



Monitoring van de ammoniakemissie uit een rosékalverstal met v-vormige keldervloer, mestschuif en urineafvoer

Albert Winkel, Yvo Goselink

Rapport 1431



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Monitoring van de ammoniakemissie uit een rosékalverstal met v-vormige keldervloer, mestschuif en urineafvoer

Auteurs

Albert Winkel¹, Yvo Goselink¹

In samenwerking met:

Anne-Jo Smits², Jan Workamp²

¹ Wageningen Livestock Research

² Poultry Expertise Centre, Aeres

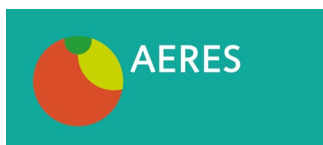
Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door Regio Deal Foodvalley en uitgevoerd door Wageningen Livestock Research i.s.m. het Poultry Expertise Centre van Aeres te Barneveld.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, december 2022

Rapport 1431



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Synopsis

In dit pilotproject is ervaring opgedaan met het continu monitoren van ammoniak- en koolstofdioxideconcentraties, het stalklimaat, het ventilatiedebiet en de ammoniakemissie uit een opfokstal voor roséveleskalveren met v-vormige keldervloer, mestschuif en urineafvoer. De monitoring is technisch gezien succesvol en zonder dataverlies verlopen gedurende 348 dagen (22-1-2021 tm 5-1-2022) en drie opfokrondes (rondes 1, 2 en 3). In ronde 1 waren mestschuif en urineafvoer buiten bedrijf: drijfmest accumuleerde tijdens de ronde. In rondes 2 en 3 waren mestschuif en urineafvoer wel in bedrijf. Concentraties van met name koolstofdioxide (CO₂) en in mindere mate ammoniak (NH₃) kenden tijdspatronen waarin rondes gekarakteriseerd kunnen worden door a) een sterke terugval in concentraties tijdens de 3-4 dagen van vertrek van oudere kalveren en binnenkomst van nieuwe kalveren waarbij de deuren open staan, en b) een toename van concentraties met de leeftijd. De patronen suggereren verder dat de toename van concentraties wordt versterkt in het najaar wanneer ventilatiedebieten afnemen (indikking) en wordt afgevlakt in het voorjaar wanneer ventilatiedebieten toenemen (verdunding). Hoewel een 35% (proefronde 2) en 10% (proefronde 3) lagere ammoniakconcentratie werd gemeten ('mestschuif en urinepomp aan') ten opzichte van controleronde 1 ('mestschuif en urinepomp uit'), bleek dit beeld in de berekende emissies niet langer te bestaan; de emissies van proefrondes 2 en 3 waren respectievelijk 36% en 6% hoger dan de emissie van controleronde 1. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in proefrondes 2 en 3 de staltemperatuur en het ventilatiedebiet, twee factoren die de ammoniakemissie positief beïnvloeden, hoger waren dan in controleronde 1. De eerste indruk uit de verkregen data, uit het vergelijken van rondes binnen dezelfde stal, wijst niet in de richting van een substantiële vermindering van ammoniakemissie door de kelderuitvoering. Benadrukt moet worden dat het hier gaat om een ruwe vergelijking op basis van twee versus één opfokronde. Meer gegevens zijn nodig om conclusies te trekken over de effectiviteit van de kelderuitvoering om de emissie van ammoniak te verminderen.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/632077> 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.

Inhoud

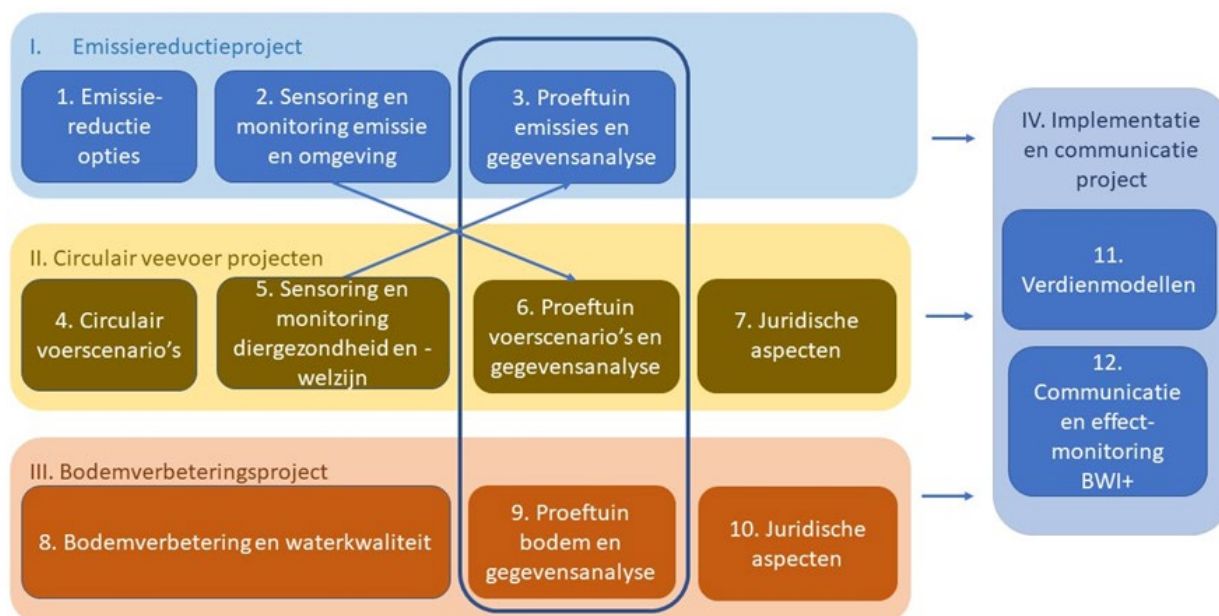
1	Inleiding	5
	1.1 Het project Regio Deal Foodvalley	5
	1.2 De onderzochte maatregel	6
	1.3 Doelstellingen	6
2	Materiaal en methoden	7
	2.1 Hoofdpijnen en meetstrategie van het onderzoek	7
	2.2 Beschrijving van de bedrijfslocatie	7
	2.3 Beschrijving van de kelderuitvoering	7
	2.4 Meetmethoden	12
	2.4.1 Ammoniak (NH ₃)	12
	2.4.2 Koolstofdioxide (CO ₂)	12
	2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	12
	2.5 Berekeningen	12
	2.5.1 Berekening van het ventilatiedebiet	12
	2.5.2 Berekening van de ammoniakemissie	13
3	Resultaten en discussie	14
	3.1 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	14
	3.2 Concentratie koolstofdioxide (CO ₂)	15
	3.3 Concentratie ammoniak (NH ₃)	16
	3.4 Ventilatiedebiet	17
	3.5 Ammoniakemissie	17
4	Conclusies	20
5	Literatuur	21
Bijlage 1	Gevelaanzichten rosékalverstal	22
Bijlage 2	Leaflet drukventilatoren	23

1 Inleiding

1.1 Het project Regio Deal Foodvalley

In het project 'Regio Deal Foodvalley' (RDFv; looptijd 2020-2024) werkt een breed scala aan organisaties in de zogenaamde Foodvalley-regio in Nederland samen om "de transitie naar een duurzaam en gezond voedselproductiesysteem te versnellen". De regio Foodvalley ligt ruwweg tussen de steden Utrecht en Arnhem. Het is een typische voedselproductieregio, gekenmerkt door een grote aanwezigheid van primaire veehouderijbedrijven met leghennen en vleeskalveren (in mindere mate ook vleeskuikens, varkens, melkgeiten en melkkoeien), agrarische scholen, universiteiten, veevoederproducenten, levensmiddelenindustrieën, etcetera. Regiodeals zijn een type programma uit het derde kabinet onder premier Mark Rutte (2017-2022) waarbij een regio in Nederland medefinanciering krijgt van de rijksoverheid om substantiële voortgang te boeken bij problemen en uitdagingen die kenmerkend zijn voor die regio. Gezien de aanwezigheid van zowel de veehouderij als aanverwante organisaties wordt de regio Foodvalley gezien als een ideale proeftuin om te werken aan de eerder genoemde transitie van het voedselproductiesysteem.

De Regio Deal Foodvalley bestaat uit drie sporen waarvan Spoor 1 zich richt op de transitie van de primaire veehouderij. Binnen Spoor 1 zijn de activiteiten georganiseerd in projecten I (Emissiereductie), II (Circulair veevoer), III (Bodemverbetering) en IV (Implementatie en communicatie). Binnen de projecten zijn werkpakketten (WP) 1 tm 12 gedefinieerd. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1.1. In WP 1 wordt beoogd maatregelen te toetsen die de emissie van bijvoorbeeld ammoniak en fijnstof kunnen verminderen. De organisatie van WP1 is in handen van het Poultry Expertise Centre (PEC) van Aeres terwijl Wageningen Livestock Research (WLR) de wetenschappelijke inbreng verzorgt.



Figuur 1.1 Structuur van Spoor 1 van de Regio Deal Foodvalley.

Het toetsen van emissiereducerende maatregelen vindt plaats in de zogenaamde proeftuin (WP 3-6-9): de term voor alle voorzieningen (primaire veehouderijen, maar ook labs en experimentele faciliteiten) binnen de Foodvalley-regio, beschikbaar voor het project. Zoals blijkt uit Figuur 1.1 worden opties voor emissiereductie integraal beoordeeld: opties moeten niet alleen emissies verminderen, maar ook geen neveneffecten of zelfs gunstige effecten hebben op aspecten als diergezondheid en welzijn, sluiten van nutriëntenkringlopen, en het verdienpotentieel van boeren.

Bedrijven die interessante opties hebben voor emissiereductie, die dicht bij marktintroductie liggen binnen het innovatieproces, worden gevraagd hun optie in te dienen bij het project. Het PEC voert vervolgens een intake uit bij elke aanvrager en maakt per optie een dossier. De dossiers worden technisch-inhoudelijk en bedrijfseconomisch beoordeeld door een onafhankelijk Expert Team (ET) dat een advies uitbrengt aan de WP leiders. Een klankbordgroep van vertegenwoordigers van de periferie van de veehouderij reflecteert op het advies vanuit overkoepelend/strategisch perspectief. Op basis hiervan wordt besloten de optie al dan niet toegang te verlenen tot de proeftuin.

1.2 De onderzochte maatregel

In dit onderdeel van WP1 is een kelderuitvoering voor vleeskalveren onderzocht. Deze optie is ingediend door een vleeskalverhouder uit de Foodvalley regio. Hoewel de veehouder een biologische luchtwasser in een recent gebouwde kalverstal had laten installeren om aan vergunningsvoorwaarden te voldoen, was ook op eigen initiatief een kelderuitvoering uitgedacht en aangelegd voor het scheiden van mest en urine. De motivatie hiervoor was om te proberen concentraties en emissies van ammoniak zo veel mogelijk bij de bron aan te pakken. De kelderuitvoering is gedetailleerd beschreven in par. 2.3. De optie is geselecteerd voor het uitvoeren van ammoniakmetingen. De metingen zijn uitgevoerd aan de opfokrosékalverstal van de veehouder met daarin de kelderuitvoering.

1.3 Doelstellingen

Met dit onderzoek werden de volgende doelstellingen nagestreefd:

- het opdoen van ervaring met het continu monitoren van ventilatiedebieten, ammoniakconcentraties en ammoniakemissies uit een vleeskalverstal m.b.v. sensoren;
 - het opdoen van ervaring met het vastleggen van gebeurtenissen en managementinterventies door de veehouder m.b.v. een logboek.
- De eerste twee doelstellingen zijn ondersteunend aan het opzetten van het Bedrijvenmeetnetwerk van de RDFv waarin o.a. concentraties en emissies van ammoniak realtime zullen worden gemonitord op een groep veehouderijbedrijven, waaronder bedrijven met vleeskalveren;
- het verkrijgen van meer inzicht in niveaus van en variabiliteit in ventilatiedebieten, ammoniakconcentraties en ammoniakemissies in opfokrosékalverstallen;
 - het verkrijgen van een eerste indruk van het perspectief van de kelderuitvoering om concentraties en emissies van ammoniak te verlagen.

2 Materiaal en methoden

2.1 Hoofdpijnen en meetstrategie van het onderzoek

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de reeds aanwezige kelderuitvoering in een recent gebouwde rosékalverstal op het bedrijf van de indiener van de maatregel. Deze stal is door WLR voorzien van sensoren voor meting van de luchtconcentratie van ammoniak (NH_3), de luchtconcentratie van koolstofdioxide (CO_2), luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid. De sensoren werden geplaatst op het emissiepunt van het stalgebouw, d.w.z. vlak voor de ventilatorkokers die de stallucht door de biologische luchtwasser stuwen (Fig. 2.1). Het ventilatiedebiet door het stalgebouw werd bepaald met de CO_2 -balansmethode op basis van de gemeten CO_2 -concentratie in de uitgaande stallucht, een vaste waarde voor de CO_2 -concentratie in de buitenlucht, en de productie van CO_2 door de dieren berekend op basis van een lichaamsgewichtscurve. Dagelijkse emissies van ammoniak werden berekend door het daggemiddelde ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met het verschil tussen de daggemiddelde stalluchtconcentratie van ammoniak en de daggemiddelde buitenluchtconcentratie van ammoniak afkomstig van LML-meetstation Wekerom. De veehouder hield bij op welke momenten er bijzondere gebeurtenissen plaats vonden, zoals: aankomst en vertrek van de kalveren, wegpompen van mest, en het buiten- of inwerking zijn van mestschuif en urinepomp.

Het onderzoek duurde drie opfokrondes, een periode van in totaal 311 dagen, bestaande uit:

- Ronde 1: van 11-02-20 tm 17-06-20, totaal 126 dagen, leeftijd kalveren: 15 tm 141 dagen oud
- Ronde 2: van 22-06-20 tm 24-09-20, totaal 94 dagen, leeftijd kalveren: 15 tm 109 dagen oud
- Ronde 3: van 30-09-20 tm 18-12-20, totaal 79 dagen, leeftijd kalveren: 15 tm 94 dagen oud

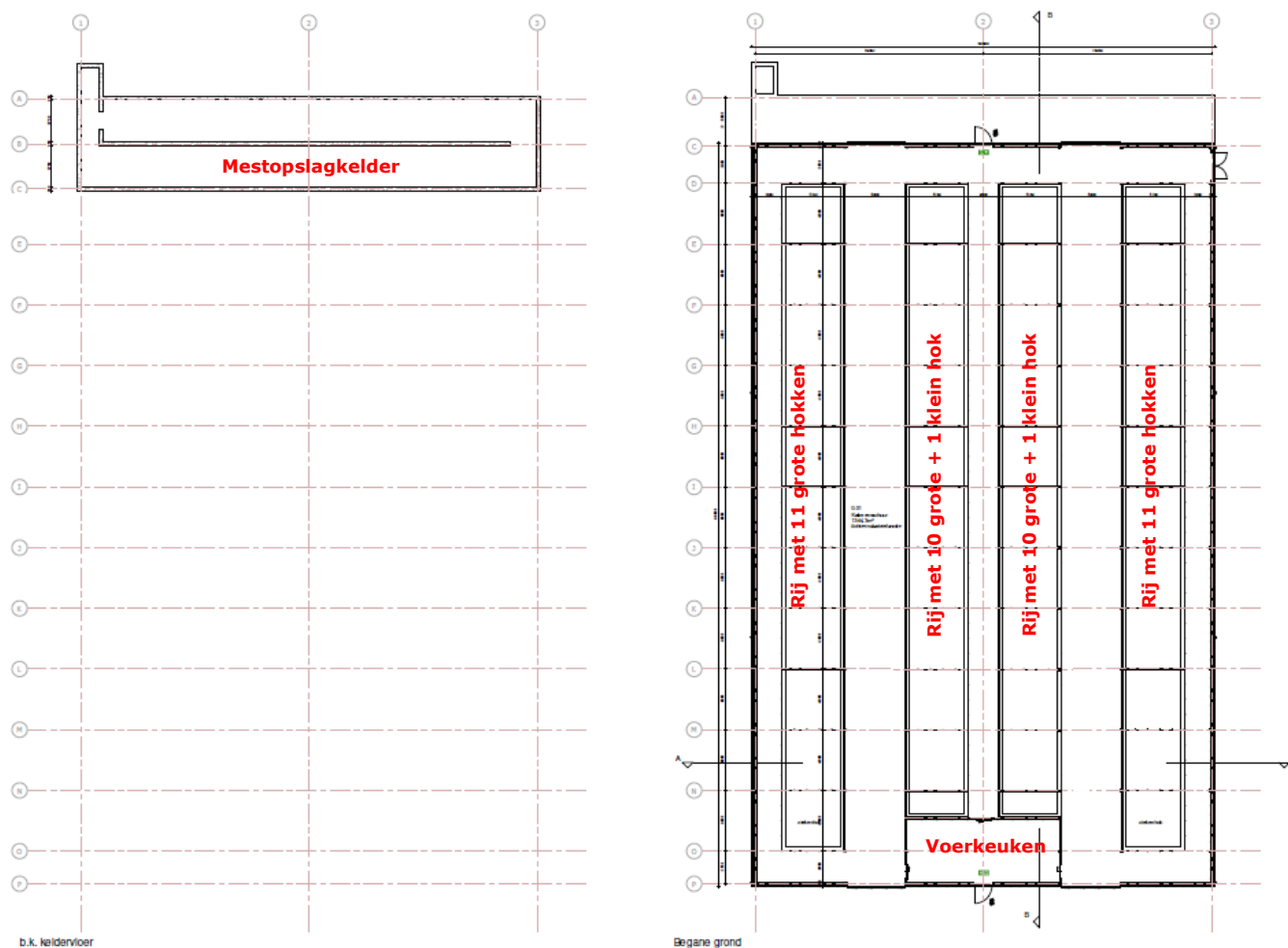
Tijdens de eerste ronde waren de mestschuif en de urinepomp van de kelderuitvoering buiten werking. Mest en urine accumuleerden als in een reguliere stal met mengmestkelder. Tijdens rondes 2 en 3 waren mestschuif en urinepomp in werking. Nagestreefd is om een eerste indruk te verkrijgen van het perspectief van de kelderuitvoering door de emissies van rondes 2 en 3 te vergelijken met die van ronde 1.

2.2 Beschrijving van de bedrijfslocatie

Een gedetailleerde beschrijving van de rosékalverstal is gegeven in Tabel 2.1. Een plattegrond van de rosékalverstal is weergegeven in Figuur 2.1. Foto's van de rosékalverstal zijn weergegeven in Figuur 2.2. Foto's van de kelderuitvoering zijn weergegeven in Figuur 2.3.

2.3 Beschrijving van de kelderuitvoering

De hokken in de bemeten rosékalverstal waren uitgerust met houten roosters met onder het volledige hokoppervlak een ondiepe kelder met een breedte van 3,8 m en een diepte van 48 cm aan beide zijanten (voerhekzijde/voorzijde en achterzijde) en 52 cm in het midden. De kelder is niet bedoeld voor mestopslag maar voor scheiding en afzonderlijke afvoer van mest en urine. De keldervloer bestaat uit beton en is in de breedte/doorsnee licht v-vormig met een afschot van 5%. In het midden van de vloer loopt in de lengterichting een goot van 5 cm breed en 4,5 cm diep. Urine loopt vanaf de schuine vloer naar het midden in de goot. Om de 5 meter zit een PVC afvoerbuiss met een diameter van 160 mm (in de lengterichting van de keldergang), uitlopend op een haaks daarop lopende PVC hoofdafvoerbuiss van 250 mm diameter. De urine in het rioleringsysteem wordt met een pomp met vlotter automatisch naar een polyester opslagtank met een inhoud van 44 m³ gepompt. De urine uit de opslagtank wordt regelmatig per tankwagen afgevoerd naar een kalvergierzuivering. De mest die op de schuine keldervloer blijft liggen wordt elke 2 uren naar een afstort aan het einde van elke keldergang geschoven middels een mestschuif van de firma JOZ



Figuur 2.1 Plattegrond van de stal. Rechts: plattegrond van het totale stalgebouw. Links: plattegrond van de mestopslagkelder waarvan één keldergang binnen en één keldergang buiten het gebouw is gelegen. Niet weergegeven is de biologische luchtwasser. Deze is in pandig geplaatst, tegen de achtergevel, op een zwevende vloer van betonkanaalplaten boven de achterste twee hokken van de middelste twee hokrijen.

Tabel 2.1 Belangrijkste kenmerken van de opfokrosékalverstal in dit onderzoek.

Kenmerk	Beschrijving
<i>Stal</i>	
Bouwjaar	2020
Rav-code, omschrijving en emissiefactor	Roséveleeskalverstal met biologische luchtwasser volgens Rav A.4.5.4 / BWL 2019.12.V5. De kelderuitvoering in de stal is echter meer passend bij Rav A 4.7: stal met hellende roostervloer in combinatie met hellende schijnvloer onder de roostervloer (BWL 2012.09.V2) met een emissiefactor van 2,5 kg/dierplaats per jaar. Dit huisvestingssysteem heeft echter eindnoot 28 (ingetrokken; niet meer toepasbaar voor nieuwe inrichtingen). De stal is gebouwd volgens de Maatlat Duurzame Veehouderij (MDV)
Afmetingen (l x b x h _{goot} x h _{nok})	50 x 30,5 x 2,6 x 8,1 m
Oriëntatie stalgebouw	ZW – NO
<i>Stalinrichting</i>	
Aantal voergangen en hokrijen	2 voergangen en 4 hokrijen
Aantal hokken	42 grote en 2 kleine hokken
Afmetingen hok (l x b); hokoppervlak	Grote hokken: 4,0 x 4,17 m; elk 16,7 m ² Kleine hokken: 1,2 x 4,17 m; elk 5,0 m ²
Totaal aantal dieren bij opleg (dierplaatsen)	428
Leefoppervlak bij opleg	1,65 m ² /dier
Beschrijving leefoppervlak	100% houten roosters
Mestkelder: l x b x diepte; aantal keldergangen	2 Ondiepe gangen van 44,0 x 0,48/0,52 ^{*)} x 3,8 m 2 Ondiepe gangen van 41,8 x 0,48/0,52 ^{*)} x 3,8 m ^{*)} diepte varieert door v-vormige keldervloer met 5% afschot. Merk op dat in de ondiepe gangen geen mestopslag plaats vindt 1 Opslagkelder van 2,4 m diep en 300 m ³ volume
Totaal aanwezige mengmestopslagcap.	300 m ³
Frequentie mestafvoer	Mestschuiven lopen elke 2 uren (op basis van Rav 4.7)
<i>Ventilatie</i>	
Beschrijving luchtinlaat	Via ramen en deuren in voorgevel
Ventilatieprincipe	Mechanisch
Aantal ventilatoren, diameter en capaciteit	2 Ventilatoren: Stienen, hogedrukventilator, type SGS 92T-D4S 2,2 kW, 900 RPM, dia. 92 cm, frequentiegestuurd/regelbaar, capaciteit: 24.970 (bij 200 Pa), 27.540 (bij 150 Pa) tot 33.230 m ³ /uur (bij 30 Pa). Totale ventilatiecapaciteit bij 150 Pa: 55.080 m ³ /uur op stalniveau, equivalent aan 129 m ³ /uur per kalf
Ventilatieregeling	Op basis van streeftemperatuur en werkelijke temperatuur
<i>Voer en water</i>	
Beschrijving voersysteem	Melktaxi (poedermelk) en tractor met mengwagen (ruwvoer)
Beschrijving voeders en voertijden	<ul style="list-style-type: none"> Fase 1, 2 t/m 8 weken leeftijd: <ul style="list-style-type: none"> Melk: 50% magere melkpoeder, 50% wei/zuivelcomponenten. Frequentie: twee keer per dag Ruwvoer: 64% brok (17% RE), 28% snijmaïs en 8% stro. Frequentie: elke 1-2 dagen Fase 2, 9 t/m 12,5 weken leeftijd: bestaande uit 50% brok (19% RE), 45% snijmaïs en 5% stro. Frequentie: elke 1-2 dagen
Beschrijving drinkwatersysteem	Drinkwaterbakjes tussen de hokken
Drinktijden	Continu
<i>Licht en verlichting</i>	
Beschrijving verlichtingssysteem	Daglichttoetreding via lichtstraat van glas over beide zijgevels en TL-armaturen met Ledbuizen
Lichtregime	Daglicht volgens natuurlijke daglengte en kunstlicht alleen bij voeren
<i>Productiecyclus</i>	
Leeftijd bij opleg	Ca. 2 weken
Leeftijd bij vertrek naar afmeststal	Ca. 12,5 weken
Leegstandsperiode tussen koppels	Ca. 4 dagen



Figuur 2.2 Foto's van bedrijfslocatie en rosékalverstal. Boven-links: luchtfoto van de bedrijfslocatie met in het rode kader de rosékalverstal. Boven-rechts: westelijke zijgevel van binnen gezien, met glas voor daglichttoetreding. Midden-links: aanzicht op de drukkamer van de luchtwater (houten ruimte) tegen de achtergevel. Midden-rechts: groene schuifdeur in de eindgevel met daarin een deels omhoog geschoven groen rolluik als luchtinlaat. Onder-links, onder-rechts: overzichtsfoto's van de stal.



Figuur 2.3 Foto's van het keldersysteem in de stal. Boven-links: detailfoto van de houten roostervloer. Boven-rechts: delen van de roostervloer kunnen worden opgetild waarna de ondiepe kelder zichtbaar wordt. Midden-links en midden-rechts: detailfoto's van de ondiepe v-vormige keldervloer en verdiepte sleuf met aandrijfketting van de mestschuif. Linksonder: aandrijfmotor van de mestschuif tegen de achtergevel van de stal.

2.4 Meetmethoden

2.4.1 Ammoniak (NH₃)

De concentratie van ammoniak (ppm) in de uitgaande stallucht werd gemeten met een Polytron® 8000 met elektrochemische ammoniaksensor FL-6813260 (Dräger Nederland B.V., Zoetermeer, Nederland). De sensor beschikte over een recent certificaat van de leverancier. De sensor werd voorafgaand aan de meetcampagne gekalibreerd in een kalibratieopstelling in het Air Quality Lab van WLR waarin een verdunningsreeks van ammoniak in stikstofgas (N₂) werd aangeboden aan de sensor. De verkregen lineaire regressielijn tussen aangeboden concentratie en verkregen meetsignaal werd gebruikt om het analoge meetsignaal van de sensor om te rekenen naar een werkelijke ammoniakconcentratie in parts per million (ppm). In de stal werd de sensor bedraad aangesloten op een datalogger (CR1000X; Campbell Scientific Inc.; Logan UT, VS) waarin minuutgemiddelde concentraties werden gelogd. De datalogger verstuurde de data via een SIM-kaart en 4G-antenne naar de servers van WUR alwaar deze dagelijks werden gebackuped. Uit twee eerste studies van WUR is gebleken dat de Dräger Polytron 8000 met FL-6813260 sensor wat betreft accuraatheid gelijkwaardig is aan de natchemische referentiemethode, en een snelle responstijd heeft (<1 minuut), bij ammoniakconcentraties >1 ppm (Melse et al., 2016; Mosquera et al., 2017). In de toekomst worden aanvullende vergelijkingsstudies verwacht volgens het recente en gedetailleerdere sensorvalidatieprotocol van Vonk et al. (2021). De achtergrondconcentratie van ammoniak (µg/m³; uurgemiddelden, gemeten met de Mini-DOAS; RIVM) werd verkregen door de gevalideerde data te downloaden van LML-meetstation Wekerom, Riemterdijk, gelegen op circa 12 km afstand van de meetlocatie, voor dezelfde periode als de meetperiode in dit project.

2.4.2 Koolstofdioxide (CO₂)

De concentratie van koolstofdioxide (ppm) in de uitgaande stallucht werd gemeten met een CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252 met meetbereik 0-5000 ppm (Vaisala GmbH, Bonn, Duitsland). Deze sensor werd op dezelfde manier gekalibreerd als beschreven in par. 2.4.1 (met koolstofdioxide als ijkgas) en op dezelfde wijze aangesloten op de genoemde datalogger. Voor de achtergrondconcentratie van koolstofdioxide werd een vaste waarde aangehouden van 416 ppm.

2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

De luchttemperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de uitgaande stallucht werd gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Vaisala HMP60; Vaisala GmbH, Duitsland). Voor de luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht werden de gevalideerde data gedownload van KNMI-meetstation 275 De Deelen, gelegen op circa 26 km van de meetlocatie, voor dezelfde periode als de meetperiode in dit project.

2.5 Berekeningen

2.5.1 Berekening van het ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet (Q ; m³/uur per dier; 24-uurgemiddeld) werd berekend met de CO₂-balansmethode en de rekenregels voor de *total heat* productie van kalveren (CIGR, 2002), zoals geïntegreerd weergegeven in Formule (1):

$$Q = \frac{\left(7.64m^{0.69} + G\left[\frac{23}{V} - 1\right]\left[\frac{57.27 + 0.302m}{1 - 0.171G}\right]\right) \times 0.001 \times P}{(CO_{2_stal} - CO_{2_buiten}) \times 10^{-6}} \quad (1)$$

waarbij:

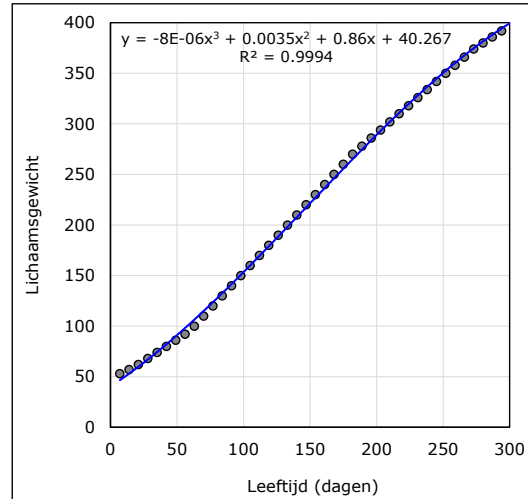
- m = lichaamsgewicht (kg);
- G = groeisnelheid (kg/dag);
- V = energiedichtheid van het voer (MJ/kg drogestof);

P = conversiefactor van *total heat* productie (W , = joule/s) naar koolstofdioxide productie (m^3 CO_2 /uur per kW *total heat*) van het dier en zijn mest ('stalniveau'). Gerekend is met de waarde 0,170 (Tabel 6 in: Pedersen et al., 2008);

CO_{2_stal} = concentratie van koolstofdioxide (ppm) in de uitgaande stallucht;

CO_{2_buiten} = concentratie van koolstofdioxide (ppm) in de buitenlucht. Gerekend is met de waarde 416.

De parameter m is voor elke dag geschat aan de hand van een standaardcurve tussen leeftijd en het lichaamsgewicht van rosékalveren zoals weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.2 Standaardcurve voor het lichaamsgewicht van rosékalveren als functie van hun leeftijd op basis van de gegevens (datapunten van lichaamsgewicht en leeftijd als grijze bolletjes) aangeleverd door de kalverhouder.

2.5.2 Berekening van de ammoniakemissie

De emissie van ammoniak (E ; kg/dier per jaar; zonder leegstandscorrectie) werd berekend zoals weergegeven in Formule (2):

$$E = Q \times (NH_{3_stal} - NH_{3_buiten}) \times \frac{24 \text{ uur}}{1 \text{ dag}} \times \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} \times \frac{10^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} \quad (2)$$

waarbij:

Q = ventilatiedebiet (m^3 /uur per dier);

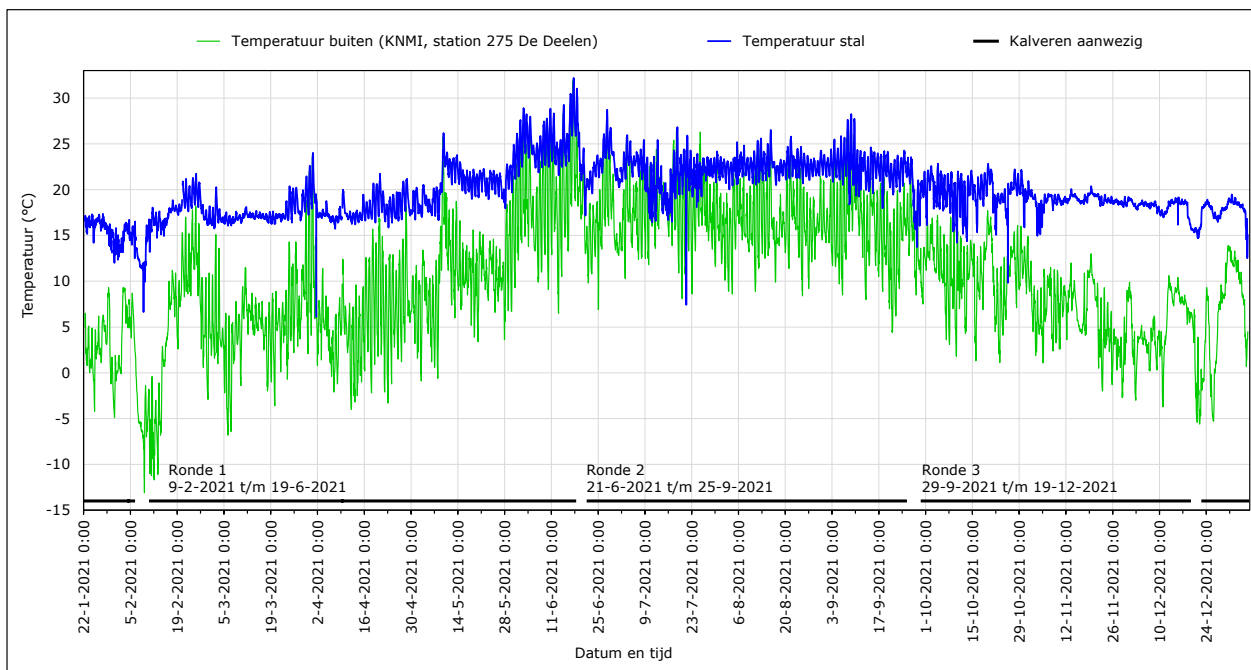
NH_{3_stal} = concentratie van ammoniak (mg/m^3) in de uitgaande stallucht;

NH_{3_buiten} = concentratie van ammoniak (mg/m^3) in de buitenlucht.

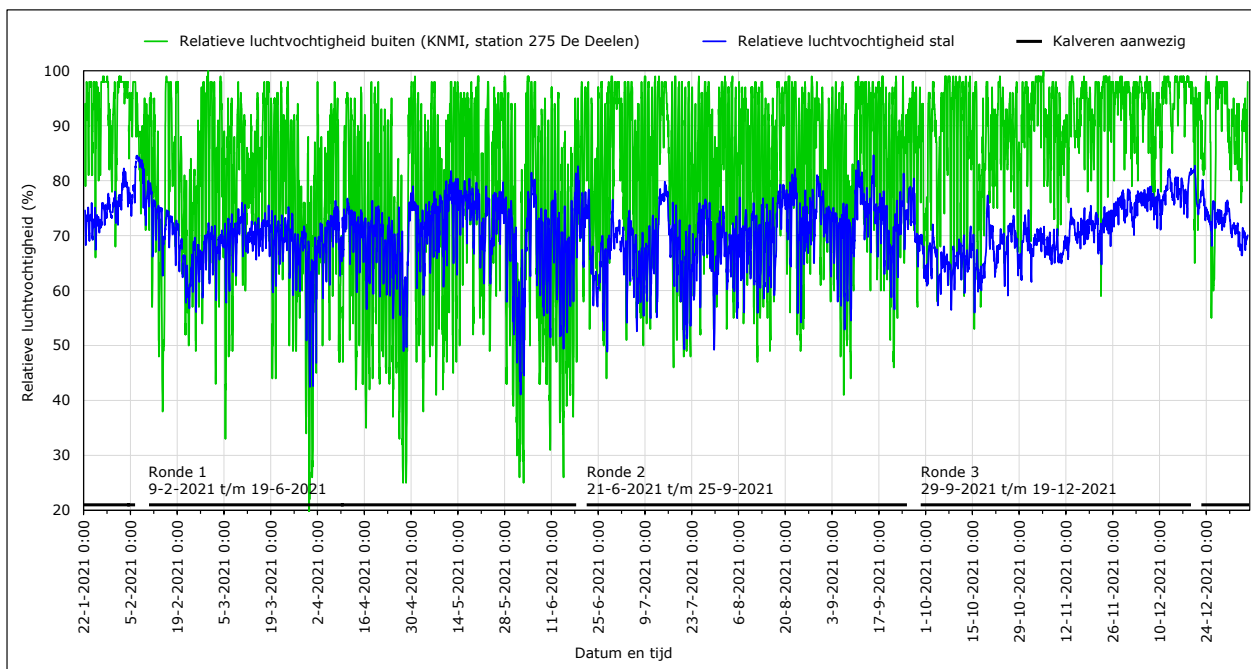
3 Resultaten en discussie

3.1 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Figuur 3.1 toont het verloop in buitentemperatuur en staltemperatuur over de totale meetperiode. Figuur 3.2 toont het verloop in relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht en de stallucht over de totale meetperiode.



Figuur 3.1 Verloop van de buitentemperatuur en staltemperatuur over de totale meetperiode (uurgemiddelden).

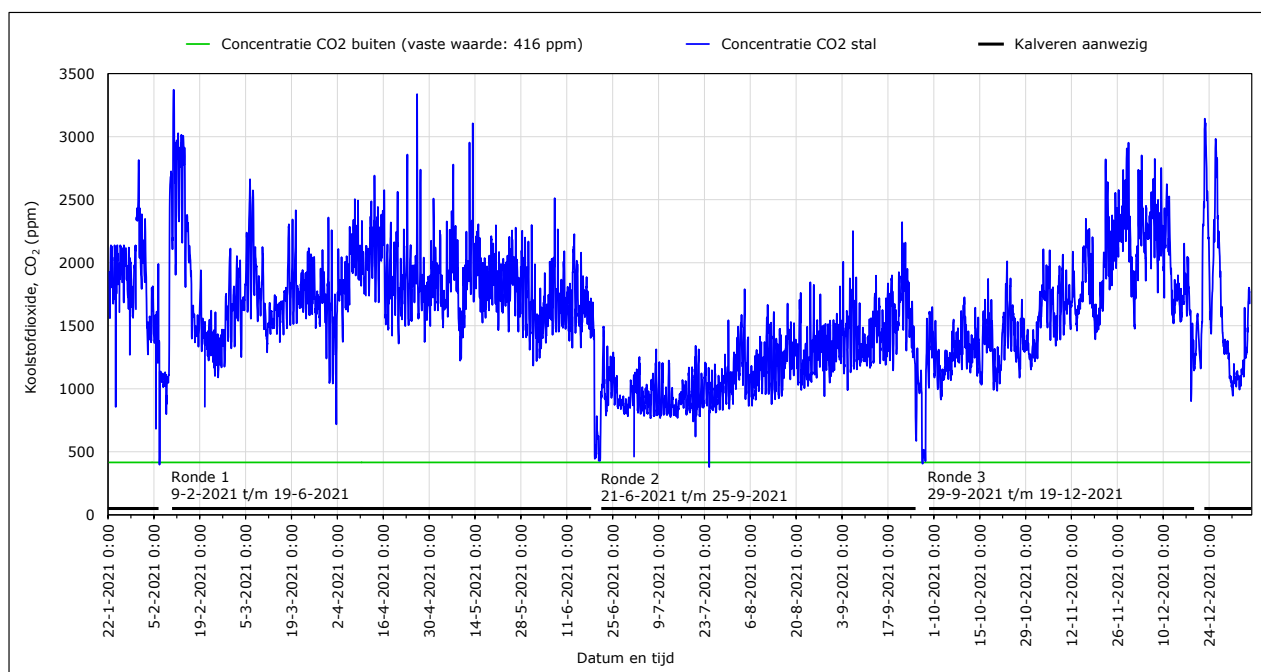


Figuur 3.2 Verloop van de relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht en de stallucht over de totale meetperiode (uurgemiddelden).

Uit de figuren blijkt dat de temperatuur in de stal over de loop van het jaar varieerde tussen circa 17 en 23 °C (gemiddelde: 19,9 °C) terwijl de buitentemperatuur een gebruikelijk seizoenspatroon volgde met temperaturen tussen -13 en 32 °C (gemiddelde: 10,5 °C). De gemiddelde buitentemperatuur kwam goed overeen met de langjarig gemiddelde buitentemperatuur van 10,3 °C voor de regio (1991-2020; KNMI, 2022a). Het verloop in Δ temperatuur (het verschil tussen staltemperatuur en buitentemperatuur) en de relatief kleine dagnachtverschillen in staltemperatuur representeren de klimaatsturing door het ventilatiesysteem dat continu de benodigde mate van ventilatie berekent gegeven de streef temperatuur en werkelijke temperatuur in de stal, waarbij de laatste belangrijk wordt bepaald door de warmteproductie van de kalveren, de temperatuur van de buitenlucht dat de stal wordt ingezogen en de zoninstraling. Uit Figuur 3.1 blijkt verder dat in de warme periode van 17, 18 en 19 juni 2020 de buitentemperatuur (met maxima van respectievelijk 29, 32 en 30 °C) en de staltemperatuur (met maxima van respectievelijk 30, 32 en 31 °C) dicht bij elkaar lagen, wat wijst op voldoende capaciteit van het ventilatiesysteem (i.c.m. aanwezige dakisolatie). Ook de relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht volgde een gebruikelijk seizoenspatroon met waarden tussen circa 20 en 100% (gemiddelde: 82%). De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de buitenlucht kwam overeen met het langjarig gemiddelde van 82% voor de regio (1991-2020; KNMI, 2022b). In de stal varieerde de relatieve luchtvochtigheid tussen circa 55 en 80% (gemiddelde: 70%).

3.2 Concentratie koolstofdioxide (CO₂)

Figuur 3.3 toont het verloop in de concentratie van koolstofdioxide (CO₂) in de stallucht over de totale meetperiode.



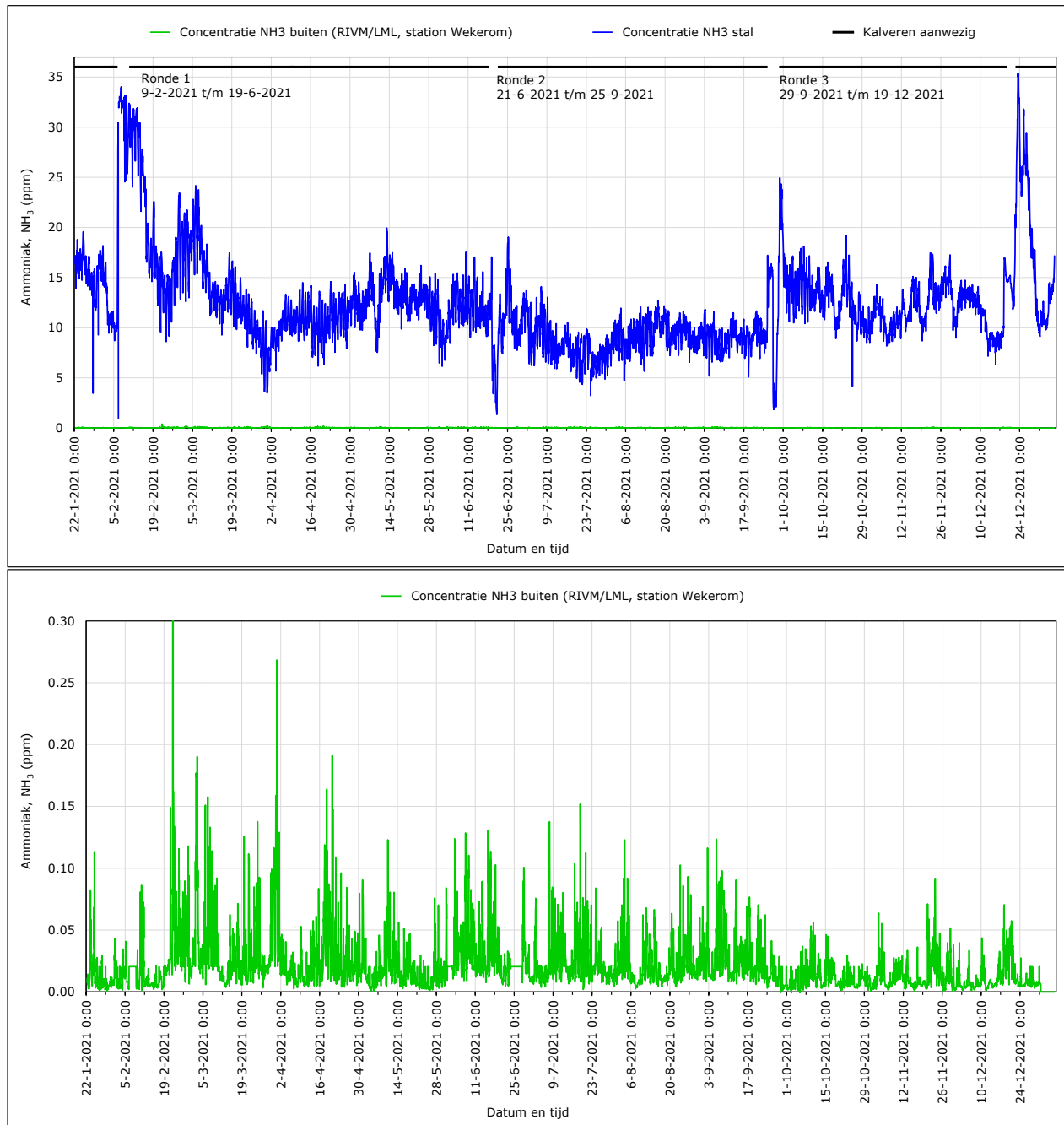
Figuur 3.3 Verloop van de concentratie van koolstofdioxide in de stallucht over de totale meetperiode (uurgemiddelden). De groene lijn geeft de vaste concentratie aan voor de buitenlucht van 416 ppm die is gebruikt in de CO₂-balansmethode.

Uit Figuur 3.3 blijkt dat de CO₂-concentratie in de stal een duidelijk rond patroon volgde, waarbij elke ronde zijn eigen niveau en trend kende. Tussen de rondes in zijn sterke dalingen zichtbaar tot het niveau van de buitenconcentratie waarmee gerekend is (de groene lijn) die verklaard kunnen worden door open deuren en afwezigheid van kalveren (circa 3-4 dagen leegstandsperiode). Een stijgende trend in ronde 2 en 3 kan verklaard worden door het toenemende lichaamsgewicht en daarmee CO₂-productie van de kalveren (zie ook parameter m in Formule (1)). In ronde 3 wordt de stijgende trend mogelijk nog versterkt door een afnemende buitentemperatuur en daarmee afnemend ventilatiedebiet dat tot indikking leidt. Het omgekeerde speelt mogelijk een rol in ronde 1: een toenemende CO₂-concentratie door een toenemende CO₂-productie van de kalveren wordt daar mogelijk minder zichtbaar in de rondetrend door een toenemend ventilatiedebiet

in het voorjaar dat tot verdunning leidt. De CO₂-concentratie varieerde tussen 379 en 3372 ppm en bedroeg gemiddeld 1573 ppm. De veel gehanteerde grenswaarde voor de CO₂-concentratie in stallucht van 3000 ppm werd, op een drietal kortstondige pieken na, niet overschreden.

3.3 Concentratie ammoniak (NH₃)

Figuur 3.4 toont het verloop in de concentratie van ammoniak (NH₃) in de buitenlucht en de stallucht over de totale meetperiode.



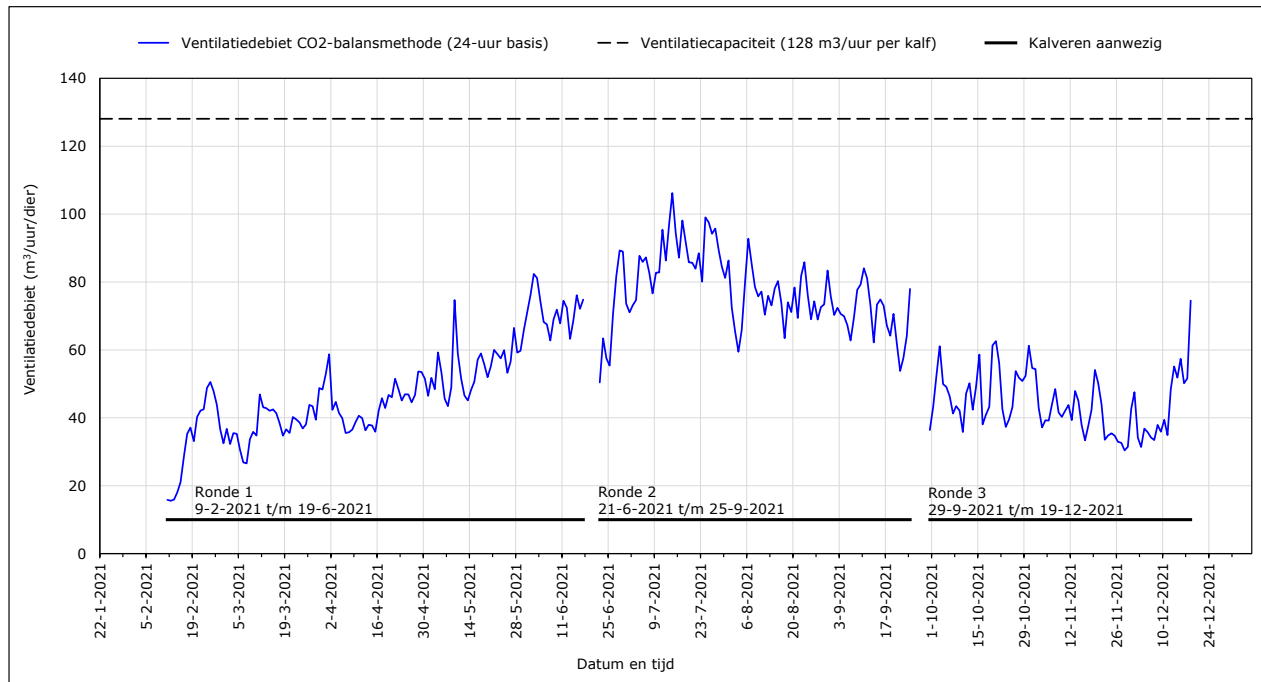
Figuur 3.4 Boven: verloop van de concentratie van ammoniak (NH₃) in de buitenlucht en de stallucht over de totale meetperiode (uurgemiddelden). Onder: verloop van opnieuw de concentratie van ammoniak (NH₃) in de buitenlucht waarbij de schaal van de Y-as is aangepast op het niveau in de buitenlucht.

Uit Figuur 3.4 blijkt dat de ammoniakconcentratie in de stal meestal varieerde tussen circa 5 en circa 15 ppm, met enkele perioden van hogere waarden, tot circa 35 ppm (gemiddelde: 12,4 ppm). Net als bij de

CO₂-concentratie, zijn in de ammoniakconcentratie in de stal de perioden tussen de rondes in zichtbaar als sterke dalingen tot niveaus van circa 2 tot 4 ppm. Opvallend is verder dat aan het begin van elke ronde een piek in de ammoniakconcentratie zichtbaar is.

3.4 Ventilatie-debiet

Figuur 3.5 (blauwe lijn) toont het verloop in het ventilatie-debiet over de totale meetperiode zoals berekend met de CO₂-balansmethode (par. 2.5.1).

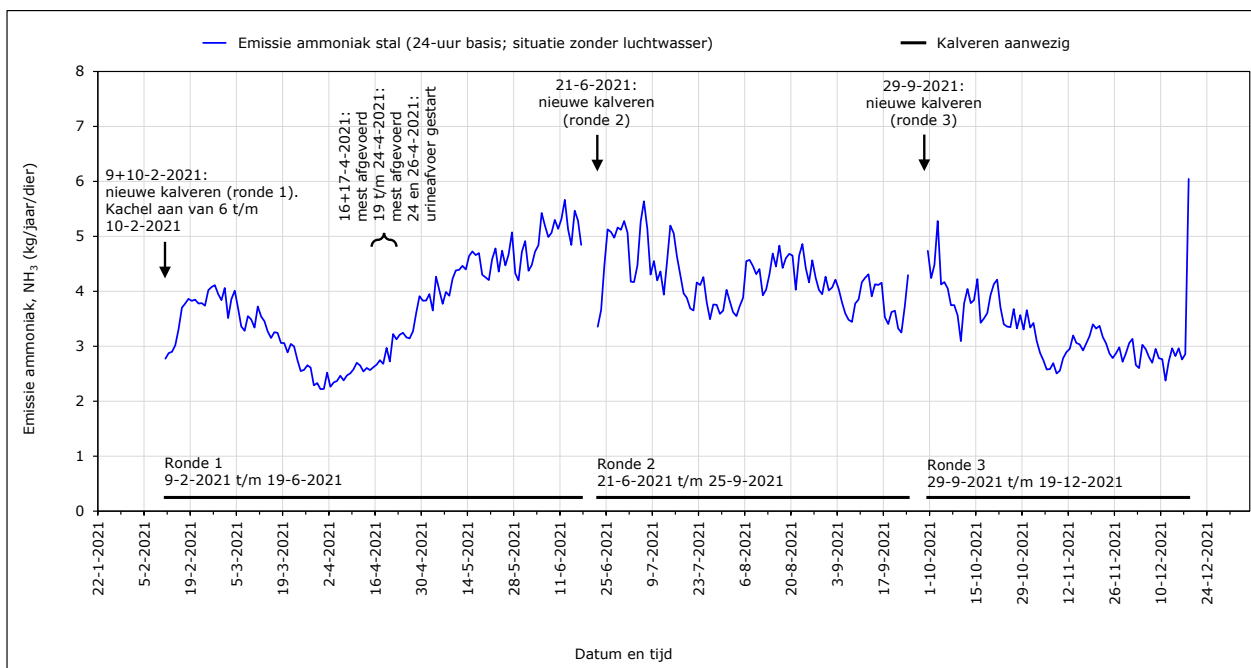


Figuur 3.5 Verloop van het ventilatie-debiet over de totale meetperiode (daggemiddelden; blauwe lijn) zoals berekend met de CO₂-balansmethode (par. 2.5.1).

Uit de Figuur 3.5 blijkt dat het ventilatie-debiet hoger was in de zomerperiode (Ronde 2) en lager in de winterperiode (eerste deel Ronde 1 en tweede deel Ronde 3). De data suggereren ook een effect van leeftijd/gewicht van de kalveren, te zien aan een val in ventilatie-debiet tussen het einde van de ene ronde (oudere/zwaardere kalveren) en het begin van de daaropvolgende (jonge/lichte kalveren). Dit zijn logische en te verwachten patronen omdat de stal geventileerd werd op basis van temperatuur.

3.5 Ammoniakemissie

Figuur 3.6 toont het verloop in de ammoniakemissie over de totale meetperiode.



[NIEUWE FIGUUR!]

Figuur 3.6 Verloop van de ammoniakemissie over de totale meetperiode (daggemiddelden).

Tabel 3.1 vat de staltemperaturen, ventilatiedebieten, ammoniakconcentraties en ammoniakemissies samen van de eerste 79 dagen van elk van de drie rondes.

Tabel 3.1 Staltemperaturen, ventilatiedebieten, ammoniakconcentraties en ammoniakemissies over de eerste 79 dagen van elk van de drie rondes.

Ronde, leeftijd dieren, situatie	Staltemperatuur	Ventilatiedebiet	Concentratie NH ₃	Emissie NH ₃
	Gem. (min-max)	Gem. (min-max)	Gem. (min-max)	Gem. (min-max)
	[°C]	[m ³ /uur/dier]	[ppm]	[kg/dier/jaar]
Ronde 1, 15 tot 94 dagen				
leeftijd, mestschuif en urinepomp uit	17,7 (16,0–20,7)	40 (16–59)	13,9 (6,9–30,3)	3,1 (2,2–4,1)
Ronde 2, 15 tot 94 dagen				
leeftijd, mestschuif en urinepomp aan	22,3 (18,4–25,4)	79 (50–106)	9,0 (6,1–15,2)	4,3 (3,4–5,6)
Ronde 3, 15 tot 94 dagen				
leeftijd, mestschuif en urinepomp aan	19,1 (16,5–21,4)	44 (30–75)	12,5 (8,5–21,3)	3,3 (2,4–6,0)

De data uit Tabel 3.1 wijzen weliswaar op een 35% (ronde 2) en 10% (ronde 3) lagere ammoniakconcentratie ('mestschuif en urinepomp aan') ten opzichte van ronde 1 ('mestschuif en urinepomp uit'), bleek dit beeld in de berekende emissies niet langer te bestaan; de emissies van rondes 2 en 3 waren respectievelijk 36% en 6% hoger dan de emissie van ronde 1. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in proefrondes 2 en 3 de staltemperatuur en het ventilatiedebiet, twee factoren die de ammoniakemissie positief beïnvloeden, hoger waren dan in controleronde 1. De eerste indruk uit de verkregen data, uit het vergelijken van rondes binnen dezelfde stal, wijst niet in de richting van een substantiële vermindering van ammoniakemissie door de kelderuitvoering. Benadrukt moet worden dat het hier gaat om een ruwe vergelijking op basis van twee versus één opfokronde. Meer gegevens zijn nodig om conclusies te trekken over de effectiviteit van de kelderuitvoering in het verminderen van de emissie van ammoniak.

De resultaten uit dit pilotproject kunnen vergeleken worden met de rapportage van Monteny en Van Hoof (2020) waarin de ammoniakemissie uit twee afdelingen (afdelingsnummers 6 en 7) met houten roosters, ondiepe v-vormige kelder en urineafvoer werden vergeleken met een afdeling met houten roosters en een

diepe kelder (afdelingsnummer 11), en dit over twee rondes blankvleeskalveren. In de eerste ronde bedroegen de ammoniakemissies van afdelingen 6 en 7 respectievelijk 5,29 en 5,15 kg/dier/jaar tegen 4,83 voor afdeling 11 (pag. 26; Monteny en Van Hoof, 2020). In de tweede ronde bedroegen de ammoniakemissies van afdelingen 6 en 7 respectievelijk 4,46 en 4,22 kg/dier/jaar tegen 6,46 voor afdeling 11 (pag. 33; Monteny en Van Hoof, 2020). De data uit deze rapportage geeft dus een wisselend beeld over de twee rondes: 10 en 7% hogere emissies in ronde 1 maar 31 en 35% lagere emissies in ronde 2.

Het niveau van de emissies uit Tabel 3.1 kunnen worden vergeleken met de recente rapportage van Mosquera et al. (2022) waarin o.a. de ammoniakemissies zijn bepaald in de opfokfase van twee bedrijven met rosé vleeskalveren. Op het eerste bedrijf werden de kalveren gemiddeld 98 dagen opgefokt. De kalveren hadden elk 1,8 m² leefoppervlak ter beschikking en de huisvesting was op houten roostervloeren boven een ondiepe (0,3 m) kelder. Op het tweede bedrijf werden de kalveren gemiddeld 93 dagen opgefokt. De kalveren hadden elk 1,5 m² leefoppervlak ter beschikking en de huisvesting was op houten roostervloeren boven een diepe (1,25 m) kelder. De emissieniveaus in de opfokfase bedroegen respectievelijk 7,6 en 7,3 g/dier/dag, equivalent aan ($\times 365 \times 0,001$): 2,8 en 2,7 kg/dier/jaar. De in het onderhavige pilotproject bemeeten ammoniakemissieniveaus in rondes 2 en 3 (gemiddelden: 4,3 en 3,3; range: 2,4-6,0 kg/dier/dag) waren enigszins hoger. Daarbij moet worden opgemerkt dat emissieniveaus in het onderhavige pilotproject een grotere mate van onzekerheid hebben, met name doordat gebruik gemaakt is van de CO₂-balansmethode i.p.v. meetwaaiers.

4 Conclusies

In dit pilotproject is ervaring opgedaan met het continu monitoren van ammoniak- en koolstofdioxideconcentraties, het stalklimaat, het ventilatiedebiet en de ammoniakemissie uit een opfokstal voor rosé vleeskalveren m.b.v. sensoren gekoppeld aan een datalogger met draadloze verbinding naar de server van Wageningen Universiteit en Research. Daarbij werden gasconcentraties en het stalklimaat op uurniveau gemonitord, ventilatiedebieten en ammoniakemissies op dagniveau. De monitoring is technisch gezien succesvol en zonder dataverlies verlopen gedurende 348 dagen (22-1-2021 tm 5-1-2022) en drie opfokrondes rondes 1, 2 en 3). In controleronde 1 waren mestschuif en urineafvoer buiten bedrijf: drijfmest accumuleerde tijdens de ronde. In proefrondes 2 en 3 waren mestschuif en urineafvoer wel in bedrijf.

Concentraties van met name koolstofdioxide (CO_2) en in mindere mate ammoniak (NH_3) kenden tijdspatronen waarin rondes gekarakteriseerd kunnen worden door a) een sterke terugval in concentraties tijdens de 3-4 dagen van vertrek van oudere kalveren en binnenkomst van nieuwe kalveren waarbij de deuren open staan, en b) een toename van concentraties met de leeftijd. De patronen suggereren verder dat de toename van concentraties wordt versterkt in het najaar wanneer ventilatiedebieten afnemen (indikking) en wordt afgevlakt in het voorjaar wanneer ventilatiedebieten toenemen (verdunding).

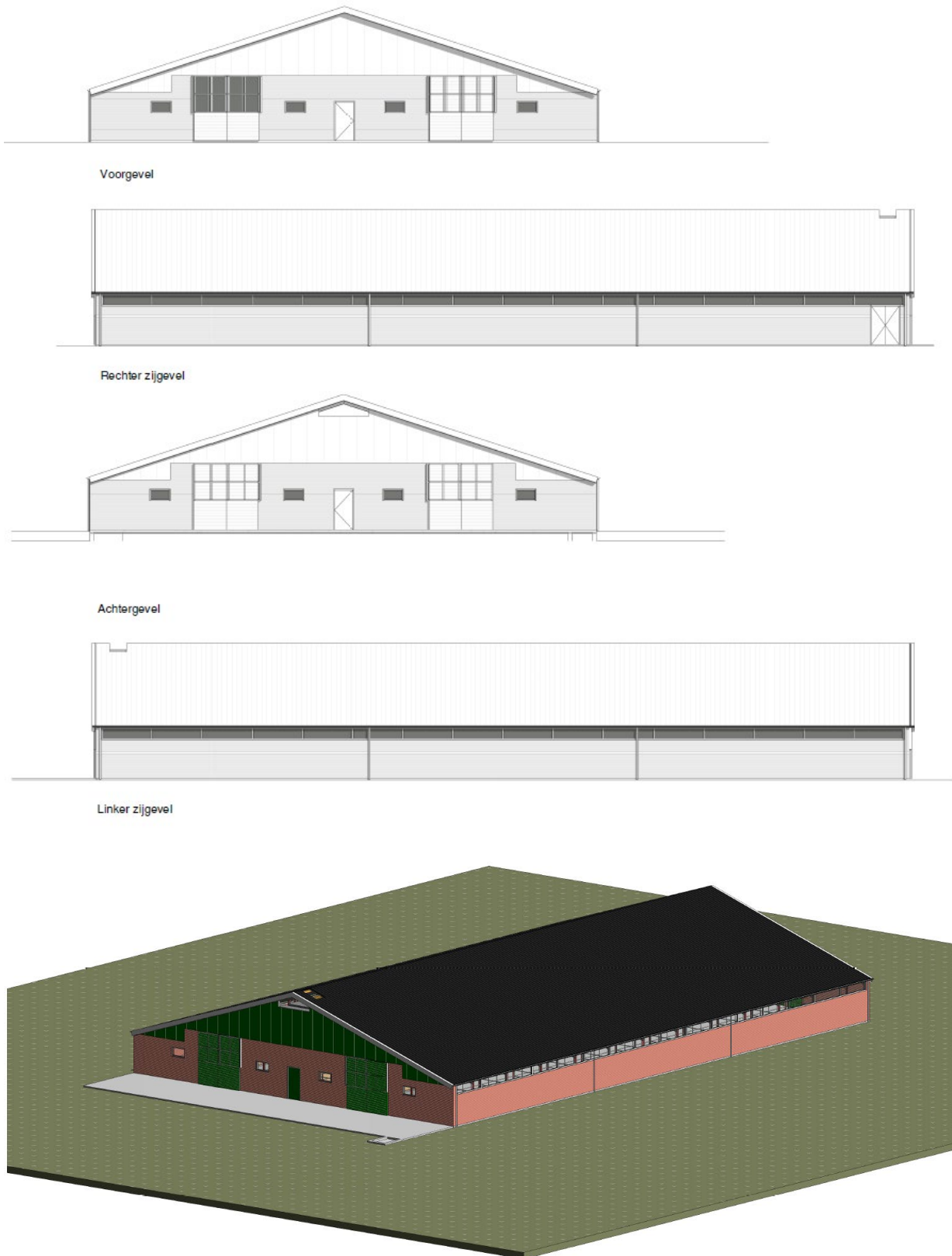
Hoewel een 35% (ronde 2) en 10% (ronde 3) lagere ammoniakconcentratie werd gemeten ('mestschuif en urinepomp aan') ten opzichte van ronde 1 ('mestschuif en urinepomp uit'), bleek dit beeld in de berekende emissies niet langer te bestaan; de emissies van proefrondes 2 en 3 waren respectievelijk 36% en 6% hoger dan de emissie van ronde 1. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in proefrondes 2 en 3 de staltemperatuur en het ventilatiedebiet, twee factoren die de ammoniakemissie positief beïnvloeden, hoger waren dan in controleronde 1. De eerste indruk uit de verkregen data, uit het vergelijken van rondes binnen dezelfde stal, wijst niet in de richting van een substantiële vermindering van ammoniakemissie door de kelderuitvoering. Benadrukt moet worden dat het hier gaat om een ruwe vergelijking op basis van twee versus één opfokronde. Meer gegevens zijn nodig om conclusies te trekken over de effectiviteit van de kelderuitvoering in het verminderen van de emissie van ammoniak.

5 Literatuur

- KNMI (2022). Klimaatviewer (webpagina). URL: <https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/kaarten>. Geraadpleegd 17 oktober 2022.
- Melse, R.W., J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2016). Laboratory tests of Draeger Polytron 8000 with FL-6813260 sensor for NH₃ measurement. Report 972. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Livestock Research. <http://dx.doi.org/10.18174/388326>.
- Monteny, G.-J., W. van Hoof (2020). Emissiearme vleeskalverstallen. Deelrapport Fase 3. Case/control-metingen aan emissiereducerende systemen voor wit-/blankvleeskalveren gedurende 2 afmestperiodes in 2018/2019 in Someren (Noord-Brabant). Rapportage van Kei Groen en Monteny Milieu Advies. PDF beschikbaar op: <https://landbouwenvoedselbrabant.nl/innovatie/taskforce+toekomstbestendige+stallen/1888474.aspx>
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, G.M. Nijboer, J.M.G. Hol, R.W. Melse, N.W.M. Ogink. Onderzoek naar de nauwkeurigheid van een nieuw type sensor voor ammoniakconcentraties in stallucht. Rapport 1042. Wageningen, Nederland: Wageningen Livestock Research. <http://dx.doi.org/10.18174/420967>.
- Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, L. Workel, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2022). Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit stallen voor rosé vleeskalveren: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Rapport 1376. Wageningen, Nederland: Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/572109>.
- Pedersen, S., & Sällvik, K. (2002). Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels. I4th Report of Work Group on Climatization of animal houses. Report. Horsens, Denmark: Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences. Available online at: <https://www.cigr.org>.
- Vonk, J., D. van Dinther, J. Mosquera en N.W.M. Ogink, 2021. Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH₃ en CH₄ uit veehouderijen. Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies. Rapport 1285. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/536495>.

Bijlage 1 Gevelaanzichten rosékalverstal

Bron: bouw-/milieutekening , Van Middendorp, Ederveen, Nederland



Bijlage 2 Leaflet drukventilatoren

Bron: <https://www.stienen.com/manuals/SGS-L-NL20041.pdf>





SGS

Regelbare hogedrukventilatoren



- Ventileren met tegendruk
- Laag energieverbruik in het regelbereik
- Geluidsarm
- Drukstabil in het regelbereik
- Geschikt voor centrale afzuigsystemen, luchtwassers en mestdrooginstallaties
- Voor elke situatie een passende oplossing
- IE3-motor
- Passend beschermrooster leverbaar

SGS-L-NL20041

SGS hogedrukventilatoren

Stienen SGS ventilatoren zijn speciaal ontwikkeld om zelfs bij hogere tegendruk energiezuinig, geluidsarm en goed regelbaar te kunnen ventileren. Dit maakt deze ventilatoren bij uitstek geschikt voor centrale afzuigsystemen, al dan niet in combinatie met luchtwassers en mestdrooginstallaties. De ventilatoren (ventilatorwand) worden altijd vóór de luchtwater geplaatst. Ze zijn in negen verschillende uitvoeringen verkrijgbaar, voor elke situatie een passende oplossing!

Technische specificaties


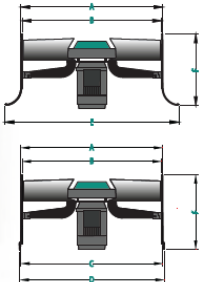
- Max. toerental: 960
- Laag geluidsniveau: 66 dB(A) bij SGS-92H-D4S (gemeten op 7m van 140mm bij onder een hoek van 45°)
- Drukstabil, ook bij laag toerental
- Die afmetingen: ø 71, 82 en 92cm
- Leverbaar met 0,75; 1,1; 1,5 of 2,2kW motor
- Voorzien van 2 of 4 bladen
- Passend beschermrooster leverbaar (afhankelijk bij montagehoogte < 2m)
- Beschermklasse: IP 56

Luchtopbrengst SGS ventilatoren in m³/u

Type	RPM	30 Pa	40 Pa	50 Pa	60 Pa	70 Pa	100 Pa	125 Pa	150 Pa	175 Pa	200 Pa	l-max
SGS-71H-A4X	900	16.090	15.990	15.550	15.130	14.180	13.950	x	x	x	x	2,3
SGS-82H-A2A	900	18.550	18.120	17.230	16.840	15.130	13.410	x	x	x	x	2,3
SGS-82H-B4A	900	20.150	19.990	19.830	18.980	18.550	17.270	x	x	x	x	3,3
SGS-82H-C4D	900	25.080	24.860	24.330	24.010	23.900	22.830	22.400	x	x	x	4,0
SGS-82H-C4E	900	23.150	22.610	22.510	22.290	21.970	21.590	20.690	19.830	17.266	x	4,0
SGS-92H-B2E	900	28.070	27.000	26.250	25.720	24.110	21.120	x	x	x	x	3,3
SGS-92H-B4L	900	24.860	24.860	24.110	23.580	22.610	21.150	x	x	x	x	3,3
SGS-92H-C4R	900	28.210	27.970	27.430	26.840	26.900	25.820	x	x	x	x	4,0
SGS-92H-D4S	900	33.230	32.730	32.250	31.820	31.390	30.100	28.390	27.540	25.820	24.970	6,0

Afmetingen in mm

Type	A	B	C	D	E	F
SGS-71H-VAR	729	716	730	747	x	430
SGS-71H	729	716	x	x	872	412
SGS-82H-VAR	818	802	818	835	x	430
SGS-82H	818	802	x	x	1000	412
SGS-92H-VAR	930	920	931	947	x	430
SGS-92H	930	920	x	x	1116	412

Stienen BE, Agri Automation

Stienen BE is een toonaangevend familiebedrijf (1977) met sterke roots in de intensieve veehouderij. Van nature staan wij heel dicht bij de eindgebruiker. Wij leveren wereldwijd innovatieve automatiseringssystemen voor pluimvee- en varkensstallen. Klimaatoplossingen, automatiseringssystemen, managementsoftware en bijbehorende randapparatuur worden allemaal in eigen huis ontwikkeld en geproduceerd.

www.stienen.com
 Stienen bv, Spilvliedkreek 2b, Mangasstraat 9, NL - 6031 RT Heteren
 T +31 (0)495 - 63 29 24 F +31 (0)495 - 63 29 81 E sales@stienen.com

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.

