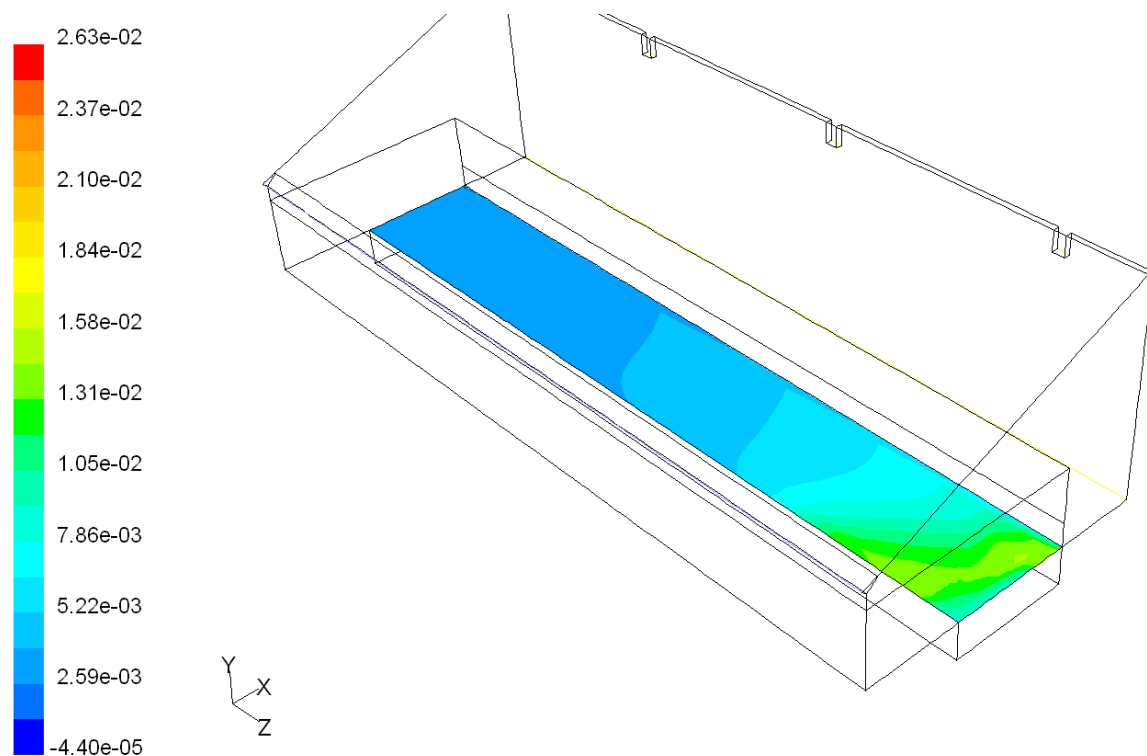
Bovenstaande figuur laat een CFD resultaat zien van de concentratie tracergas in de stal. Het ventilatie debiet van de kelder is voor verschillende situaties berekend. De variaties zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Waardes voor de variabelen van de simulatie

Variabelen	Waarde
Voelbare warmteproductie [W/koe]	320; 640; 960
Buitentemperatuur [°C]	5; 10; 15; 20
Mesttemperatuur [°C]	10; 15



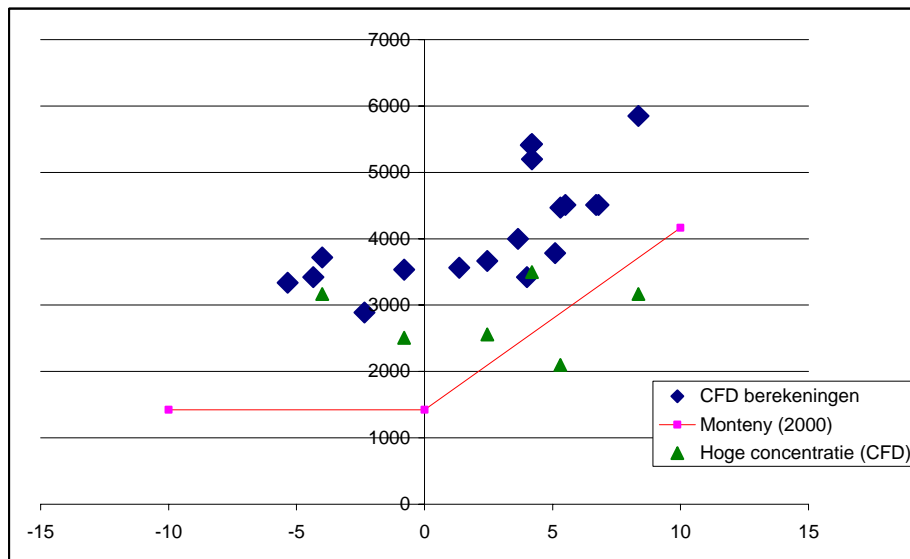
Figuur 29 Ventilatie van de kelder in $m^3 \text{ uur}^{-1}$ als functie van het temperatuurverschil tussen de lucht in de kelder en de buitenlucht



Figuur 30 Berekende concentratie tracergas nabij het rooster waarbij de buitentemperatuur 5°C is en de mesttemperatuur 10°C is

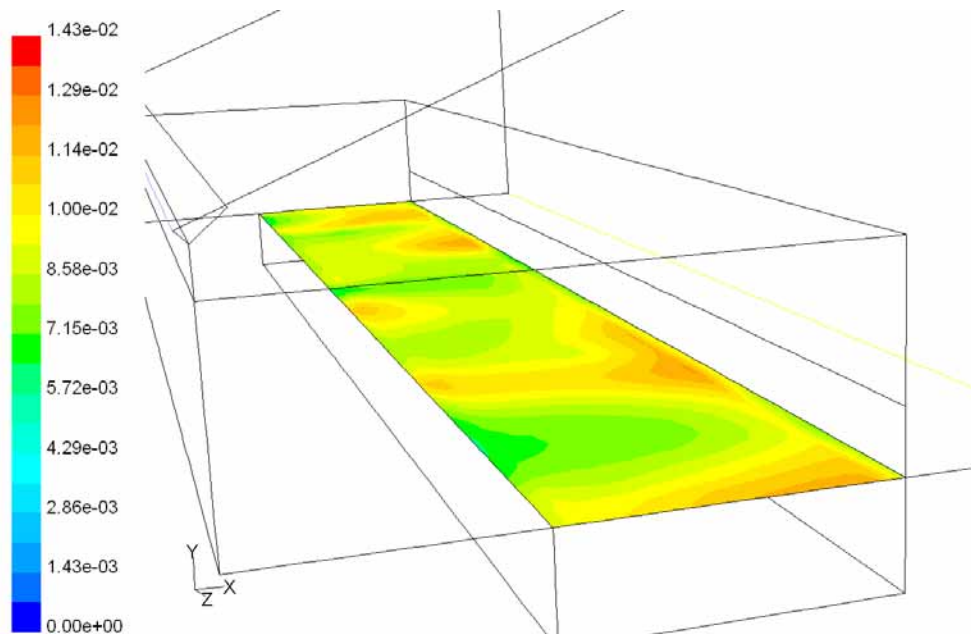
De luchtuitwisseling met de kelder werd in het proefschrift van Monteny (pagina 88) gebaseerd op de *maximale* CO (tracergas) concentratie nabij het rooster. Voor de CFD berekening is de luchtuitwisseling bepaald op basis van de *gemiddelde* concentratie van het tracergas in de kelder. De luchtuitwisselingen berekend uit de resultaten in het proefschrift is hierdoor lager dan volgens de CFD berekeningen. Bovenstaand figuur laat de concentratie

tracergas nabij het rooster zien. De gemiddelde concentratie tracergas in de kelder is voor deze berekening $9.57 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$. De hoogste concentratie nabij het rooster waar in het experiment de metingen werden gedaan liggen rond de 1.31 kg m^{-3} . Voor een aantal berekeningen is de ventilatie ook bepaald op basis van de hoogste concentratie nabij de meetpunten tijdens het experiment, is zijn in onderstaande figuur opgenomen.

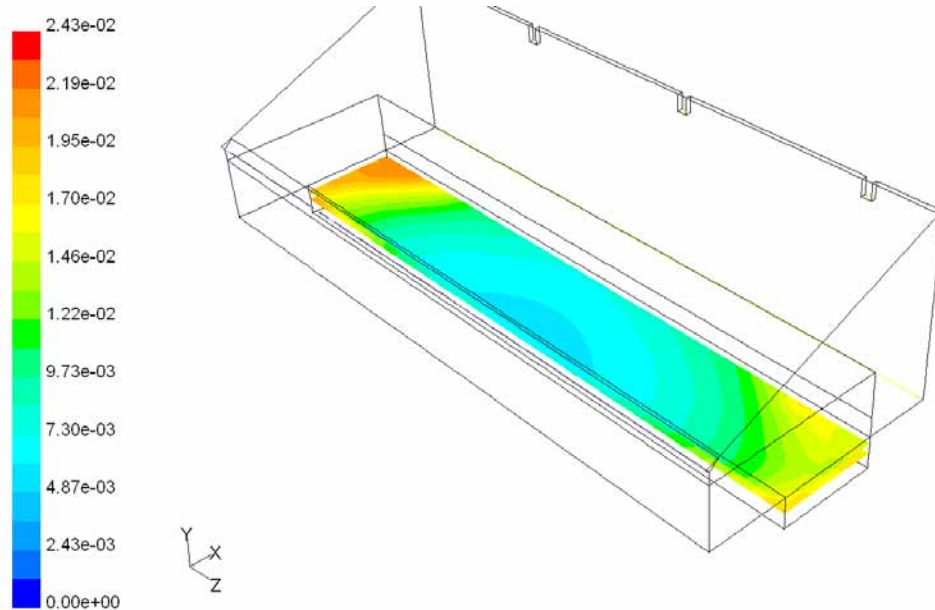


Figuur 31 Ventilatie van de kelder in $\text{m}^3 \text{ uur}^{-1}$ als functie van het temperatuurverschil tussen de lucht in de kelder en buiten

Indien uit wordt gegaan van een hogere concentratie komen de metingen beter overeen met de simulaties. In onderstaande figuren zijn nog enkele concentratieprofielen nabij het rooster weergegeven op basis waarvan de hoogste concentratie nabij de meetpunten is bepaald.

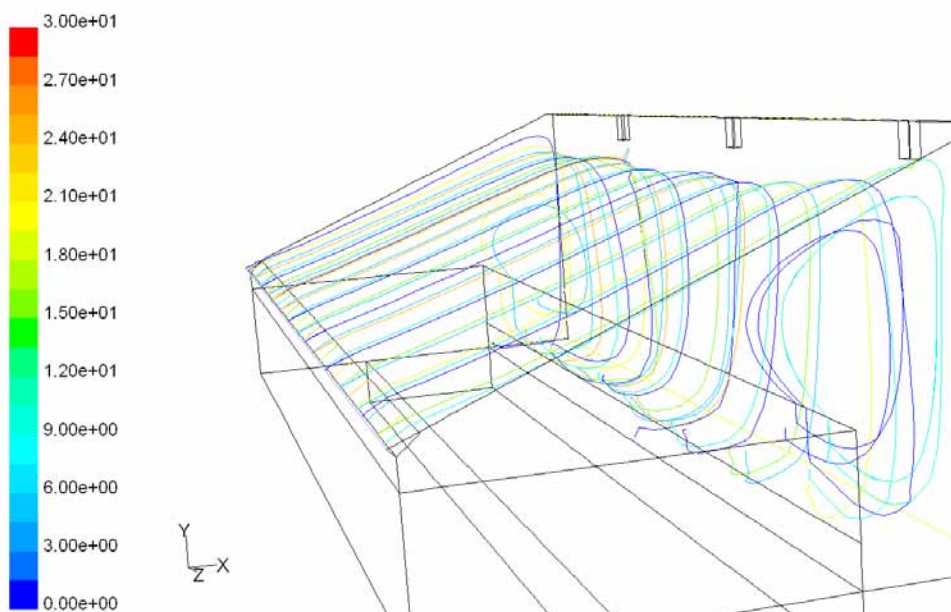


Figuur 32 Concentratie tracergas nabij het rooster waarbij de buitentemperatuur 20°C is en de mesttemperatuur 10°C is



Figuur 33 Concentratie tracergas nabij het rooster waarbij de buitentemperatuur 15°C is en de mesttemperatuur 15°C is

De gemiddelde concentratie in de kelder is in de situatie die in bovenstaande figuur is weergegeven $1.17 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$. De concentratie in de rest van de stal is $4.21 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. Deze concentratie is aanzienlijk ten opzichte van de concentratie in de kelder. Voor de experimenten is uitgegaan van de buitencondities waarbij de concentratie nihil wordt verondersteld. In werkelijkheid zal de ventilatie van de kelder dus groter zijn dan uit het experiment naar voren kwam.



Figuur 34 De weg die deeltjes losgelaten bij de inlaat afleggen door de stal als de buitentemperatuur 15°C is en de mesttemperatuur 15°C is en een ventilatorcapaciteit van 50%.

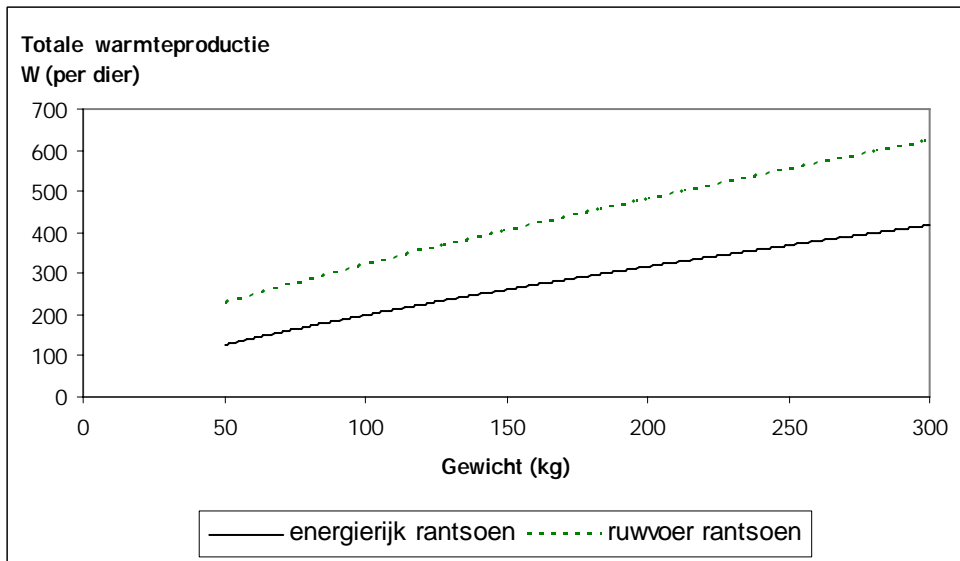
Door de relatieve smalle opening bij de inlaat blijft de lucht aan het dak 'plakken'. Dit patroon is ook te zien als de buitentemperatuur lager wordt gekozen. De lucht valt dus niet naar beneden de kelder in als deze kouder is volgens de berekeningen. Aan het plafond bevonden zich TL-balken die waarschijnlijk de luchtstroming langs het dak verstoren.

Conclusies van de validatie studie

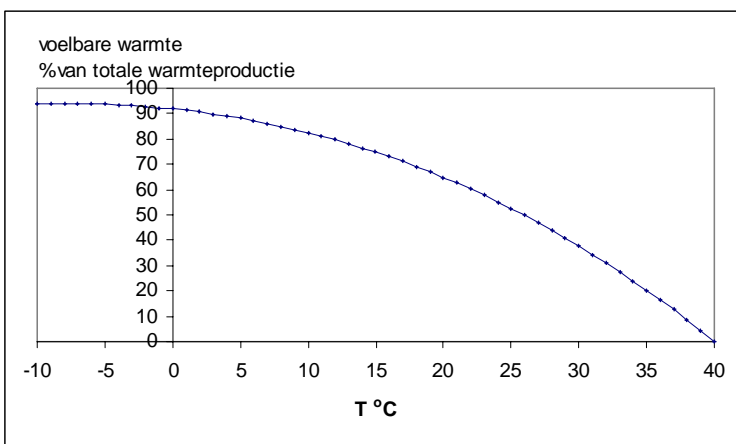
- Het is van belang alle componenten op te nemen in het model die wezenlijk de stroming in de stal beïnvloeden. Vooral op locaties waar de luchtsnelheid relatief hoog is.
- De metingen komen overeen met de simulaties als van de maximum concentratie nabij de meetpunten in het experiment wordt uitgegaan voor de berekeningen.

Op basis van deze berekeningen kan worden geconcludeerd dat CFD een goed inzicht kan geven in luchtbeweging in de stal en de daarbij behorende concentratieverdeling.

Bijlage 2 Warmteproductie vleeskalf volgens CIGR (2002)

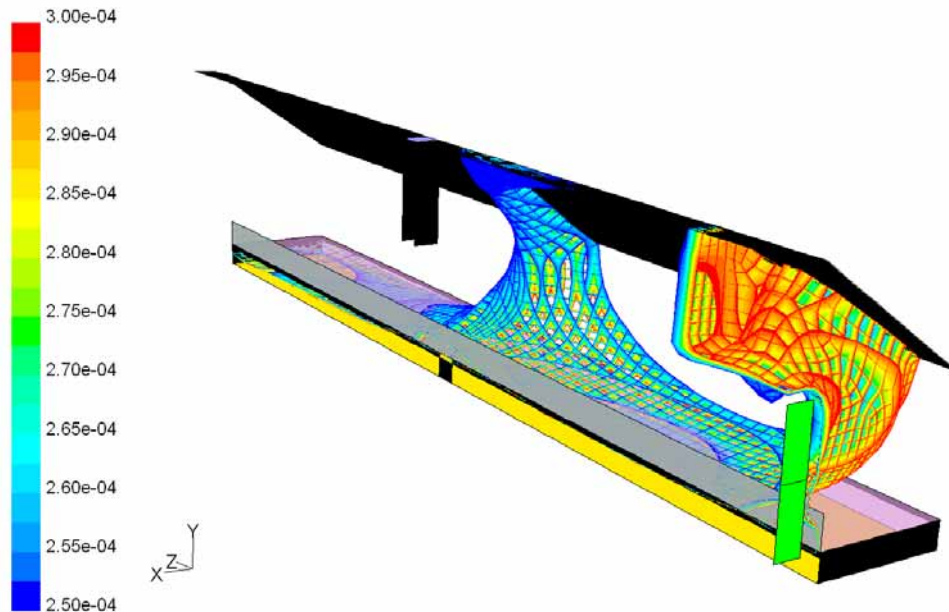


Bandbreedte totale warmteproductie in relatie tot gewicht van het vleeskalf bij een zeer energierijk rantsoen (20 MJ/kg DS) en bij een energiearmer ruwvoer rantsoen (10 MJ/kg DS). Voor het verteren van ruwvoer is o.a. veel meer pensactiviteit (en warmteproductie daarbij) nodig.



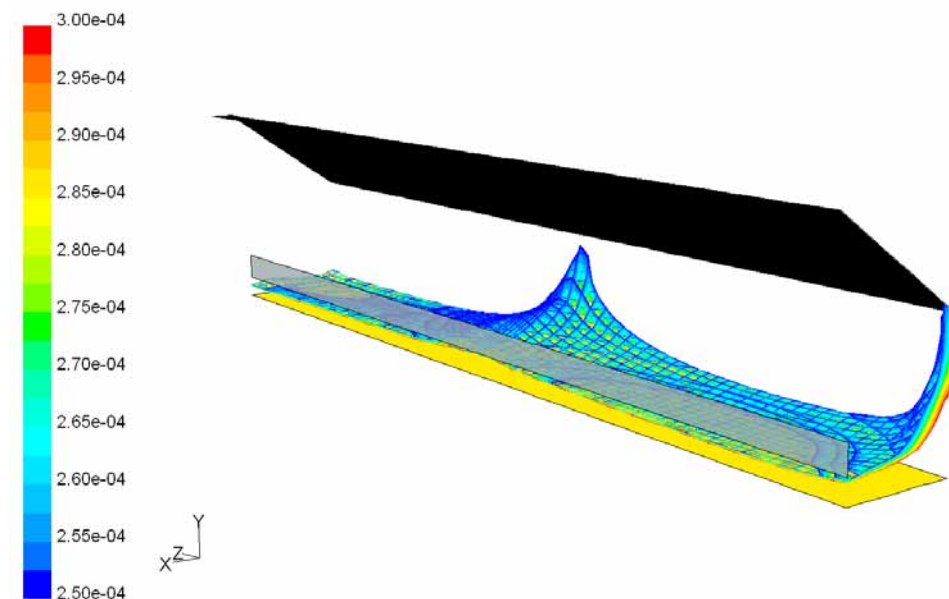
Bij hogere omgevingstemperaturen (kleiner temperatuurverschil met lichaamstemperatuur) kan het dier minder 'voelbare' warmte afgeven aan de omgeving; een toenemend deel van de door het dier geproduceerde warmte wordt bij hogere temperaturen afgegeven door verdamping (zweeten, hijgen).

Bijlage 3 Resultaten van CFD simulaties uitgaande van een arbitrair gemodelleerde vleeskalverenstal



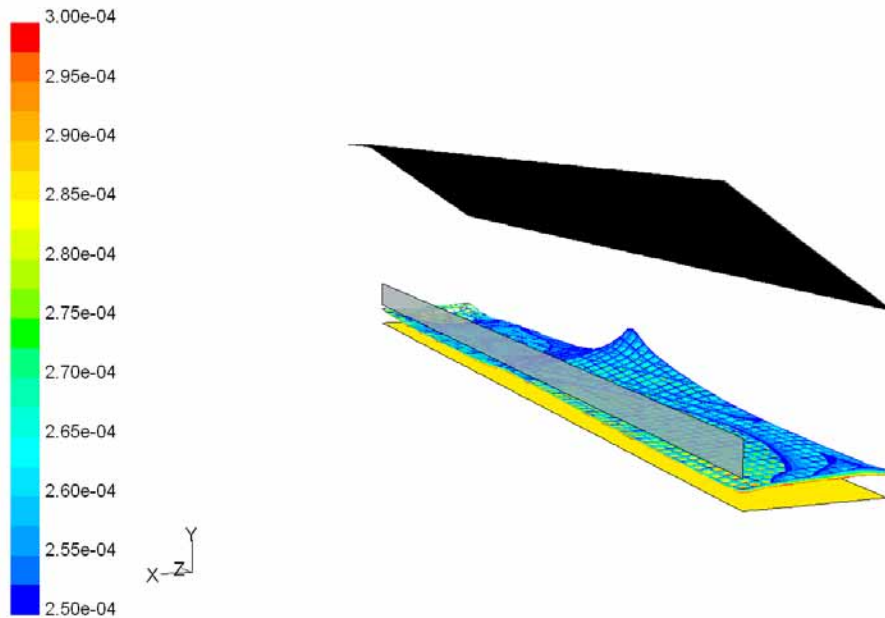
Figuur 35 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een hoge warmteproductie (500 W/dier) en hoge ventilatie (12000 m³/uur)

Figuur 35 laat de concentratieverdeling in een specifieke range in de stal zien. Het voornamelijk rode vlak voor de concentratie welke zich in de figuur rechts bevindt geeft aan dat de concentratie hier hoger is dan het maximum van de in de legenda weergegeven range. Omgekeerd geldt voor het hoofdzakelijk blauwe vlak dat de concentratie in de lucht voor dit gebied lager is dan de minimum waarde van de range. Uit de figuur komt naar voren dat de hoogste concentratie zich bij de staldeur bevindt. Op basis van deze figuur kan de meest geschikte plaats worden bepaald voor de afzuigpunten van de ammoniak. De afzuigpunten in de kelder van deze stal kunnen het beste worden geplaatst nabij de deur en in het midden van de kelder ter hoogte van het ventilatiekanaal. De ammoniakconcentratie in de lucht die door het dak wordt afgezogen is 0.18 kg/m³ bij de gegeven condities.



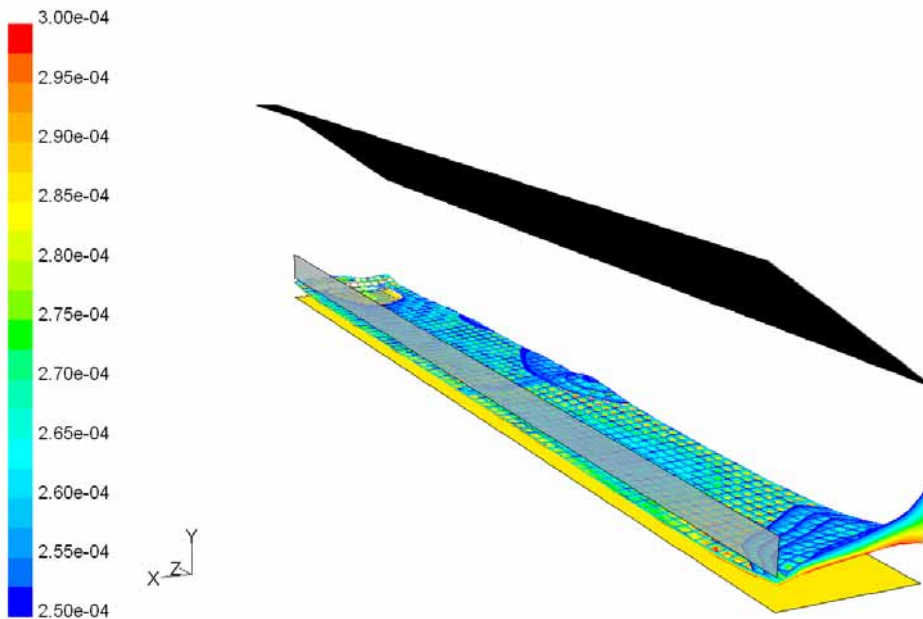
Figuur 36 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een hoge warmteproductie (500 W/dier) en hoge ventilatie (12000 m³/uur) waarbij 1200 m³/uur via de kelder wordt afgezogen bij de deur

Figuur 36 laat de concentratieverdeling in een specifieke range zien als er wordt afgezogen in de kelder nabij de deur. Voor dit geval wordt is de ammoniakconcentratie van de lucht die wordt afgezogen door het dak 0.15 gr/m³ en van de lucht die via de kelder wordt afgezogen 0.56 kg/m³. De totale hoeveelheid ammoniak die vrijkomt uit de mest neemt door de afzuiging in de kelder toe van 2.2 kg/uur naar 2.5 kg/uur. Dit berekende niveau is overigens veel hoger (ca. factor 100) dan in de praktijk voorkomt omdat de uitgangswaarde van de ammoniakconcentratie aan het oppervlak van de mest in de kelder steeds op een hoge waarde van 1 gr per kg lucht is ingesteld. Zou dit uitgangsniveau een factor 100 lager zijn aangenomen dan zou ook de uitkomst een factor 100 lager geweest zijn. Voor de analyse van de meest geschikt plaatsen van de kelderafzuigpunten maakt het dus niet uit.



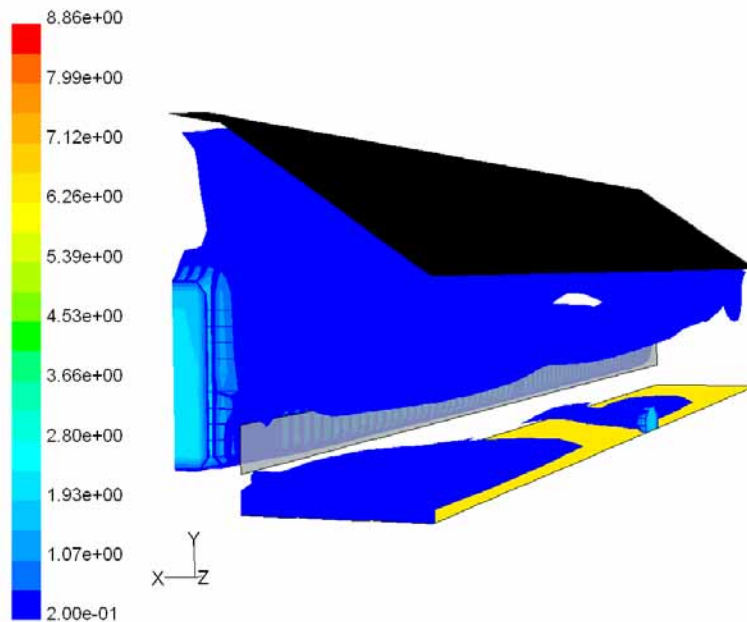
Figuur 37 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een hoge warmteproductie (500 W/dier) en hoge ventilatie (12000 m³/uur) waarbij 2400 m³/uur via de kelder wordt afgezogen bij de deur

De ammoniakconcentratie bij de kelderafzuiging is 0.44 gr/m³, en bij dakafzuiging 0.11 kg/m³. De totale hoeveelheid ammoniak die van de mest komt neemt niet verder toe door de verhoging van de ventilatie.



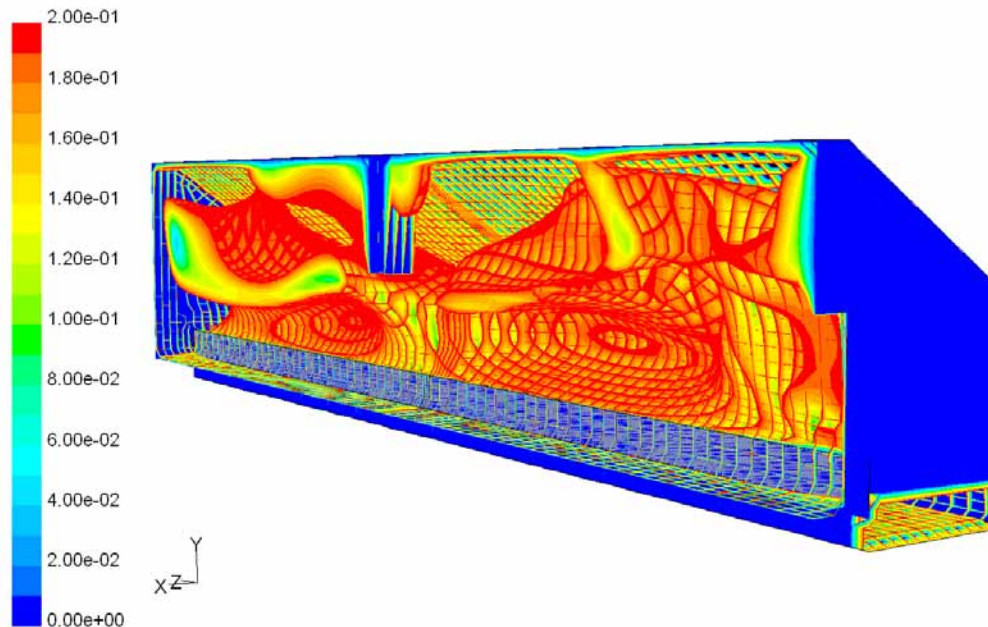
Figuur 38 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een hoge warmteproductie (500 W/dier) en hoge ventilatie (12000 m³/uur) waarbij 1200 m³/uur via de kelder wordt afgezogen bij de deur en 1200 m³/uur in het midden van de kelder bij de wand

Ammoniakconcentratie in de lucht zijn in het midden van de kelder, aan het eind van de kelder en bij het dak zijn respectievelijk 0.44, 0.55 en 0.10 gr/m³. Ook als er op meerdere punten in de kelder wordt afgezogen neemt de totale hoeveelheid ammoniak die vrijkomt niet toe.



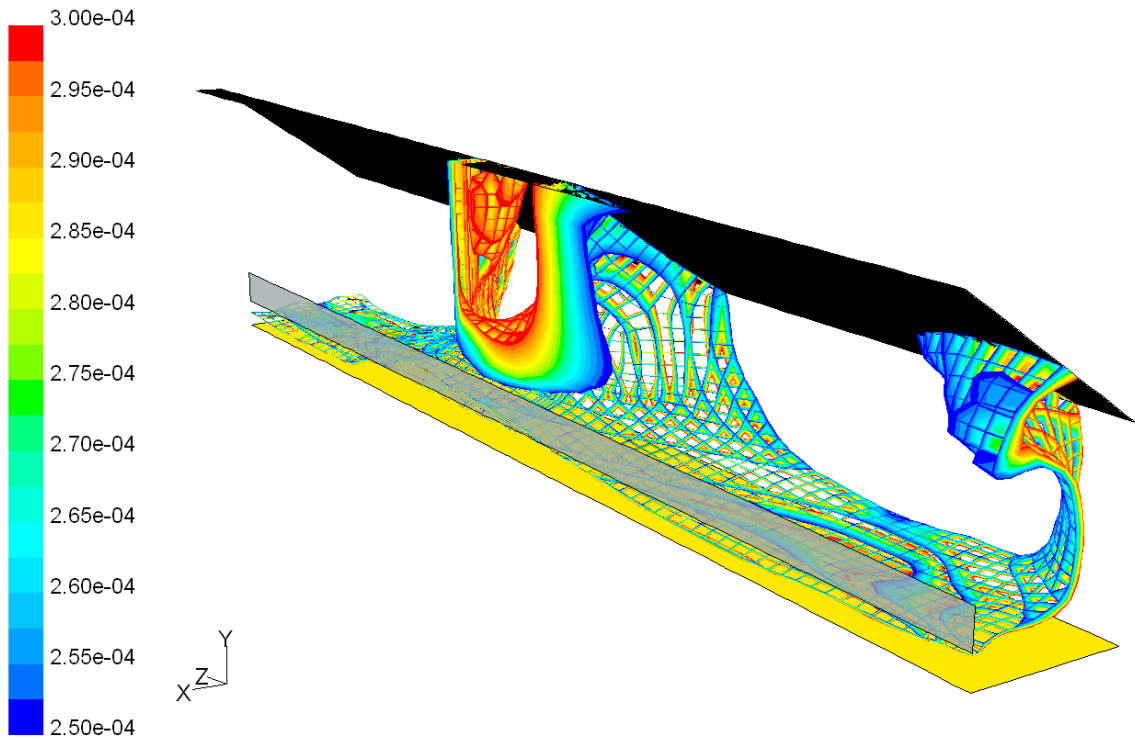
Figuur 39 Hoge luchtsnelheid bij dakventilatie en kelderventilatie bij een hoge afzuiging van 12000 m³/h via de nok en 2400 m³/h via de kelder

De luchtsnelheid rond de dieren mag niet te hoog zijn. Bovenstaande figuur laat het gebied in de stal zien waar de luchtsnelheid groter is dan 0.2 m/s. Uit de figuur kan worden geconcludeerd dat de luchtsnelheid laag in de stal waar de dieren staan niet boven de 0.2 m/s komt maar dat er nabij de koppen van de dieren als deze staan wel een hoger luchtsnelheid waarneembaar is.



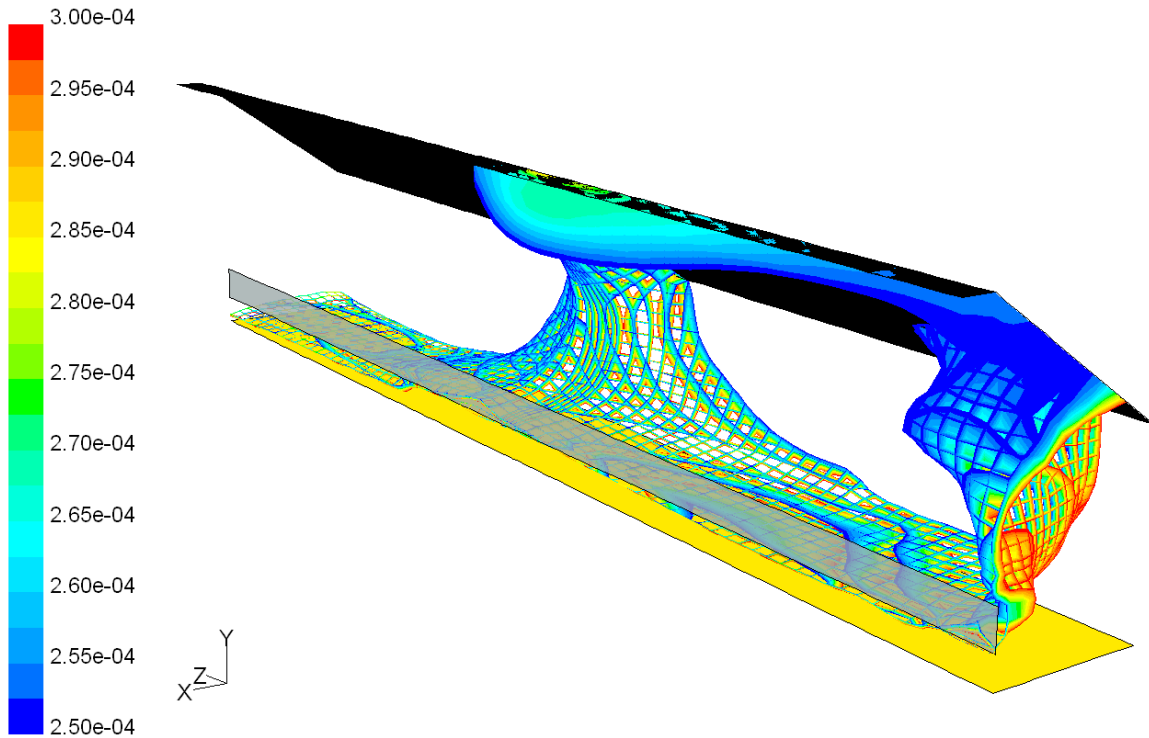
Figuur 40 Lage luchtsnelheid bij dakventilatie en kelderventilatie bij een hoge afzuiging van 12000 m³/h via de nok en 2400 m³/h via de kelder

Bovenstaande figuur laat het gebied in de stal zien waar de luchtsnelheid kleiner is dan 20 cm/s. Verlaging van de warmteproductie (200 W/dier) zorgt niet voor een verandering van de concentratie in de cel.

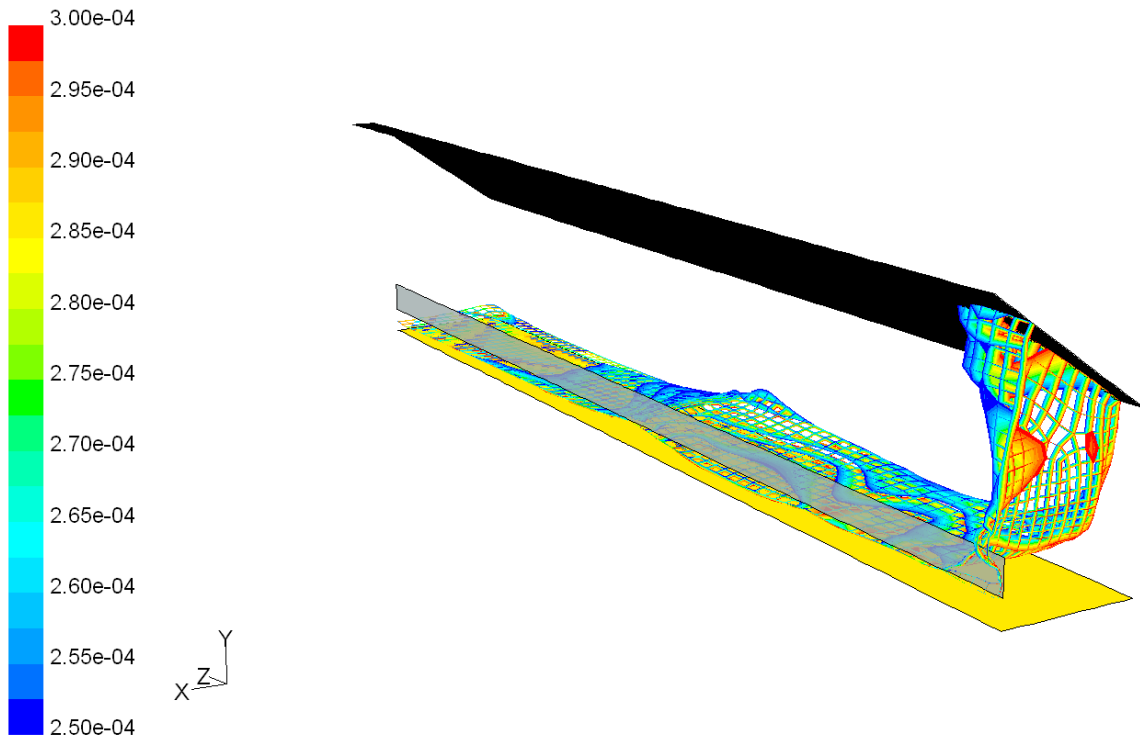


Figuur 41 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 6000 m³/uur)

Verlaging van de ventilatie heeft tot gevolg dat de concentratie nabij de ventilatie koker groter wordt. Bij de deur blijft de concentratie ook hoog maar minder dan bij de hoge ventilatie van 12000 m³/h. De ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht is 0.30 gr/m³, ongeveer twee keer zo hoog als bij de dubbel ventilatie wat overeenkomt met de verwachting.

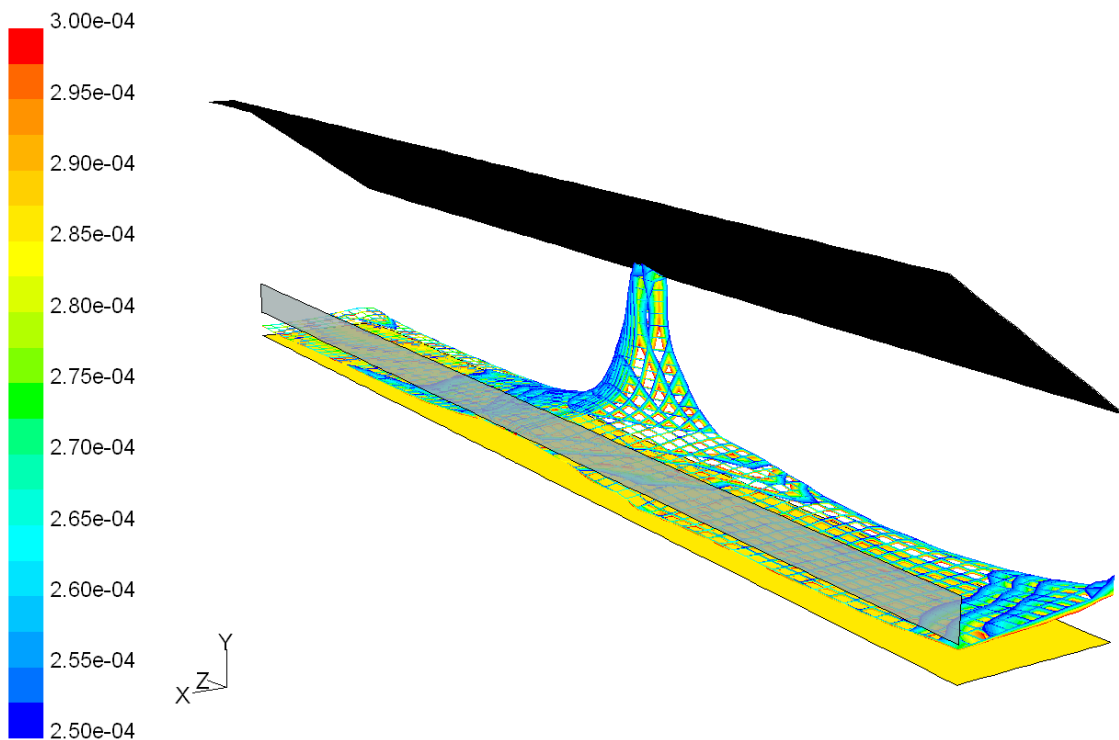


Figuur 42 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 6000 m³/uur via het dak en 600 m³/uur via het midden van de kelder



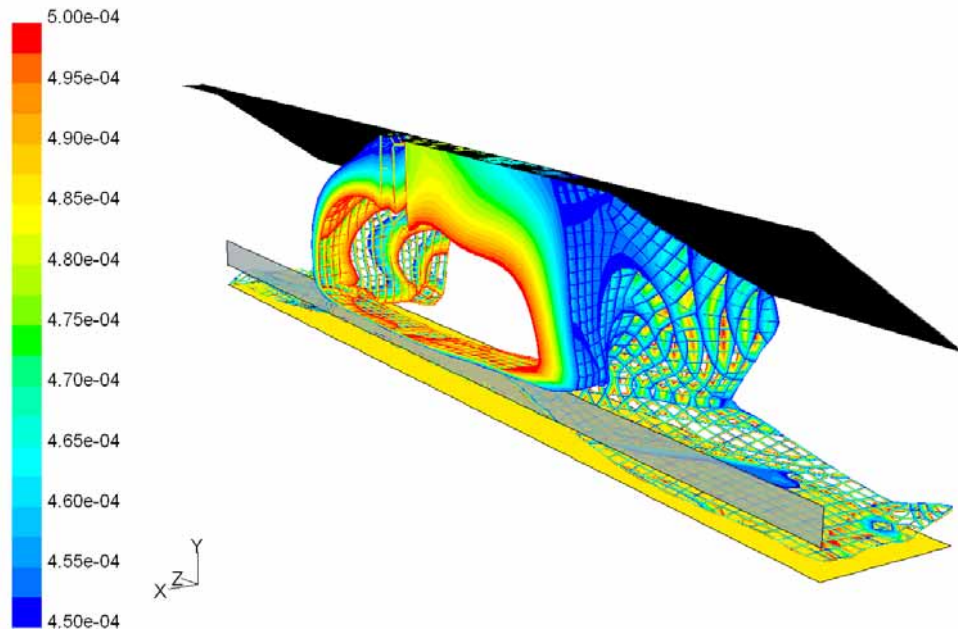
Figuur 43 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 6000 m³/uur via het dak en 1200 m³/uur via het midden van de kelder

De concentratie bij de afzuiging in de kelder en het dak zijn 0.57 en 0.11 gr/m³ respectievelijk.



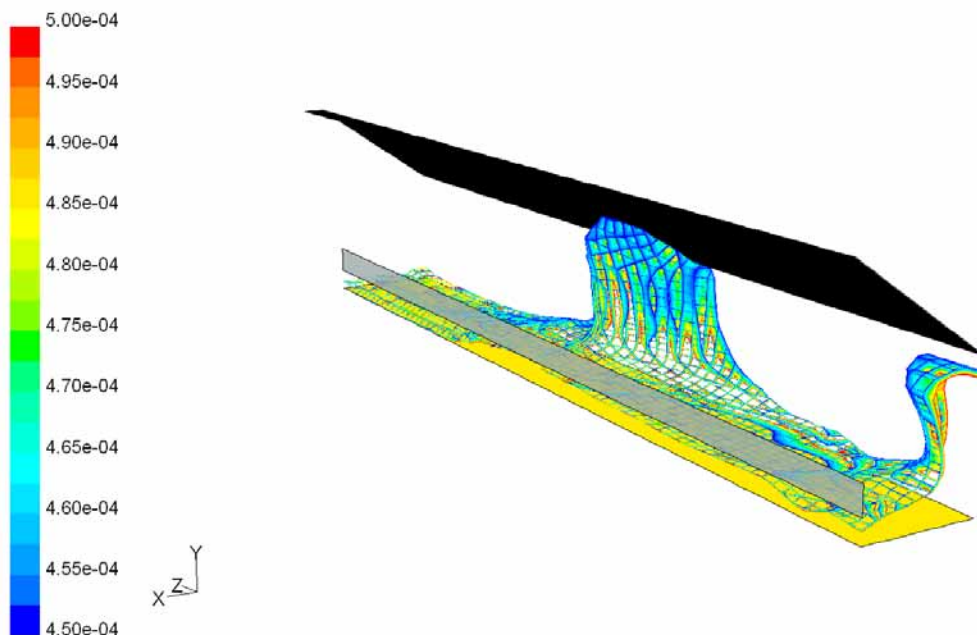
Figuur 44 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 6000 m³/uur via het dak en 600 m³/uur via het midden van de kelder en 600 m³/uur in de kelder bij de deur

Concentraties 0.11; 0.57 (eind); 0.65 (midden)



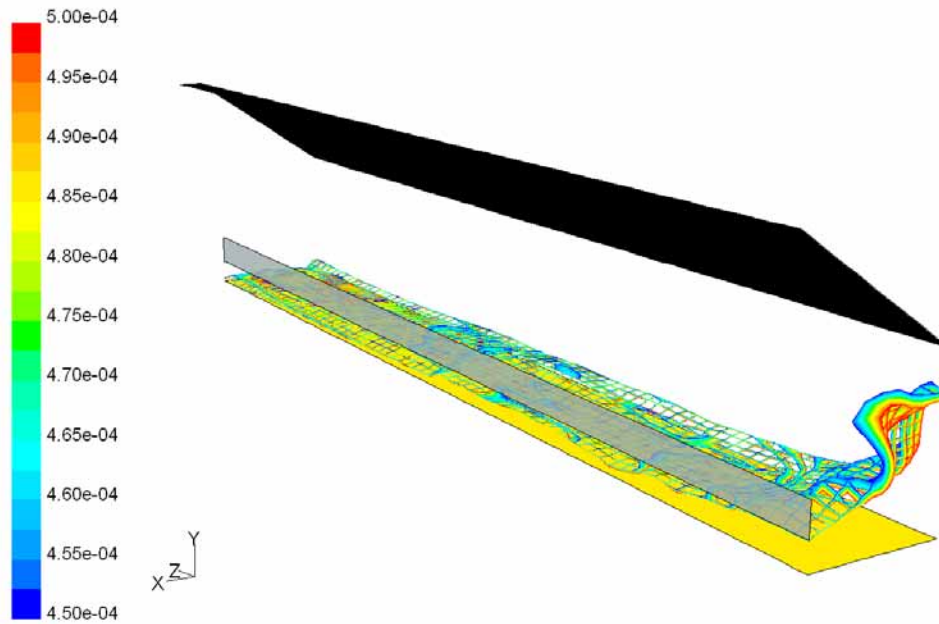
Figuur 45 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 3000 m³/uur)

Verlaging van de ventilatie tot 3000 m³/uur zorgt voor een aanzienlijke verhoging van de concentratie in de stal (de range op schaal is voor deze berekening hoger dan bij de vorige berekeningen). Het voor de helft sluiten van de deur heeft geen effect op de concentratieverdeling aangezien de hoeveelheid lucht die door de stal wordt gezogen in de berekening gelijk blijft. In het geval van een lage ventilatiecapaciteit (25% van het maximum) kan de afzuiging in de kelder het beste in het midden worden geplaatst. De ammoniakconcentratie in de afzuiging is 0.50 g/m³ in dit geval.



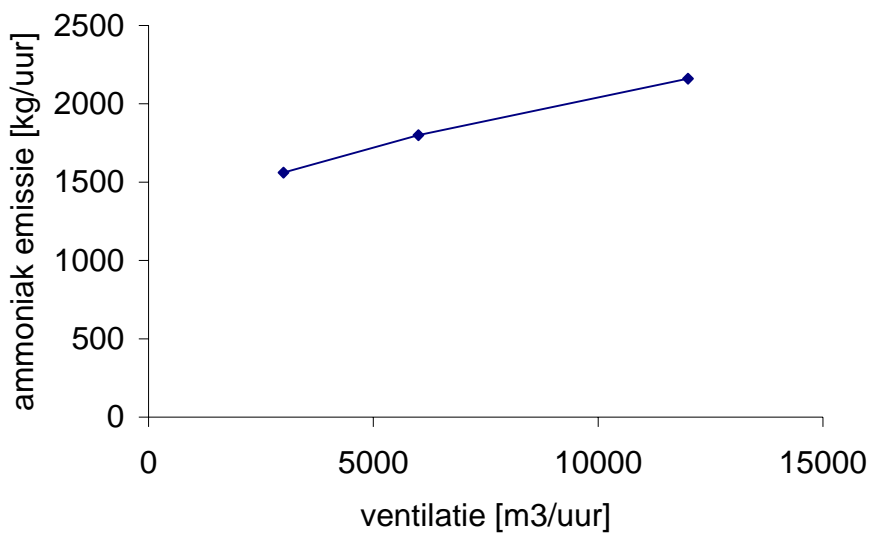
Figuur 46 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 3000 m³/uur via het dak en 600 m³/uur via het midden van de kelder

Midden 0.91 g/m³ 0.27 g/m³ dak



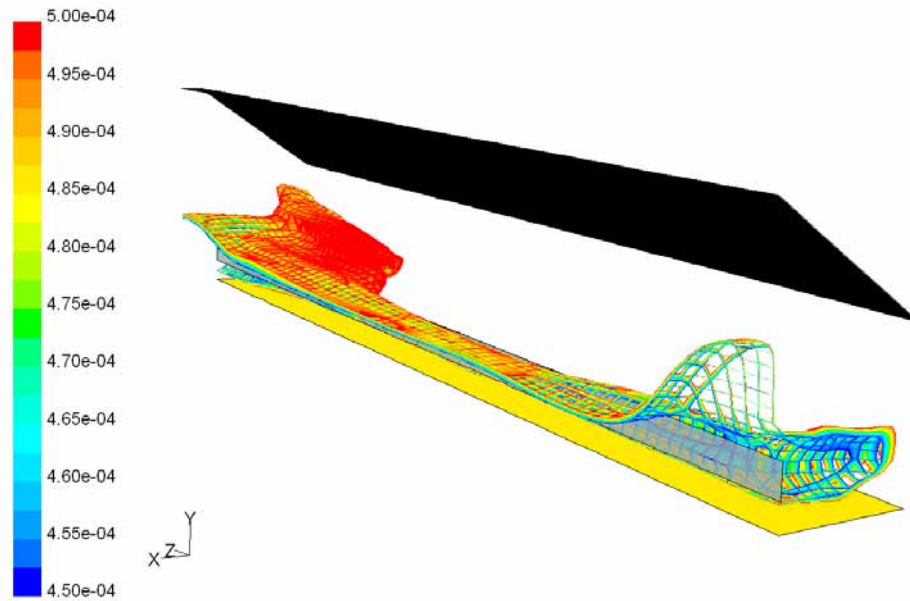
Figuur 47 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 3000 m³/uur via het dak en 1200 m³/uur via het midden van de kelder

Midden 0.62 g/m³ 0.15 g/m³ dak



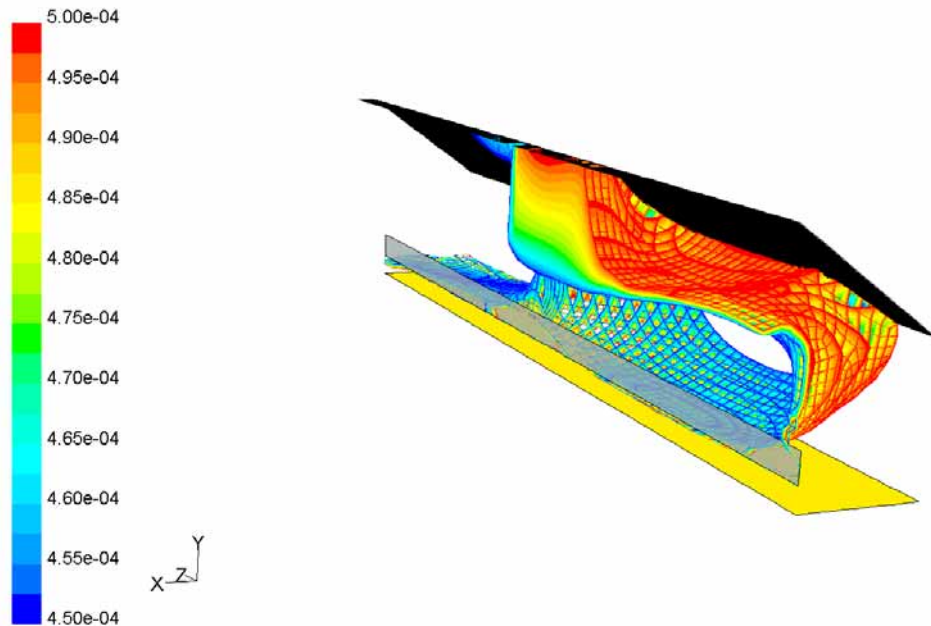
Figuur 48 Totale ammoniak emissie uit de kelder als functie van de ventilatie, steeds uitgaande van een bronsterkte van 1 kg/m³ lucht aan het mestoppervlak in de mestkelder

De totale hoeveelheid ammoniak die vrijkomt uit de mest neemt toe naar mate de ventilatie toeneemt. De totale berekende ammoniakemissie is veel groter dan in de praktijk wordt gevonden. Dit is een gevolg van de keuze van de ammoniakconcentratie aan het oppervlak van de mest (bronsterkte). In werkelijkheid is deze concentratie kleiner. Dit heeft echter verder geen gevolgen voor de resultaten op proportionele schaal.



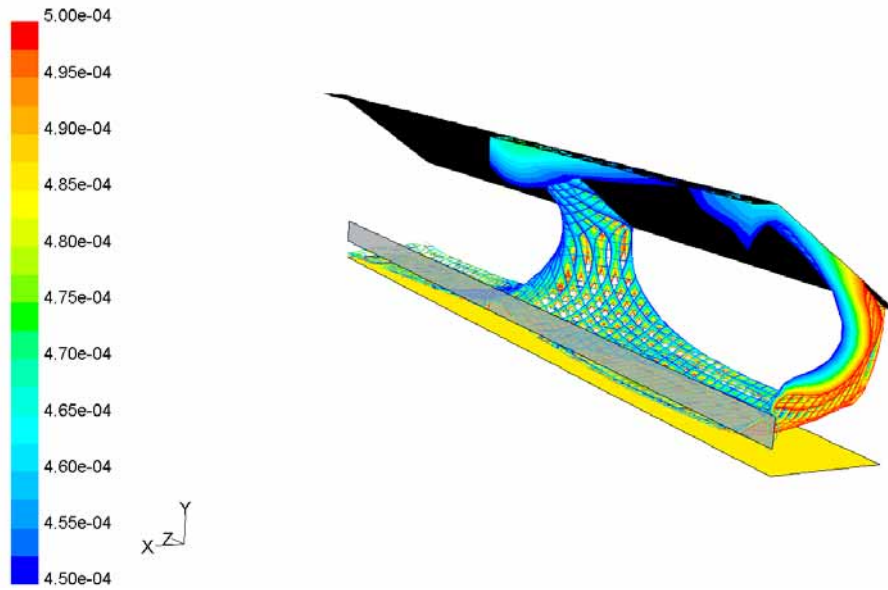
Figuur 49 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 3000 m³/uur) bij een buitentemperatuur van 0°C

De verschiltemperatuur tussen de mest en de buitenlucht heeft ook een grote invloed op de concentratieverdeling in de stal. Bovenstaande figuur laat de concentratie zien als de buitentemperatuur 0°C is. De concentratie in de stal is in dit geval veel hoger dan bij een buitentemperatuur van 20°C. De ammoniakconcentratie in de afzuiging is 0.64 g/m³ in dit geval terwijl die bij een buitentemperatuur van 20°C 0.50 g/m³ is.

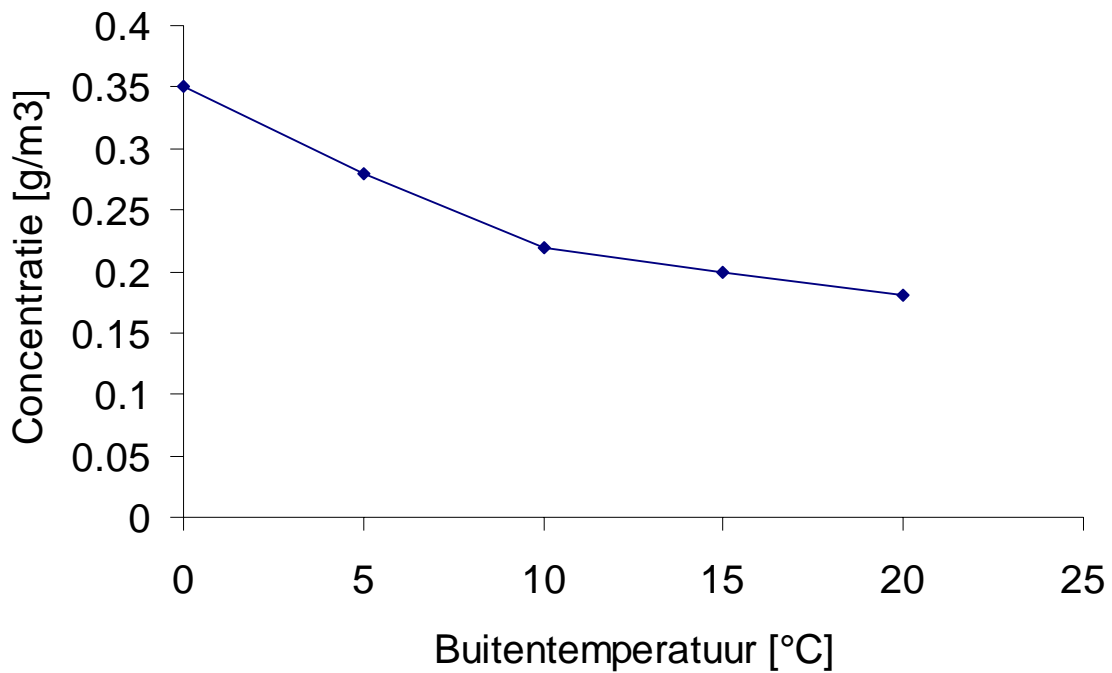


Figuur 50 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 200 W/dier en ventilatie van 12000 m³/uur) bij een buitentemperatuur van 0°C

Bij een hogere ventilatiecapaciteit zijn de effecten van de temperatuur op de concentratieverdeling minder groot. De concentratie in de afzuiging is 0.42 kg/m³.



Figuur 51 Concentratieverdeling in een specifieke range bij een warmteproductie van 500 W/dier en ventilatie van 12000 m³/uur) bij een buitentemperatuur van 0°C



Figuur 52 Ammoniakconcentratie in de uitlaat als functie van de buitentemperatuur bij een mesttemperatuur van 15°C bij een maximale ventilatie

Bij een lage ventilatie heeft de buitentemperatuur nagenoeg geen invloed op de concentratie in de uitlaat.

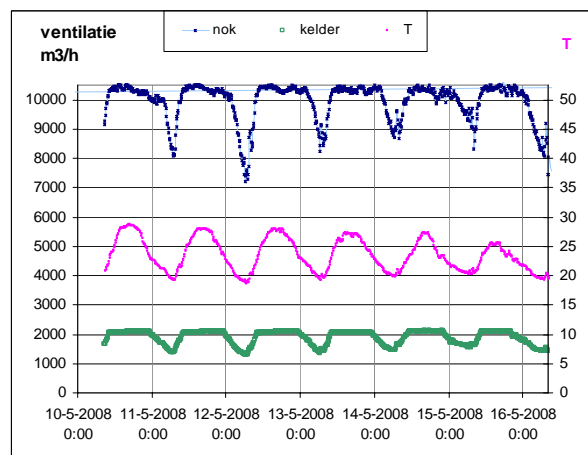
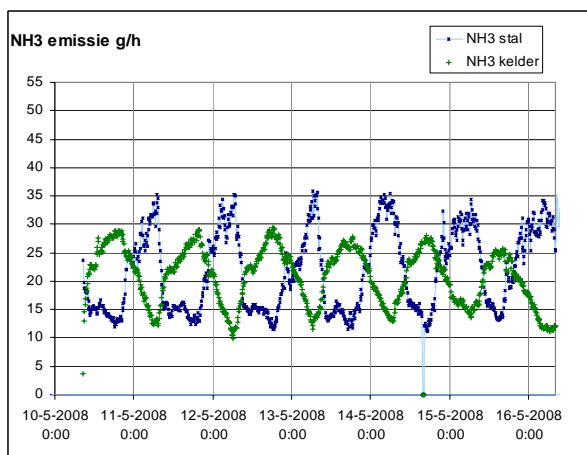
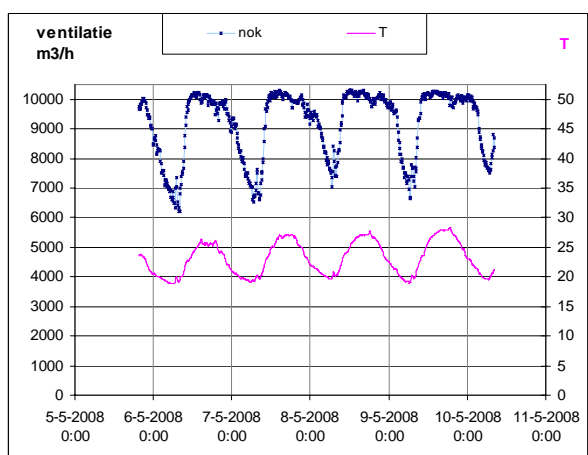
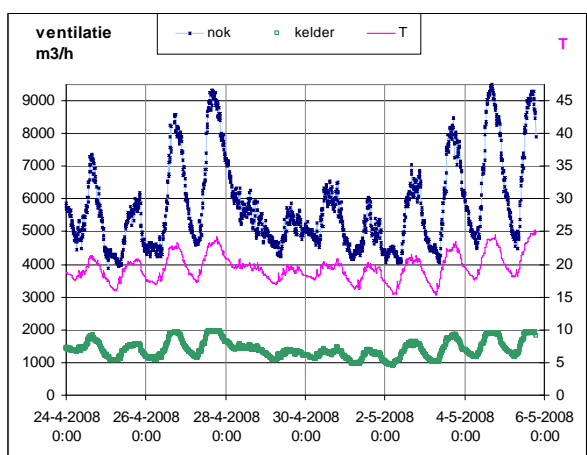
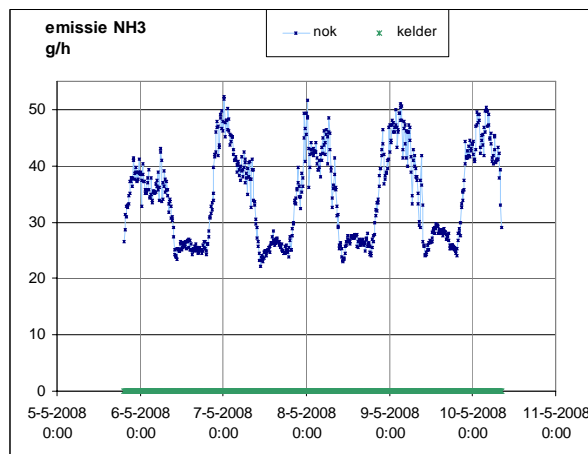
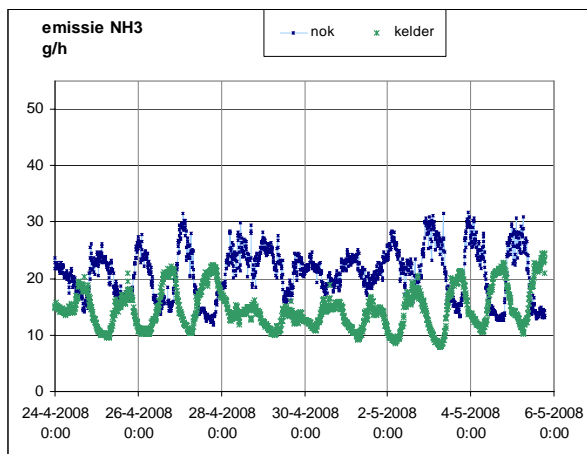
Conclusies

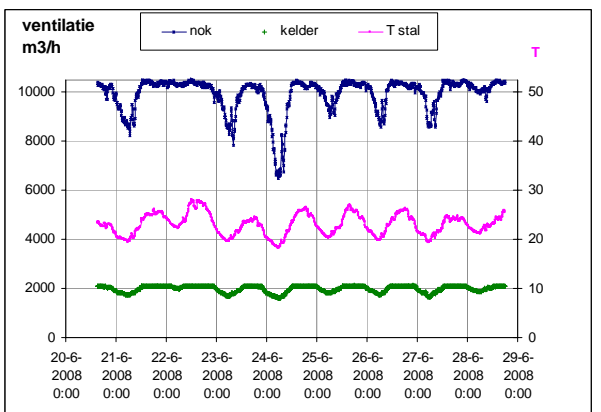
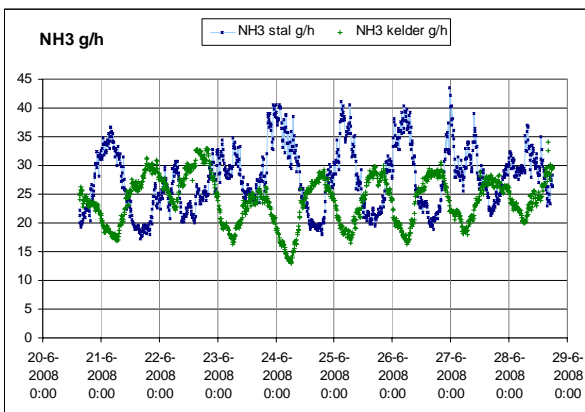
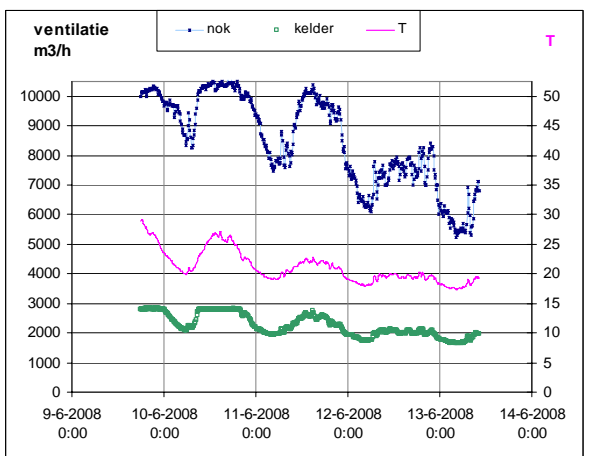
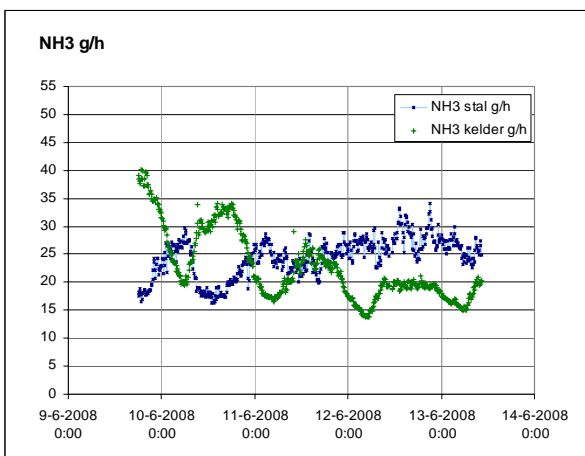
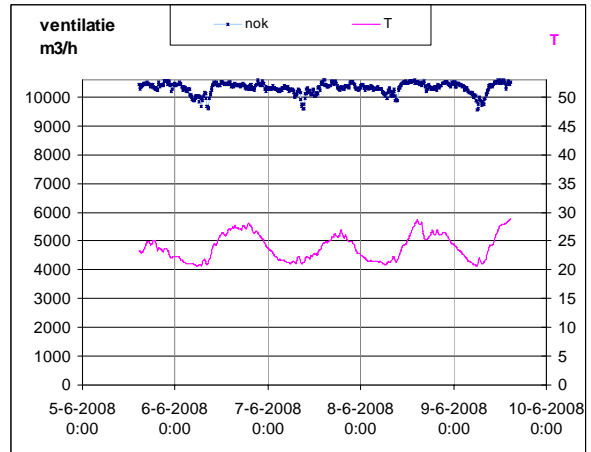
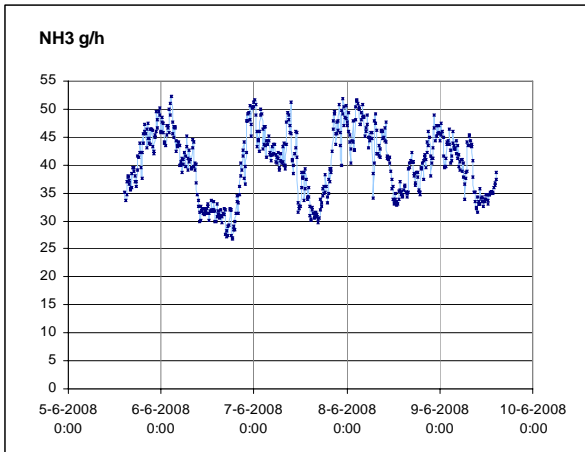
- De kelderluchtafzuiging kan in de gesimuleerde stal het beste gebeuren in het midden van de kelder bij de wand en nabij de deur.
- De verspreiding van ammoniak hangt sterk af van het verschil tussen de buitenluchttemperatuur en de temperatuur van de mest.

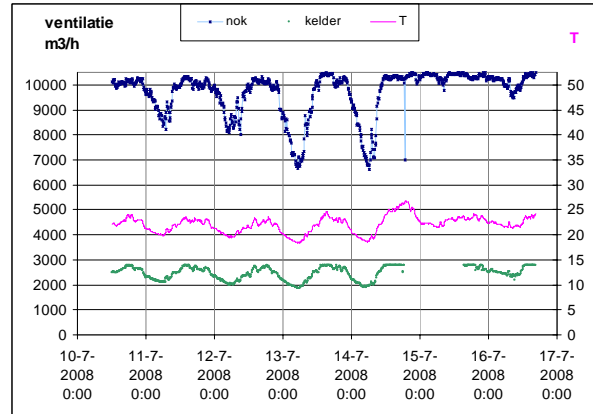
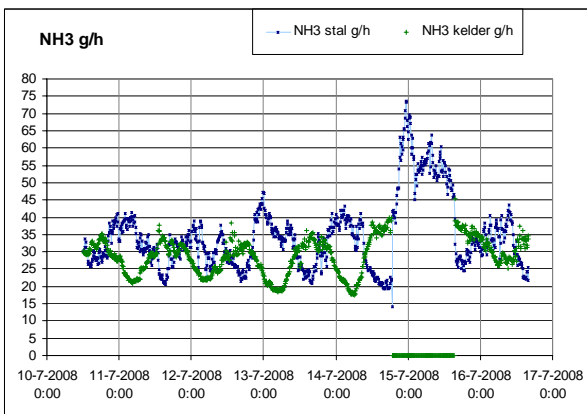
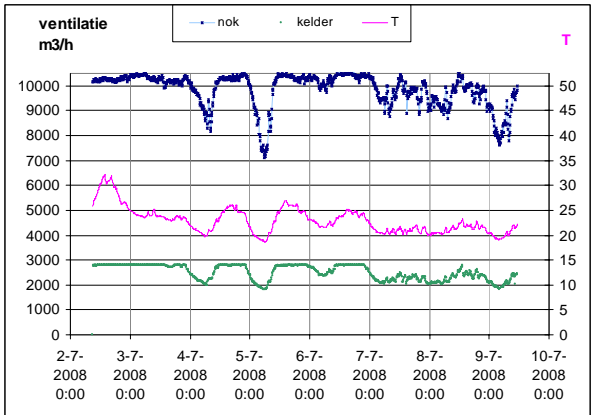
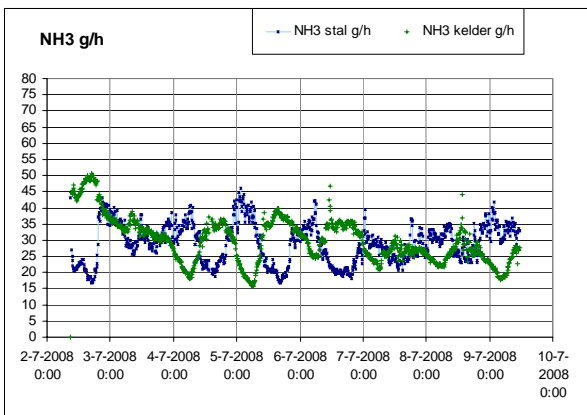
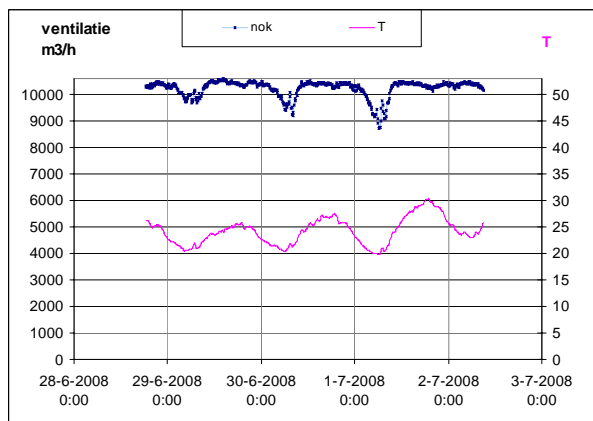
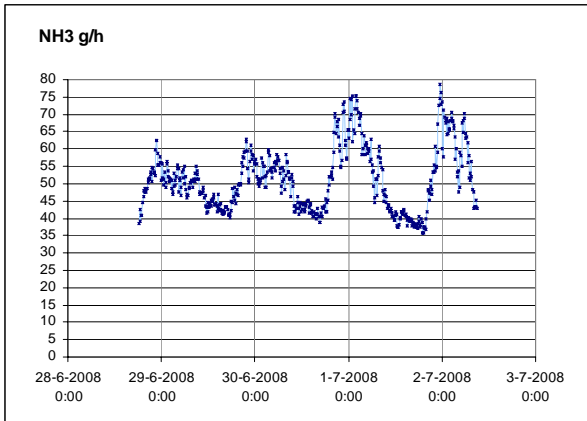
Bijlage 4 Verloop ammoniakemissie, ventilatie en temperatuur gedurende een selectie van afzonderlijke proefperioden

De emissie via de nokventilatoren en die via de kelderventilator zijn afzonderlijk weergegeven (in perioden met kelderafzuiging).

In perioden zonder kelderventilatie is er uiteraard geen ammoniakemissie via de kelderventilator.







Bijlage 5 Regressie stalemisatie in meetperioden zonder kelderluchtbehandeling

81% van de variatie in gemeten ammoniakemissie (per 10 minuten) in de perioden zonder kelderluchtbehandeling (tussen april en juli) kon verklaard worden in een lineaire regressie met de variabelen Buitentemperatuur (Tbu; uurwaarden van nabijgelegen weerstation), Windsnelheid gemeten op 10 meter hoogte (v10; uurwaarden van nabijgelegen weerstation), het aantal Dagen na de start van de mestrone (Dnast) en de factor Uur van de dag (Fuur):

$$Y \text{ (g NH}_3\text{/h)} = 6.19 + (-0.433 * Tbu) + (0.182 * v10) + (0.319 * Dnast) + Fuur$$

(0.55)
(0.022)
(0.069)
(0.0039)

cursief tussen haakjes staat s.e. van de regressiecoëfficiënt

Uur	Fuur
0	0
1	-0.9
2	-1.4
3	-2.2
4	-3.3
5	-3.4
6	-5.1
7	-5.3
8	-6.3
9	-8.2
10	-10.7
11	-10.9
12	-10.8
13	-10.6
14	-10.6
15	-11.0
16	-10.3
17	-10.4
18	-10.4
19	-9.4
20	-5.7
21	-2.3
22	-1.1
23	1.0

Literatuur

Campen, J.B. and Bot, G.P.A. 2003. Determination of greenhouse-specific aspects of ventilation using three-dimensional Computational Fluid Dynamics. *Biosystems Engineering*.84: 69-77

CIGR, 2002. Heat and moisture production at animal and house levels. International Commission of Agricultural Engineering, Section II, 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses, 46 p.

Smits, M.C.J.; Melse, R.W.; Smits, A.C.; Ogink, N.W.M., 2005. Bouwsteen stallen : quick scan van opties voor vermindering van ammoniak- en geuremissie uit vleeskalverstallen in de Agrarische Enclave Uddel Elspeet. WageningenUniversiteit en Researchcentrum Agrotechnology & Food innovations, A&F Rapport 509 - p. 52.

Versteeg, H.K. and W. Malalasekera, 1995. An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. Longman, Harlow.