



Onderzoek naar verbeterpunten voor combi-luchtwassers in de praktijk

E. Maasdam, R.W. Melse, N.W.M. Ogink

Openbaar
Rapport 1337



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verbetering luchtwassers in de praktijk

E. Maasdam¹, R.W. Melse², N.W.M. Ogink¹

1 Wageningen Livestock Research

2 R.W. Melse Advies

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (projectnummer BO-43-012.02-044)

Wageningen Livestock Research

Wageningen, november 2021

Openbaar

Rapport 1337

Synopsis NL

In dit onderzoek is op een aantal bedrijfslocaties onderzoek gedaan naar verbetering van ammoniak- en geurverwijderingsrendementen bij combi-luchtwassers. Hierbij is eerst op basis van de bestaande situatie vastgesteld welke mogelijke technische verbeteringen bij deze luchtwassers konden worden toegepast. Deze verbeteringen zijn vervolgens doorgevoerd waarna het effect van deze aanpassing op de rendementen werd gemeten. De technische maatregelen waren vooral effectief voor het verbeteren van het ammoniakrendement. De verkregen informatie uit dit onderzoek kan ingezet worden voor verbeteringen van de rendementen van huidige combi-luchtwassers op praktijkbedrijven.

Synopsis EN

In this study, research was conducted at a number of pig houses locations into improving ammonia and odor removal efficiencies of combi air scrubbers. First, based on the existing situation, it was determined which possible technical improvements could be applied to these air scrubbers. These improvements were then implemented, after which the effect of the adjustments on the removal rates was measured. The technical improvements were especially effective for improving the ammonia removal rate. The information obtained from this research can be used to improve the efficiency of current combi air scrubbers on pig houses.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/554345> 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, 2021

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

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
	1.1 Aanleiding en doelstelling	11
2	Materiaal en Methoden	12
	2.1 Onderzoeksopzet	12
	2.2 Selectie combi-wassers en oriënterende bezoeken	12
	2.3 Meetstrategie	13
	2.4 Meetlocaties	14
	2.5 Metingen	17
	2.5.1 Geur	17
	2.5.2 Ammoniak	17
	2.5.3 Stikstofoxiden en lachgas	18
	2.5.4 Ventilatie debiet	18
	2.5.5 Elektronisch logboek	18
	2.5.6 Overige metingen	19
3	Resultaten	20
	3.1 Vergelijking nat-chemische methode met de ammoniaksensoren	20
	3.2 Locatie #1	21
	3.2.1 Oriënterende metingen locatie #1	21
	3.2.2 Nulmeting locatie #1	21
	3.2.3 Verbetering locatie #1	25
	3.2.4 Eindmeting locatie #1	26
	3.2.5 Eindbeoordeling Locatie #1	28
	3.3 Locatie #2	29
	3.3.1 Oriënterende meting locatie #2	29
	3.3.2 1 ^e Nulmeting Locatie #2	29
	3.3.3 2 ^e Nulmeting locatie #2	31
	3.3.4 Verbetering locatie #2	33
	3.3.5 Eindmeting locatie #2	34
	3.3.6 Eindbeoordeling locatie #2	36
	3.4 Locatie #3	37
	3.4.1 Oriënterend bezoek Locatie #3	37
	3.4.2 1 ^e Nulmeting Locatie #3	37
	3.4.3 2 ^e Nulmeting locatie #3	41
	3.4.4 Verbetering locatie #3	44
	3.4.5 Eindmeting locatie #3	45
	3.4.6 Eindbeoordeling locatie #3	47
	3.5 Locatie #4	48
	3.5.1 Oriënterende meting locatie #4	48
	3.5.2 Nulmeting locatie #4	48
	3.5.3 Verbetering locatie #4	50
	3.5.4 Eindmeting locatie #4	51
	3.5.5 Eindbeoordeling locatie #4	53
	3.6 Locatie #5	54
	3.6.1 Oriënterend bezoek locatie #5	54

3.6.2	Nulmeting Locatie #5	54
3.6.3	Evaluatie nulmeting locatie #5	56
3.7	Locatie #6	56
3.7.1	Oriënterend meting locatie #6	56
3.7.2	Nulmeting locatie #6	57
3.7.3	Evaluatie nulmeting locatie #6	58
4	Discussie	59
4.1	Geïdentificeerde technische mankementen	59
4.1.1	Storingen waswaterpomp	59
4.1.2	Schoonmaken van het pakket	60
4.1.3	Nalatig onderhoud	60
4.1.4	Biologische combi-wassers: pH in het waswater	60
4.1.5	Biologische combi-wassers: verkeerde instellingen	61
4.1.6	Biologische combi-wassers: invloed van temperatuur (vorst)	61
4.1.7	Chemische combi-wassers: Verzuring van tweede neutrale wasstap	61
5	Conclusies en aanbevelingen	63
5.1	Continue monitoring van ammoniak	63
5.2	Controle van procesvoering	63
5.3	Regeling van pH in biologische combi-wassers	63
5.4	Ontwerp aanpassing chemische combi-wassers	64
5.5	Verbetering ammoniak- en geurrendementen in de praktijk	64
	Referenties	65
	Bijlage 1	66
	Bijlage 2	68

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat als vervolg op eerder onderzoek naar het functioneren van combi-luchtwassers in de praktijk. Uit eerder onderzoek bleek dat deze wassers in de praktijk niet de verwachte verwijderingsrendementen voor ammoniak en geur haalden. Aan WLR is opdracht gegeven om verbeteringsmaatregelen te onderzoeken waarmee de werking van deze wassers in de praktijk kan worden verbeterd. Hiertoe zijn bij meerdere luchtwassers op varkensbedrijven over verscheidene weken metingen uitgevoerd, waarbij het prestatieniveau van de wassers zowel in de uitgangssituatie als na het aanbrengen van technische veranderingen is vastgesteld. We willen hierbij de betrokken veehouders en omgevingsdiensten bedanken voor hun medewerking, en de betrokken luchtwasser leveranciers voor hun ondersteuning.

De auteurs

Samenvatting

Uit een steekproef in 2017 onder combi-luchtwassers in de praktijk bij bedrijven in Noord-Brabant en Gelderland bleek dat de ammoniak- en geurverwijdering lager waren dan gehanteerde waardes volgens de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) en de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) (Melse et al., 2018b). Naar aanleiding van de tegenvallende verwijderingsrendementen van combi-wassers heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) eind 2018 opdracht gegeven aan Wageningen Livestock Research (WLR) tot het uitvoeren van twee opeenvolgende vervolgonderzoeken. Het eerste vervolgonderzoek naar de reproduceerbaarheid van geurreductie van combi-wassers op twee Duitse bedrijven is in 2019 gerapporteerd (Melse en Ogink, 2019). Als vervolg hierop heeft het ministerie opdracht gegeven om een pakket aan verbeteringsmaatregelen te onderzoeken waarmee de geur- en ammoniakverwijdering van de in de praktijk bestaande combi-luchtwassers verbeterd kunnen worden.

De opdracht bestond uit drie taken: eerst het identificeren van de belangrijkste technische factoren bij combi-luchtwassers op praktijkbedrijven die de verwijderingsrendementen voor geur en ammoniak negatief beïnvloeden. Vervolgens het testen van doorgevoerde verbetermaatregelen op dezelfde praktijkbedrijven. Met als laatste de resultaten te rapporteren en te adviseren over mogelijke verbeteringsmaatregelen.

Bij de start van het onderzoek zijn meerdere luchtwassers bezocht waarvan bekend was dat deze niet goed functioneerden als mogelijke meetlocatie. Op basis van deze oriënterende bezoeken, en de bereidheid van de veehouder om medewerking te verlenen, werd besloten om op zes locaties (vijf biologische combi-wassers en één chemische combi-wasser) nader onderzoek te verrichten. Bij biologische combi-wassers werd tijdens de oriënterende metingen bij twee locaties een hoge productie van stikstofoxiden (NO_x) geconstateerd (waardoor de totale stikstofverwijdering laag was), bij twee locaties werd een te hoge pH in het waswater gemeten gepaard met een laag ammoniakverwijderingsrendement en bij één locatie werd een te hoge EC-waarde in het waswater gemeten met een laag ammoniakverwijderingsrendement. Bij de chemische combi-wasser werd een te lage pH in de tweede wasstap gemeten.

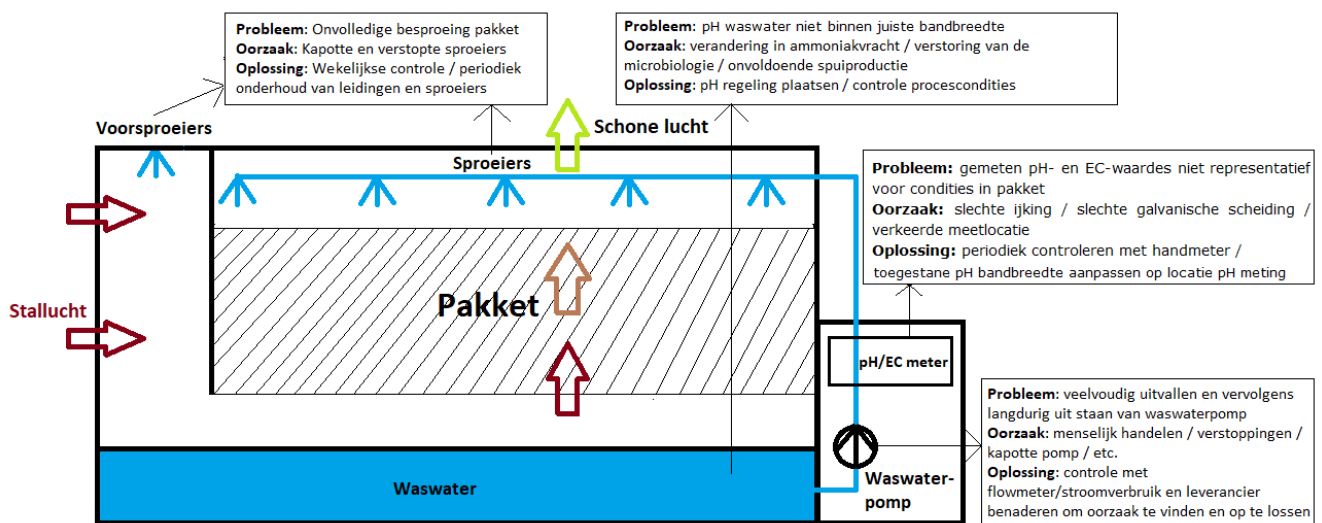
Bij deze zes locaties zijn zogeheten "nulmetingen" verricht waarbij de ammoniak- en geurverwijdering werd bepaald en mogelijke technische mankementen werden geïdentificeerd. Vervolgens zijn bij vier locaties verbeteringsprogramma's uitgevoerd om de technische mankementen te verhelpen en nogmaals de ammoniak- en geurverwijdering vast te stellen om hiermee de effectiviteit van de verbeterprogramma's vast te stellen. Twee locaties zijn verder niet onderzocht omdat de ene locatie technische problemen had die overeenkwamen met een van de vier locaties die al in onderzoek was en de andere locatie technisch gezien zo aangepast moest worden dat het geen verbeteringsmaatregelen meer zou betreffen maar een structurele aanpassing van het ontwerp van de wasser.

Tijdens het onderzoek zijn de volgende technische problemen geconstateerd bij biologische combi-wassers (een schematisch overzicht van de vier meest geconstateerde problemen bij biologische combi-wassers is weergegeven in Figuur 1):

1. Bij de oriënterende bezoeken en tijdens de metingen werden een aantal malen afgebroken of verstopte sproeiers gevonden, waardoor het pakket niet volledig werd besproeid; er werden ook loszittende of kapotte druppelvangers aangetroffen. Geadviseerd wordt om regelmatig de luchtwater visueel te inspecteren (met name de sproeiers) en periodiek onderhoud te laten uitvoeren om volledige besproeiing van het pakket te waarborgen.
2. Bij alle onderzochte biologische combi-wassers lag de pH (zuurgraad) van het waswater een gedeelte van de meetperiode (10-50% van de tijd) buiten de toegestane bandbreedte van 6,5 tot 7,5. Een verhoogde pH-waarde van boven de 7,5 ging gepaard met een vermindering van het ammoniakverwijderingsrendement. Bij twee locaties is daarom als onderdeel van het verbeterprogramma een pH-regeling geplaatst waarbij zuur of loog wordt toegevoegd om de pH op het gewenste niveau te houden. Bij beide luchtwassers had de plaatsing van een pH-

regeling een positief effect op de ammoniakverwijdering; er werd na de plaatsing van de pH-regeling een ammoniak verwijdering van gemiddeld respectievelijk 98% en 97% gerealiseerd. Er wordt daarom geadviseerd om biologische combi-wassers standaard te voorzien van een pH-regeling. Bij één van de twee locaties bleek er ook een positief effect te zijn op de geurverwijdering, waarbij de geurverwijdering toenam van gemiddeld 26% naar gemiddeld 80%. Op de andere locatie was het geurrendement lager tijdens de eindmeting met 13% tegenover de 48% tijdens de nulmeting. Het stabiliseren van de pH in het waswater biedt dus geen garantie dat de geurverwijdering zal verbeteren.

- De gemeten waarden van de pH- en EC-sensoren in de luchtwasser bleken niet op alle locaties overeen te komen met de werkelijke pH en EC in het waswaterpakket. Dit kwam door onder andere: slechte ijkings van de sensoren, slechte galvanische scheiding (isolatie van elektrische onderdelen) of doordat de pH van het waswater onder het pakket een veel lagere waarde had dan het waswater dat bovenop het pakket wordt gesproeid, als gevolg van nitrificatie. Hierdoor zijn de waarden die in het elektronisch logboek worden opgeslagen niet altijd representatief en is het adequaat controleren van een goede werking van de luchtwasser aan de hand van deze data niet altijd mogelijk. Voor een correcte meting dienen beide sensoren periodiek gecontroleerd te worden (met bijv. een handmeter) en bij afwijking opnieuw geijkt of vervangen te worden. Daarnaast wordt geadviseerd om de positie van de pH-meting te standaardiseren. Ook kan gedacht worden aan het meten van de pH op twee plaatsen, zowel boven het pakket als onder het pakket. Wanneer de locatie van de pH-meting goed gedefinieerd is zal het mogelijk zijn om de bandbreedte van de pH dusdanig aan te passen dat verzuring niet zal leiden tot te lage pH-waarden in het pakket, ook niet in het onderste gedeelte. Hiervoor is nader onderzoek nodig.
- Als laatste bleek op meerdere locaties dat bij het uitvallen van de waswaterpomp, zelfs na het herstarten van de waswaterpomp, de ammoniakverwijdering zeer sterk kan afnemen en het wel een week duurt voordat de luchtwasser het oude rendement weer behaalt. Daarom wordt geadviseerd om bij veelvoudig uitvallen van de waswaterpomp de oorzaak zo snel mogelijk te achterhalen en het (technische) probleem te verhelpen dan wel de bedrijfsvoering dusdanig aan te passen dat stilstand van de waswaterpomp (en dus de luchtwasser) te allen tijde wordt voorkomen.



Figuur 1 Overzicht van de meest voorkomende technische problemen bij biologische combi-wassers, de daarbij horende mogelijke oorzaken en de mogelijke oplossingen om dit beter te controleren of te verhelpen.

Bij de onderzochte chemische combi-wasser bleek de tweede neutrale wasstap volledig verzuurde als gevolg van de doorslag van zuur uit de eerste wasstap. Dit bleek geen negatief effect te hebben op de ammoniakverwijdering (het zal de ammoniakverwijdering mogelijk zelfs verbeteren), maar mogelijk kan dit wel negatief werken op de geurverwijdering. Om verzuring van de tweede neutrale wasstap te voorkomen zal bij deze chemische combi-wassers er een betere scheiding moeten worden geplaatst tussen de zure wasstap en de neutrale wasstap of er dient een goede correctie plaats te vinden in de neutrale wasstap met genoeg vers water of er kan een pH-regeling geplaatst worden om de verzuring te voorkomen.

In dit onderzoek werd gebruik gemaakt van ammoniaksensoren waarmee de ingaande en uitgaande ammoniakconcentratie van de luchtwasser werd gemonitord. Deze sensoren zouden kunnen worden ingezet als directe controle voor de werking van luchtwassers, aanvullend op indirect de procescondities in luchtwassers te volgen. Hiermee kan er sneller en directer worden geconstateerd wanneer de luchtwasser niet goed functioneert en kan vervolgens de oorzaak sneller worden vastgesteld en verholpen.

De verwachting is dat het mogelijk is om combi-wassers te laten voldoen aan de ammoniakrendementen zoals die in de Rav zijn vastgelegd, wanneer de vastgestelde technische problemen worden opgelost. Dit zal mogelijk ook leiden tot betere geurrendementen, maar het is onwaarschijnlijk dat deze verbeteringen er voor zullen zorgen dat combi-wassers de geurrendementen zullen halen zoals die tot medio 2018 in de Rgv waren vastgelegd. Voor het verbeteren van geurrendementen zal de focus verlegd moeten worden van alleen de luchtwasser naar een aanpak die de gehele stal, dat wil zeggen van rantsoensamenstelling en stalmanagement (bv. in de vorm van verbeterde vloerhygiëne) tot aan de werking van de luchtwasser. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van technieken voor chemisch-analytische geuranalyse die op dit moment ontwikkeld worden, waarmee geurvorming en geurprofiel betere geanalyseerd en begrepen kunnen worden. Dit zal naar verwachting leiden naar een gerichtere verbetering van de luchtwasstechniek, een verlaging van de bronsterkte en een lagere geuremissie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstelling

In 2017 is een steekproef uitgevoerd waarin het geur- en ammoniakverwijderingsrendement van luchtwassers op bedrijven in Noord-Brabant en Gelderland is gemeten (Melse et al., 2018b). Hieruit kwam naar voren dat de geurverwijdering en in mindere mate de ammoniakverwijdering lager waren dan de gehanteerde waardes volgens de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) en de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Mede op basis van dit onderzoek heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) de geurreductiepercentages van de combi-wassers in de Rgv per 20 juli 2018 verlaagd naar een waarde die gelijkstaat aan een geuremissiereductie van 45% voor combi-wassers met een biologische wasstap en 30% voor combi-wassers met een chemische wasstap. De reductiepercentages voor ammoniak zijn ongewijzigd gebleven.

Bij de in 2017 uitgevoerde steekproef onder combi-wassers bij praktijk-bedrijven werd duidelijk dat de geurverwijdering onder combi-wassers sterk kan variëren. Er werd gemiddeld slechts een verwijderingsrendement van 40% gehaald. Daarnaast was er in het praktijkonderzoek uit 2017 ook sprake van sterk wisselende rendementen in de ammoniakverwijdering, waarbij in veel gevallen het verwachte Rav-verwijderingsniveau niet werd gehaald. In beide gevallen kunnen de tegenvallende rendementen het gevolg zijn van technische factoren die de biologische werking van deze systemen ondermijnt. Om de werking van combi-wassers in de praktijk te verbeteren is er daarom behoefte aan het ontwikkelen van een pakket aan verbetermaatregelen dat ingezet kan worden op de nu in werking zijnde combi-wassers in Nederland.

Naar aanleiding van de tegenvallende verwijderingsrendementen van combi-wassers heeft het Ministerie van IenW eind 2018 opdracht gegeven aan Wageningen Livestock Research tot het uitvoeren van twee opeenvolgende vervolgonderzoeken. Het eerste betrof vergelijkend onderzoek op twee praktijklocaties met biologische combi-wassers in Duitsland, waarbij twee geurlabs uit Nederland en Duitsland de geuremissiereducties onder Duitse praktijkomstandigheden hebben vergeleken (Melse en Ogink, 2019). Uit dit onderzoek kwam naar voren dat het geurreductiepercentage van 85% waarmee de biologische combi-wasser eerder in de Rgv was opgenomen, niet gereproduceerd kon worden. Ook stelden beide laboratoria daarbij beduidend lagere geurreducties vast. De ammoniakverwijdering voldeed hier wel aan de gehanteerde waarden van de Rav. De conclusie uit dit onderzoek was dat de eerder vastgestelde ammoniakrendementen met deze systemen wel gereproduceerd konden worden, maar de geurrendementen niet.

Het tweede vervolgonderzoek, dat in voorliggend rapport wordt beschreven, richt zich op het ontwikkelen van verbetermaatregelen. De doelstellingen waren:

- 1) het identificeren van de belangrijkste technische factoren die de verwijderingsrendementen voor geur en ammoniak van combi-luchtwassers op een aantal bedrijven negatief beïnvloeden;
- 2) het testen van doorgevoerde verbetermaatregelen op dezelfde praktijkbedrijven;
- 3) advies geven over praktisch uitvoerbare verbetermaatregelen om het rendement van in de praktijk gebruikte luchtwasser te verbeteren.

Dit onderzoek richtte zich op Nederlandse praktijkbedrijven en startte midden 2019. Als gevolg van vertraging in het werven van geschikte bedrijfslocaties en de Covid-maatregelen waardoor geurmetingen gedurende een half jaar in 2020 moesten worden opgeschort, liep het technische deel van dit onderzoek t.o.v. de planning een jaar vertraging op.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Onderzoeksopzet

Om te kunnen bepalen of technische mankementen van invloed zijn op de ammoniak- en geurverwijdering door combi-wassers zijn er in dit onderzoek verscheidene locaties uitgezocht waarvan was vastgesteld dat de aanwezige combi-wasser niet naar behoren functioneerde. Voor deze locaties werd het ammoniak- en geurverwijderingsrendement vastgesteld en gekeken welke mogelijke technische mankementen van invloed konden zijn waardoor de luchtwasser niet naar behoren functioneerde. Vervolgens zijn de technische mankementen, voor zover bekend, verholpen om daarna nogmaals voor deze luchtwassers het geur- en ammoniakverwijderingsrendement te bepalen. Door de situatie voor en na het verhelpen van technische mankementen te vergelijken kon worden vastgesteld of het verbeterprogramma een effect heeft gehad op de verwijdering van ammoniak en geur door de combi-wasser. Vervolgens kon aan de hand van de opgedane kennis een advies worden uitgebracht om combi-wassers in de praktijk beter te laten functioneren en zo hogere rendementen te kunnen behalen dan de huidige praktijksituatie.

2.2 Selectie combi-wassers en oriënterende bezoeken

Bij leveranciers van luchtwassers was gevraagd om een lijst van locaties met luchtwassers waarvan bekend was dat deze niet goed functioneren (vaak storingen en/of overschrijding van de bandbreedtes voor normale procescondities). Daarnaast was een aantal locaties geselecteerd die bekend waren uit het eerdere onderzoeksprogramma (Melse et al., 2018b). Uit deze lijst werden tien locaties bezocht (8 biologische combi-wassers en 2 chemische combi-wassers) om oriënterende metingen te verrichten. Tijdens de bezoeken werden metingen gedaan om de ammoniakverwijdering, lachgasproductie en procescondities (pH, EC, nitriet, nitraat en ammonium concentraties) te bepalen. Vanwege het oriënterende karakter werd in deze fase nog geen geurrendement gemeten.

Uit de oriënterende bezoeken bij de acht locaties met biologische combi-wassers werden drie verschillende problemen geconstateerd. Op vijf locaties met een biologische combi-wasser was een NO_x concentratie gemeten van meer dan 5% van de totaal ingaande ammoniak concentratie. Meestal ging deze observatie gepaard met een pH-waarde van het waswater onder de 6,5. Op twee locaties met een biologische combi-wasser werd een pH-waarde van boven de 7,5 in het waswater gemeten, samen met een ammoniakverwijderingsrendement van onder de 60%. Op één locatie met een biologische luchtwasser werd een EC-waarde gemeten boven de maximale toegestane waarde van 18 mS/cm, op deze locatie was het ammoniakverwijderingsrendement onder de 40%.

Voor de twee bezochte locaties met chemische combi-wassers was bij beide locaties een pH-waarde lager dan 4,0 gemeten in de tweede wasstap, welke neutraal behoort te zijn. Waarschijnlijk kwam een gedeelte van het zuur uit de eerste zure wasstap in de tweede wasstap terecht.

Op basis van de oriënterende bezoeken en de bereidheid van de veehouder om medewerking te verlenen werd besloten om op zes van deze locaties (vijf biologische combi-wassers en één chemische combi-wasser) nader onderzoek te verrichten, om mogelijke oorzaken voor de problemen te achterhalen. Bij deze zes locaties werd tijdens de oriënterende metingen de volgende observaties gedaan:

- bij twee locaties werd een te hoge NO_x emissie gemeten;
- bij twee locaties werd een te hoge pH in het waswater gevonden, gepaard met een laag ammoniakverwijderingsrendement;
- bij één locatie werd een te hoge EC-waarde gemeten in het waswater, gepaard met een laag ammoniakverwijderingsrendement;
- bij één locatie werd een te lage pH in de tweede (neutrale) wasstap gemeten.

2.3 Meetstrategie

Om de potentiële oorzaken van de geconstateerde problemen te achterhalen werd een systematisch stappenplan uitgevoerd op elke locatie. Het plan per locatie bestond uit de volgende stappen:

- "Nulmeting" meetsessie: Tijdens een allereerste meetsessie (nulmeting) werd het ammoniakverwijderingsrendement gedurende een periode van minimaal twee weken continue gevolgd om de werking van de wasser te kunnen bepalen. Tijdens deze periode zijn er twee tot drie meetdagen verspreid over de meetsessie waarop ook de geurverwijdering, procescondities en de lachgasproductie werden gemeten. Op deze dagen werd ook de pH en EC gemeten en werden waswatermonsters en in- en uitgaande luchtmonsters genomen voor analyse in het chemisch lab. De analyseresultaten van de monsters werden vergeleken met de geregistreerde pH en EC in het elektronisch logboek.
- Verbeterprogramma: Na de eerste meetsessie (nulmeting) werden de ammoniak- en geurverwijderingsrendementen bepaald en de gegevens van de proces condities geanalyseerd. Aan de hand van een analyse van deze data werden mogelijke oorzaken voor de problemen onderzocht en de technische mankementen van het systeem in kaart gebracht. Vervolgens werd, in overleg met de luchtwasser leverancier en de veehouder, bepaald op welke manier gevonden problemen en technische mankementen konden worden verholpen. Waar mogelijk werd er een verbeterprogramma uitgevoerd waarin het systeem werd aangepast om de gevonden problemen en technische mankementen op te lossen.
- "Eindmeting" meetsessie: als er een verbeterprogramma was uitgevoerd werd de luchtwasser nogmaals doorgemeten nadat alle werkzaamheden waren uitgevoerd. Tijdens deze meetsessie (eindmeting) werd, op dezelfde manier als tijdens de nulmeting, het ammoniakverwijderingsrendement weer continue gevolgd en werd op meerdere meetdagen ook weer de geurverwijdering, procescondities en de lachgasproductie gemeten en werden er monsters genomen van het waswater en de in- en uitgaande lucht voor analyse in het chemisch lab.
- Eindbeoordeling: Aan de hand van de verkregen data tijdens de nulmeting en eindmeting werd er een vergelijking gemaakt tussen de ammoniak- en geurverwijderingsrendementen van voor en na het verbeterprogramma. Met deze vergelijking werd bepaald of het verbeterprogramma het mankement verholpen had en of het verbeterprogramma effect heeft gehad op de verwijderingsrendementen van ammoniak en geur.

2.4 Meetlocaties

In deze paragraaf worden de belangrijkste kenmerken weergegeven van de luchtwasser op alle zes de meet locaties. Er waren in totaal vijf biologische combi-wassers en één chemische combi-wasser.

Tabel 1 Gegevens over "locatie #1" samen met ontwerpparameters van de biologische combi-wasser.

Ontwerpparameter	Specificatie
Type	Biotrickling filter met voorbevochtiging
Locatie	Overijssel
BWL nummer	BWL 2010.02
Diercategorie	Zeugen
Type voer	Droogvoer
Maximaal aantal dieren (basis voor ontwerp luchtwasser)	1.180
Ontwerp luchtdebiet (maximum)	129.850 m ³ /h
Locatie van ventilatoren	Voor de luchtwasser
Flow configuratie	Tegenstroom
Volume verpakkingsmateriaal	70,21 m ³
Aanstroom oppervlakte	58,46 m ²
Maximale oppervlakte belasting	2.221 m ³ /m ² /h
Minimale luchtverblijftijd (EBRT) ¹	1,95 s
Uitstroomopening	12,02 m ²
pH-regeling	Niet aanwezig
Gewenste pH	6,5 - 7,5
Spui regeling	Gebaseerd op EC meting (maximaal 18 mS/cm)

¹De minimale luchtverblijftijd (EBRT = empty bed residence time) wordt berekend door het volume van het pakkingsmateriaal te delen door het maximale luchtdebiet.

Tabel 2 Gegevens over "locatie #2" samen met ontwerpparameters van de biologische combi-wasser.

Ontwerpparameter	Specificatie
Type	Biotrickling filter met voorbevochtiging
Locatie	Noord-Brabant
BWL nummer	BWL 2009.12
Diercategorie	Vleesvarkens
Type voer	Droogvoer
Maximaal aantal dieren (basis voor ontwerp luchtwasser)	2.880
Ontwerp luchtdebiet (maximum)	187.680 m ³ /h
Locatie van ventilatoren	Voor de luchtwasser
Flow configuratie	Tegenstroom
Volume verpakkingsmateriaal	69 m ³
Aanstroom oppervlakte	46 m ²
Maximale oppervlakte belasting	4.080 m ³ /m ² /h
Minimale luchtverblijftijd (EBRT) ¹	1,32 s
Uitstroomopening	4,02 m ² (bestaande uit 8 kokers met een diameter van 40 cm)
pH-regeling	Niet aanwezig
Gewenste pH	6,5 - 7,5
Spui regeling	Gebaseerd op EC meting (tijdens nulmeting afgeknepen tot maximum 1m ³ /d)

¹De minimale luchtverblijftijd (EBRT = empty bed residence time) wordt berekend door het volume van het pakkingsmateriaal te delen door het maximale luchtdebiet.

Tabel 3 Gegevens over "locatie #3" samen met ontwerpparameters van de biologische combi-wasser.

Ontwerpparameter	Specificatie
Type	Biotrickling filter met voorbevochtiging
Locatie	Overijssel
BWL nummer	BWL 2009.12
Diercategorie	Vleesvarkens
Type voer	Droogvoer
Maximaal aantal dieren (basis voor ontwerp luchtwasser)	2.692
Ontwerp luchtdebiet (maximum)	161.520 m ³ /h
Locatie van ventilatoren	Voor de luchtwasser
Flow configuratie	Tegenstrooms
Volume verpakkingsmateriaal	100,28 m ³
Aanstroom oppervlakte	39,6 m ²
Maximale oppervlakte belasting	4.078 m ³ /m ²
Minimale luchtverblijftijd (EBRT) ¹	2,24 s
Uitstroomopening	25,10 m ²
pH-regeling	Aanwezig, niet in gebruik tijdens onderzoek
Gewenste pH	6,5 - 7,5
Spui regeling	Gebaseerd op EC-waarde (maximaal 18 mS/cm)

¹De minimale luchtverblijftijd (EBRT = empty bed residence time) wordt berekend door het volume van het pakkingsmateriaal te delen door het maximale luchtdebiet.

Tabel 4 Gegevens over "locatie #4" samen met ontwerpparameters van de biologische combi-wasser.

Ontwerpparameter	Specificatie
Type	Biotrickling filter met voorbevochtiging
Locatie	Noord-Brabant
BWL nummer	BWL 2009.12
Diercategorie	Kraamzeugen
Type voer	N.B.
Maximaal aantal dieren (basis voor ontwerp luchtwasser)	278
Ontwerp luchtdebiet (maximum)	73.440 m ³ /h
Locatie van ventilatoren	Voor de luchtwasser
Flow configuratie	Tegenstroom
Volume verpakkingsmateriaal	25,55 m ³
Aanstroom oppervlakte	17,03 m ²
Maximale oppervlakte belasting	4.080 m ³ /m ² /h
Minimale luchtverblijftijd (EBRT) ¹	1,25 s
Uitstroomopening	5.92 m ²
pH-regeling	niet aanwezig
Gewenste pH	6,5 - 7,5
Spui regeling	Gebaseerd op EC meting (maximaal 18 mS/cm)

¹De minimale luchtverblijftijd (EBRT = empty bed residence time) wordt berekend door het volume van het pakkingsmateriaal te delen door het maximale luchtdebiet.

Tabel 5 Gegevens over "locatie #5", samen met ontwerpparameters van de biologische combi-wasser.

Ontwerpparameter	Specificatie
Type	Biotrickling filter met voorbevochtiging
Locatie	Noord-Brabant
BWL nummer	BWL 2009.12
Diercategorie	Vleesvarkens
Type voer	Brijvoer
Maximaal aantal dieren (basis voor ontwerp luchtwasser)	2.688
Ontwerp luchtdebiet (maximum)	249.696 m ³ /h
Locatie van ventilatoren	Achter de luchtwasser
Flow configuratie	Tegenstroom
Volume verpakkingsmateriaal	91,8 m ³
Aanstroom oppervlakte	61,2 m ²
Maximale oppervlakte belasting	4.080 m ³ /m ² /h
Minimale luchtverblijftijd (EBRT)	1,32 s
Uitstroomopening	5,09 m ²
pH-regeling	niet aanwezig
Gewenste pH	6,5 - 7,5
Spui regeling	gebaseerd op EC-waarde (maximaal 18 mS/cm)

¹De minimale luchtverblijftijd (EBRT = empty bed residence time) wordt berekend door het volume van het pakkingsmateriaal te delen door het maximale luchtdebiet.

Tabel 6 Gegevens over "locatie #6", samen met ontwerpparameters van de chemische combi-wasser.

Ontwerpparameter	Specificatie
Type	Chemisch lamellenfilter met water naspoeling
Locatie	Noord-Brabant
BWL nummer	BWL 2006.14
Diercategorie	Varkens
Type voer	Droogvoer
Maximaal aantal dieren (basis voor ontwerp luchtwasser)	300 vleesvarkens, 32 kraamzeugen, 40 opfokzeugen, 244 dragende zuigen, 132 gespeende biggen
Ontwerp luchtdebiet (maximum)	67.750 m ³ /h
Locatie van ventilatoren	Voor de luchtwasser
Flow configuratie	Dwarsstroom
Volume verpakkingsmateriaal	±36 m ³
Aanstroom oppervlakte	12 m ²
Maximale oppervlakte belasting	5000 m ³ /m ² /h
Minimale luchtverblijftijd (EBRT) ¹	1,91 s
Uitstroomopening	8,53 m ²
pH-regeling	Aanwezig (maar niet in neutrale 2e wasstap)
Gewenste pH	2 in 1 ^e wasstap, 7 in 2 ^e wasstap
Spui regeling	Gebaseerd op waterniveau in de wasstappen

¹De minimale luchtverblijftijd (EBRT = empty bed residence time) wordt berekend door het volume van het pakkingsmateriaal te delen door het maximale luchtdebiet.

2.5 Metingen

2.5.1 Geur

Op elke meetdag werden tegelijkertijd twee monsters van de ingaande lucht (dus een duplo) en twee monsters van de uitgaande lucht (eveneens een duplo) genomen. De monsters werden genomen in de periode tussen 10:00 en 12:00, de monsternameduur bedroeg telkens minimaal 30 minuten, conform het VERA protocol. In alle gevallen werd gebruik gemaakt van nalophaan-folie (PET) geurzakken. De monsters werden vervolgens binnen 24 uur geanalyseerd door het geurlaboratorium conform de geurnorm EN-13725 en gerapporteerd in Europese geureenheden (OU_E/m^3) (CEN, 2013). De gevoeligheid van de panelleden werd voor de metingen getest met n-butanol, conform EN-13725. Het geurlaboratorium van Buro Blauw werkt binnen de geurnorm volgens de bij Nederlandse laboratoria gangbare 'gedwongen keuze' analysemethode.

Het geurrendement van de wasser werd voor elke meting als volgt berekend:

$$\text{Rendement (\%)} = 100 \times [(C_{in} - C_{uit}) / C_{in}]$$

waarbij:

C_{in} = ingaande geurconcentratie, OU_E/m^3 ;

C_{uit} = uitgaande geurconcentratie, OU_E/m^3 .

2.5.2 Ammoniak

De ammoniakconcentratie werd bij elke luchtwasser gemonitord voor zowel de ingaande als uitgaande lucht met Dräger polytron P8000 NH_3 sensoren (Mosquera et al., 2017). De Dräger sensor voor de ingaande ammoniakconcentratie werd opgehangen in de drukkamer van de luchtwasser. De andere sensor hing bij de uitgaande lucht aan de buitenkant van de luchtwasser. Om bij de uitgaande lucht de invloed van regen te minimaliseren was het uiteinde van de sensor afgeschermd met een T-stuk PVC buis om regen buiten te houden. Daarnaast werd op elke luchtwasser een koker geïnstalleerd op de uitlaat van de luchtwasser waar vervolgens de sensor in opgehangen werd om de invloed van wind te minimaliseren. Voor beide sensoren werd elke minuut de gemeten ammoniakconcentratie opgeslagen. De sensoren waren van tevoren gekalibreerd door een ijkgas op verschillende verdunningsniveaus aan te bieden zoals beschreven in Mosquera et al., 2017. De gemeten waarden werden naderhand gecorrigeerd aan de hand van de hierdoor verkregen kalibratiecurve. Verder zijn alle meetreeksen gecorrigeerd voor de verkregen ijklijn door vergelijking met de nat-chemische referentiemethode (3.1). Met de gecorrigeerde waarden van de ammoniakconcentratie in de ingaande en uitgaande lucht kan vervolgens het ammoniakrendement als volgt worden berekend:

$$\text{Rendement (\%)} = 100 \times [(C_{in} - C_{uit}) / C_{in}]$$

waarbij:

C_{in} = ingaande ammoniakconcentratie, ppm;

C_{uit} = uitgaande ammoniakconcentratie, ppm.

Tegelijkertijd met de monitoring door ammoniaksensoren werd de nat-chemische referentiemethode met gaswasflessen gebruikt, zoals beschreven door Mosquera et al., 2019. Bij deze methode wordt lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritisch capillair dat een luchtstroom geeft van $\sim 0,5$ l/min. Alle lucht werd door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH_3 in de wasvloeistof werd opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag werd een extra fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen werd de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. Na bemonstering werd de concentratie van de gebonden NH_3 in de wasvloeistof spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom door de meetopstelling bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte in de wasvloeistof en de hoeveelheid wasvloeistof te verrekenen kon de gemiddelde NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden

bepaald. Met deze methode werd een gemiddelde concentratie over een meetperiode van 7 dagen bepaald voor de ingaande en uitgaande luchtstroom in de luchtwasser. Dit gemiddelde resultaat gaf geen inzicht in het verloop van de NH₃ concentraties tijdens de metingen, maar werd wel vergeleken met de gemiddelde concentratie gemeten door de ammoniaksensor om te bepalen of de ammoniaksensor een representatief beeld gaf van de gemiddelde concentratie over de meetperiode (zie ook 3.1).

Naast een vergelijking van de ammoniaksensoren met de nat-chemische methode werd op de meetdagen een indicatie meting gedaan van de ingaande en uitgaande ammoniak concentratie met gasdetectiebuisjes (Kitagawa, gas detectie buis 105SC en Kitagawa, gas detectie buis 105S). Deze moment opnames werden gebruikt om naast het gemeten gemiddelde over een langere periode ook tijdstip specifieke momentopname te kunnen vergelijken met de ammoniaksensoren om te verifiëren of deze (nog steeds) goed gekalibreerd waren (zie ook 3.1).

2.5.3 Stikstofoxiden en lachgas

Op meetdagen werd een indicatieve meting gedaan met gasdetectiebuisjes voor stikstofoxiden (Kitagawa, gasdetectiebuis 175U) in de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser. Dit type gasdetectiebuis reageert met zowel NO als NO₂ (de optelsom hiervan wordt NO_x genoemd) maar zal daarnaast ook reageren met andere stikstofoxiden zoals salpeterigzuur en organische nitrieten en nitraten (Melse et al., 2018c). Wanneer ook deze laatste stoffen worden meegenomen, wordt gesproken over "NO_y", wat de optelsom is van NO_x en deze overige stikstofoxiden. Dit type metingen betreft een momentopname en is niet gebaseerd op een voor het vaststellen van emissiefactoren erkende meetmethode en werd gebruikt als een indicatieve meting. De gasdetectie-buizen kunnen concentraties meten boven de 0,2 ppm. Wanneer in het rapport wordt gesproken over "NO_x productie" wordt hiermee hetgeen bedoeld dat door deze gasdetectiebuisjes wordt gedetecteerd, ook al betreft het in werkelijkheid mogelijk andere stikstofoxiden dan alleen NO_x en NO_y.

Lachgas (N₂O) kan door deze detectiebuisjes niet worden waargenomen. De ingaande en uitgaande lucht werd daarom op meetdagen ook in duplo bemonstert met injectiespuiten en binnen 24 uur geanalyseerd in het chemisch laboratorium met een gaschromatograaf (Trace 1300, Interscience; kolom: Hayesep Q (CO₂, CH₄ en N₂O); detector: FID (CH₄), ECD (N₂O) en HWD (CO₂)).

2.5.4 Ventilatie debiet

Het ventilatie debiet van de stallen werd gelogd aan de hand van het aanwezige klimaatsystemen in de stallen. Op locaties waar geen toegang is tot de data van het ventilatie debiet werd de frequentie van de ventilatie uit de frequentieregelaar gelogd om een indicatie te hebben van het verschil in vracht tijdens meetdagen (Tabel 7).

Tabel 7 Per locatie is aangegeven op welke wijze de ventilatie in de stal werd gelogd tijdens metingen aan de luchtwasser.

Locatie	Registratie ventilatie debiet
Locatie #1	Klimaatsysteem (km ³ /h)
Locatie #2	Frequentielogger ventilatie (Hz)
Locatie #3	Klimaatsysteem (km ³ /h)
Locatie #4	N.B. ¹
Locatie #5	Frequentielogger ventilatie (Hz)
Locatie #6	Frequentielogger ventilatie (Hz)

¹ventilatiegegevens van locatie #4 zijn niet opgeleverd door de veehouder en niet bekend.

2.5.5 Elektronisch logboek

Voor alle luchtwassers wordt een groot aantal gegevens over het systeem verplicht bijgehouden in het elektronisch logboek van het systeem. Voor alle luchtwassers wordt minimaal eens per uur de pH van het waswater, de EC van het waswater, de drukval over het pakket van de luchtwasser, de totale spuiwater productie en het energie verbruik (kWh) van de waswaterpomp vastgelegd. Bij alle locaties werd voor zover mogelijk deze data vlak voor en tijdens de metingen uitgelezen. Verder was voor alle

locaties bepaald aan welke zijde van de waswaterpomp de pH- en EC-meter zich bevonden (Tabel 8). Wanneer de recirculatiepomp vanwege een calamiteit mocht uitvallen, meten de pH- en EC-meter in een leiding met stilstaand water, hierdoor zijn de gemeten waarden tijdens stilstand van de circulatiepomp niet representatief voor de omstandigheden in het waterbassin en/of het pakkingsmateriaal.

Tabel 8 Per locatie is aangegeven aan welke zijde van de waswater waswaterpomp de pH en EC werd gemeten.

Locatie	Locatie van pH- en EC-meter
Locatie #1	Perszijde van de waswaterpomp
Locatie #2	Perszijde van de waswaterpomp
Locatie #3	Perszijde van de waswaterpomp
Locatie #4	Perszijde van de waswaterpomp
Locatie #5	Perszijde van de waswaterpomp
Locatie #6	Zuigzijde van de waswaterpomp

2.5.6 Overige metingen

Verder werden monsters van het waswater van de luchtwassers genomen op elke meetdag. Waar mogelijk, zowel waswater boven het pakket als waswater dat onder het pakket er weer uit druppelt. In deze monsters werd de pH en de EC bepaald op locatie met draagbare pH- en EC-meters en later nogmaals in het chemisch laboratorium. Daarnaast werden deze waarden afgelezen van het display van de regelkast van de luchtwasser.

De pH staat voor de 'zuurgraad', waarbij een waarde van ca. 6 - 8 wordt beschouwd als 'neutraal', een waarde lager dan ca. 6 als 'zuur', en een waarde hoger dan ca. 8 als 'basisch', ook wel 'alkalisch' genoemd. De EC staat voor de 'elektrische geleidbaarheid' (Electrical Conductivity), wat een maat is voor de totale hoeveelheid opgeloste zouten, waaronder NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- .

In het chemisch laboratorium werden aanvullend analyses gedaan van het gehalte NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- in het waswater.

Verder werd er een indicatieve meting gedaan van het ventilatiedebiet door de uitstroomsnelheid van de lucht te meten. Hiertoe is (om invloed van wind te voorkomen) op de druppelvanger een buis geplaatst (dezelfde waarin de ammoniaksensor in werd opgehangen) waarna de uitstroomsnelheid van de lucht in de buis werd bepaald. Door de luchtsnelheid vervolgens met het oppervlak van de uitstroomopening van de wasser te vermenigvuldigen volgde een indicatie van het ventilatiedebiet door de luchtwassers.

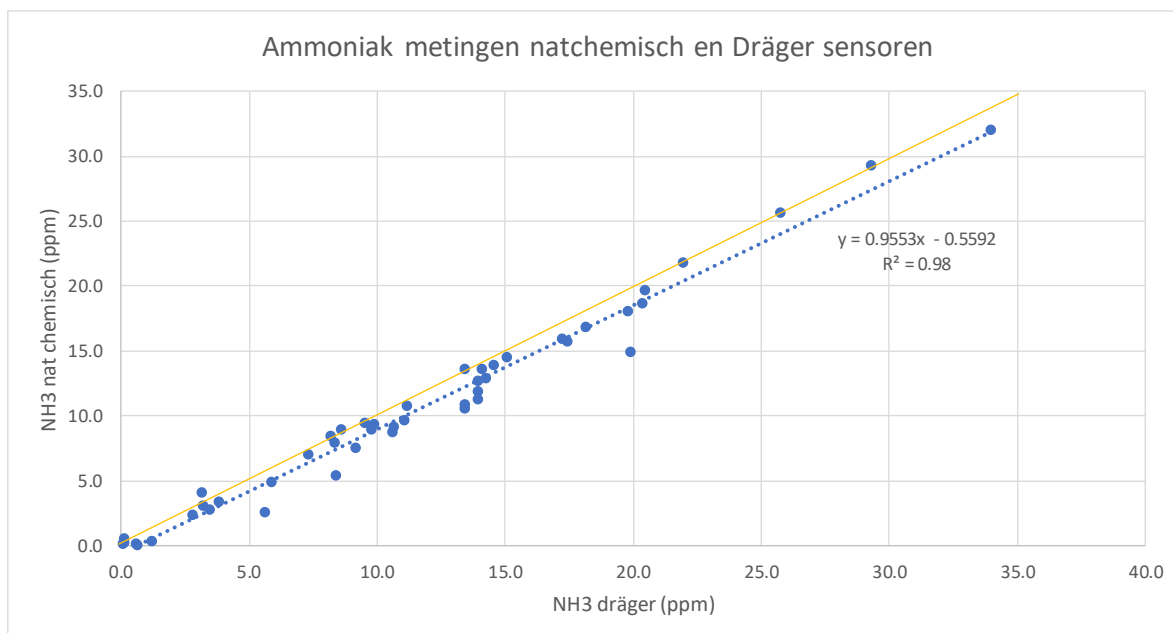
Ten slotte werd de data afkomstig uit het elektronische logboek (waarin minimaal elk uur de belangrijkste parameters worden geregistreerd) van de luchtwassers tijdens de meetperiodes beschikbaar gesteld door de veehouders en luchtwasser leveranciers.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de metingen bij alle luchtwassers per locatie worden beschreven. Tijdens het onderzoek zijn er veel verschillende soorten metingen en analyses uitgevoerd o.a. is de ingaande en uitgaande ammoniak concentratie met ammoniaksensoren gemeten, is de data opgehaald van het elektronisch logboek van de luchtwasser en zijn er geuranalyses uitgevoerd bij de luchtwasser. Ten behoeve van het bondig houden van het rapport zijn niet alle resultaten bij alle locaties weergegeven en worden alleen de gegevens die worden besproken weergegeven.

3.1 Vergelijking nat-chemische methode met de ammoniaksensoren

Op alle locaties was meerdere malen gedurende een langere periode (gemiddeld 1 week) de gemiddelde ingaande en uitgaande ammoniakconcentratie in de lucht bepaald met de nat-chemische methode. Daarnaast was tijdens de gehele meetsessie (zowel nul- als eindmeting) de ingaande en uitgaande ammoniakconcentratie gemeten met Dräger sensoren. Een vergelijking van de nat-chemische methode met het gemiddelde van de ammoniaksensoren over dezelfde meetperiode toont aan of de ammoniaksensoren goed gekalibreerd waren. In Figuur 2 is voor alle meetlocaties de met de nat-chemische methode gemeten ammoniak concentratie, voor zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom, geplot tegen de gemeten waarden met de Dräger sensoren voor dezelfde meetperiodes, luchtstroom en locatie. De gele volle lijn is representatief voor een helling van 1, alle punten die op deze lijn liggen zijn representatief voor een meting waarin met zowel de nat-chemische methode als de ammoniaksensoren dezelfde waarde was gemeten. De trendlijn getrokken door alle metingen met de ammoniaksensoren geeft een helling die kleiner is dan 1, dit duidt aan dat de concentraties gemeten door de sensoren voor de meeste metingen hoger zijn dan in de nat-chemisch referentie methode.



Figuur 2 Voor alle locaties werd zowel met de nat-chemische methode als met de ammoniaksensoren (Dräger) de ingaande en uitgaande NH_3 concentratie gemeten. Elke meting, van zowel de ingaande als uitgaande concentratie, van de nat-chemische methode is geplott tegen het gemeten gemiddelde met de ammoniaksensoren over dezelfde tijdsperiode. Punten op de gele lijn ($y = x$) zijn metingen waarop beide methodes dezelfde concentratie hebben gemeten.

De gemeten concentraties met de Dräger sensoren waren gemiddeld 1,1 ppm hoger dan de gemeten concentratie met de nat-chemische referentie methode met een standaard deviatie van 1.1 (Bijlage 1). Mogelijke verklaring is dat achtergrond ruis in de sensor de gemiddelde gemeten waarde over een langere meetperiode (zoals in dit onderzoek van meerdere weken) lichtelijk doet overschatten. Ondanks dat de metingen met de Dräger sensoren een gemiddeld hogere waarde lijken te meten dan met de nat-chemische methode, is de relatie tussen de twee meetmethodes lineair genoeg om de ammoniaksensoren te kunnen gebruiken om het rendement van de luchtwasser op een betrouwbare wijze vast te stellen. De verkregen data van de sensoren die in de rest van dit hoofdstuk worden gepresenteerd zijn daarom gecorrigeerd met de verkregen ijklijn om de resultaten beter te laten correleren met de referentie methode.

3.2 Locatie #1

3.2.1 Oriënterende metingen locatie #1

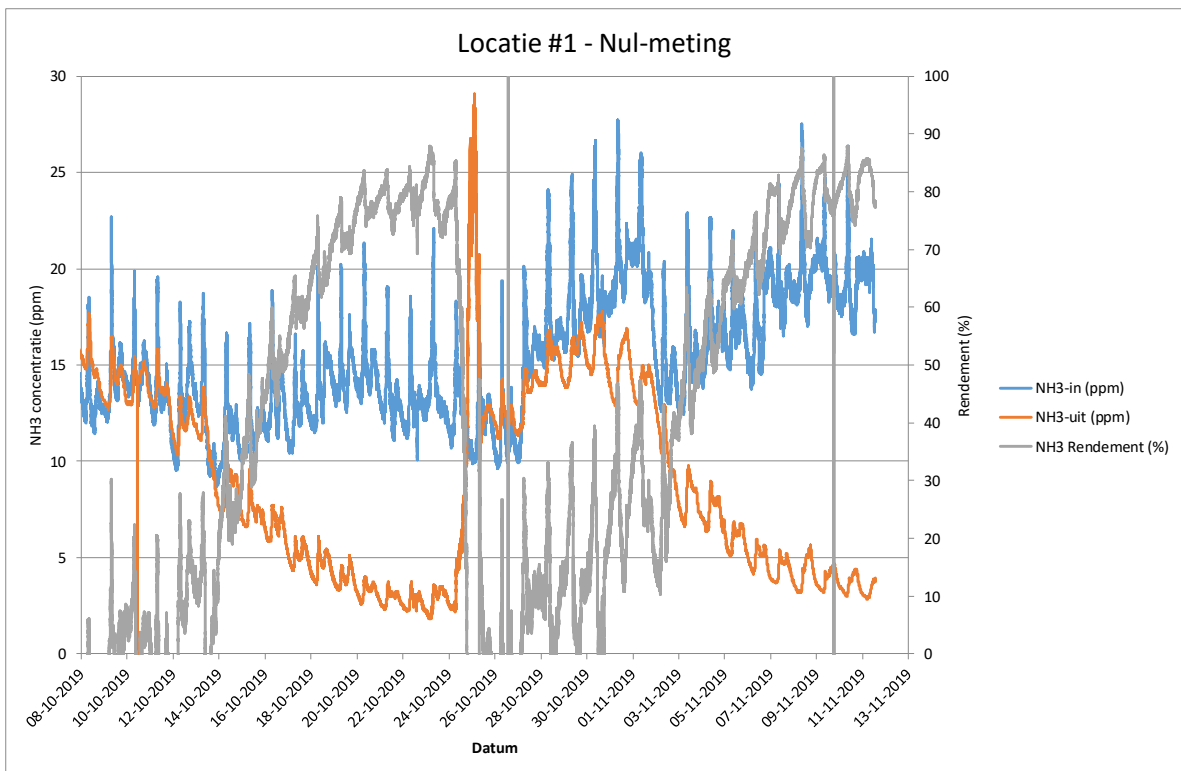
Locatie #1 was een biologische combi-wasser (BWL 2010.02) zonder pH-regeling. Tijdens het oriënterend meetbezoek op 20-05-2019 bleek er een ammoniakverwijderingsrendement van slechts 50%. Er werd geen NO_x of N_2O emissie geconstateerd. De gemeten pH was met een waarde van 6,9 binnen de voorgeschreven bandbreedte van biologische combi-wassers (tussen de 6,5 en 7,5). De EC was 18 mS/cm wat de maximale toegestane waarde is van een biologische combi-wassers. Uit nadere bestudering van de data in het elektronisch logboek bleek dat het waswater gedurende het jaar 2019 meerdere malen verzuurde. De luchtwasser werd dan handmatig één dag tot enkele dagen stilgezet om de pH weer te laten stijgen. Na het opnieuw opstarten was de pH dan gestegen tot ca 8,0. Op deze locatie was geen pH-regeling aanwezig waardoor de verzuring van het waswater niet automatisch werd gecorrigeerd.

3.2.2 Nulmeting locatie #1

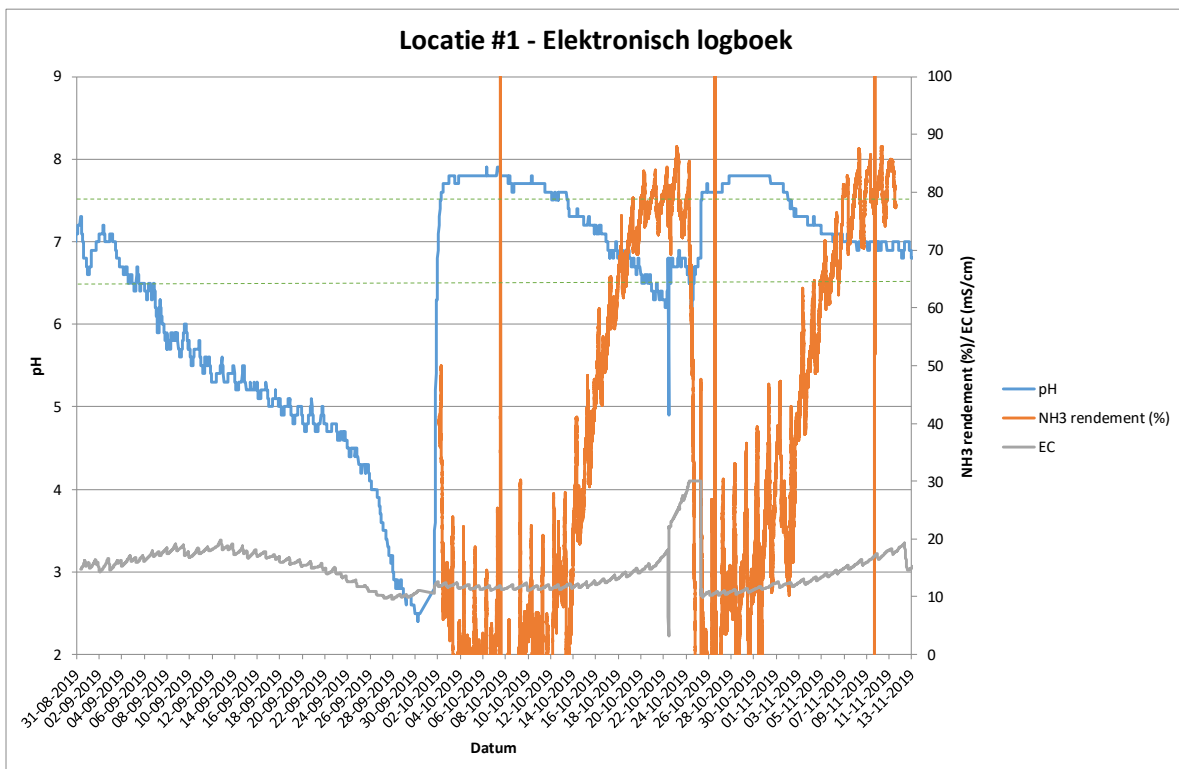
Kort voordat de nulmeting werd gestart had de luchtwasser gedurende een periode van anderhalve dag uitgestaan om een verzuring van het waswater te verhelpen. Een week nadat de luchtwasser weer

was ingeschakeld werd de nulmeting gestart, waarbij gedurende een periode van vijf weken is gemeten, van 8 oktober tot 11 november 2019 (Figuur 3). Na de start van de nulmeting op 08-10-2019 was de ingaande ammoniak concentratie tussen de 8 en 22 ppm met enkele uitschieters naar maximaal 27 ppm (Figuur 3). Deze uitschieters lijken het gevolg van een toename in activiteit van de dieren in de stal wanneer deze wakker werden in de ochtend. De uitgaande ammoniakconcentratie fluctueerde tussen de 2 ppm en 30 ppm. Het ammoniakverwijderingsrendement over de gehele meetperiode was gemiddeld 41%.

Uit de data van het elektronisch logboek bleek dat gedurende de maand september, vlak voordat de nulmeting plaats vond, het waswater verzuurde (Figuur 3). De verzuring van het waswater kwam op deze locatie vaker voor, zoals eerder werd vastgesteld tijdens het oriënterend bezoek. Tijdens de verzuring van het waswater steeg de EC tot de pH een waarde van ongeveer 5,5 had, dit vond plaats op 14-09-2019 (Figuur 4). De daling in pH tot de 5,5 was waarschijnlijk het gevolg van de nitrificatie van ammoniak, omdat er zowel een afname in pH als een toename in EC plaatsvindt. In het nitrificatie proces wordt er namelijk ammoniumnitriet en ammoniumnitraat gevormd waardoor de EC-waarde in het waswater toeneemt en er verzuring plaats vindt door het vrijkomen van H⁺ ionen. Echter vanaf 14-09-2019 blijft de pH dalen, maar was er ook een daling van de EC-waarde. Omdat de EC-waarde niet toenam is het aannemelijk dat het nitrificatie proces hier geremd werd en de productie van nitriet of nitraat hier niet meer verantwoordelijk is voor verder daling van de pH. Er vond in de maand september slechts eenmaal een productie van spuiwater plaats op 09-09-2019, maar er was wel een constante aanvoer van vers water (data niet weergegeven). Aannemend dat de meetwaarden van EC en spuiwater juist zijn, zou de verlaging van de EC in deze periode veroorzaakt kunnen zijn door vervluchtiging van salpeterigzuur (HNO₂) (zie Melse et al., 2018c); er zijn in deze periode echter geen metingen beschikbaar van de uitgaande lucht om dit te bevestigen. De verlaging van de pH in deze periode, ondanks een afgenomen nitrificatie, zou het gevolg geweest kunnen zijn van de opname van organische zuren uit de ingaande luchtstroom. Uit eerdere studies is bekend dat in de stallucht bij varkenshouderijen verschillende organische zuren aanwezig kunnen zijn, in concentraties variërend van enkele µg/m³ tot mg/m³ (Ni et al., 2012). Het is mogelijk dat de ophoping van deze organische zuren in het waswater, door de lage productie van spuiwater, de pH deed dalen terwijl het proces van nitrificatie stil kwam te liggen.



Figuur 3 Locatie #1 nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH3-in) en uitgaande (NH3-uit) ammoniakconcentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 8 oktober tot 11 november 2019.



Figuur 4 Locatie #1 elektronisch logboek: De pH en EC van het waswater in de luchtwasser zoals geregistreerd in het elektronisch logboek. NH3 rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren. De gestippelde lijnen zijn de maximale (7,5) en minimale (6,5) pH-waarden die voorgeschreven staan voor een goed werkende biologische combi-wasser.

Als reactie op de verzuring van het waswater was de luchtwasser, vlak voor de nulmeting begon, eerst op 30-09-2019 anderhalve dag stilgezet om de biomassa op het pakket uit te laten drogen en af te laten sterven. Na het opstarten van de luchtwasser op 01-10-2019 is er een scherpe toename in de pH te observeren tot rond de 7,8 (Figuur 4). Door de sterfte van de biomassa op het pakket vond er geen tot weinig nitrificatie van het ammonium in het waswater plaats, waardoor de opname van ammoniak groter was dan de omzetting. De scherpe stijging in de pH was waarschijnlijk het gevolg van de vorming van de NH_4^+ ionen tot aan het moment dat de opname van ammoniak gelijk was aan de nitrificatie door de biomassa in het waswater.

Na enkele dagen waarin het waswater een pH van 7,8 had is er vanaf 11-10-2019 een afname van de pH en tegelijkertijd een toename in het ammoniakverwijderingsrendement. Het is aannemelijk dat het herstel van de ammoniakverwijdering na het begin van de nulmeting in de periode van 13-10-2019 tot 19-10-2019 het gevolg was van groei van de biomassa in het waswater en op het pakket. Door de toename in biomassa nam de nitrificatie in het waswater toe wat als gevolg had dat er een daling in de pH plaats vond waardoor er meer ammoniak oploste in het waswater. Uiteindelijk stabiliseerde het systeem met een ammoniakverwijderingsrendement rond de 85% op 23-10-2019.

Er lijkt vanaf 24-10-2019 een vergelijkbaar patroon in het ammoniakverwijderingsrendement in combinatie met een stijging in pH herkenbaar zoals ook het geval was na het uitzetten van de luchtwasser op 30-09-2019, voordat de nulmeting werd gestart. Op 24-10-2019 was de waswaterpomp van het waswater uitgevallen door een storing, waarna de luchtwasser gedurende 24 uur niet aan stond. Op 25-10-2019 is er direct na het herstarten van de luchtwasser een scherpe toename in de pH van het waswater te zien. Vervolgens was er gedurende enkele dagen een laag ammoniakverwijderingsrendement observeerbaar bij een pH van boven de 7,5. Na enkele dagen begint de pH te dalen en nam het ammoniakverwijderingsrendement gestaag toe, waarna het rendement stabiliseert rond de 85% op 09-11-2019. Het is aannemelijk dat gedurende het stilstaan van het systeem tussen 24-10-2019 en 25-10-2019 de biomassa op het pakket en in het waswater gedeeltelijk afstierf, net zoals het geval was als tijdens het uitzetten van het systeem op 30-09-2019. Ook hier is het aannemelijk dat er direct na het opstarten van de luchtwasser op 25-10-2019 er minder nitrificatie plaats vond dan voor het stilvallen van het systeem. Hierdoor nam de pH eerst toe en nadat de biomassa weer toenam, en dus ook de nitrificatie, werd er weer ammoniak verwijderd door de luchtwasser.

Er was tijdens de nulmeting dus tweemaal een periode waarin het ammoniakverwijderingsrendement beduidend lager was dan de beoogde 85% verwijdering: 05-10-2019 tot 14-10-2019 en 25-10-2019 tot 01-11-2019. Bij beide periodes viel dit samen met een pH-waarde in het waswater die hoger was dan de 7,5 die als maximum is vastgelegd Figuur 4. Dat de ammoniakverwijdering lager was bij een pH in het waswater boven de 7,5 komt overeen met bevindingen uit eerder onderzoek waar deze observatie ook werd gedaan bij meerdere biologische combi-wassers (Melse et al., 2018b en 2018c). Uit het elektronisch logboek van de luchtwasser bleek dat de pH in de luchtwasser structureel buiten de toegestane bandbreedte van 6,5 tot 7,5 zit. De luchtwasser op deze locatie had over de periode van 1 januari 2019 tot 25 november 2019 slecht 53% van de tijd een pH-waarde binnen de 6,5 en 7,5. Bij 34% van de tijd was de pH onder de 6,5 en 14% van de tijd was de pH boven de 7,5.

Er was tijdens de nulmeting tweemaal een geurmeting gedaan van de ingaande en uitgaande geur concentraties (Tabel 9). Op 29-10-2020 was het geurverwijderingsrendement slechts 9,0%, wat samenvalt met een laag ammoniakverwijderingsrendement welke tijdens het bemonsteren slecht 6,5% was. Tijdens het nemen van de geurmonsters was volgens het elektronisch logboek de pH gemiddeld 0,3 hoger dan de maximale toegestane 7,5. Deze geurmonsters waren genomen meteen na de herstart van de luchtwasser (welke door een storing met de waswaterpomp stil stond), waardoor er tijdens het nemen van de geurmonsters geen sprake was van een representatieve situatie. Dat zowel de geur- als ammoniakverwijdering lager waren direct na de storing met de waswater pomp is een indicatie dat het stilzetten van de luchtwasser mogelijk een negatief effect had op de geurverwijdering. Tijdens de geurmeting op 04-11-2019 was zowel de geurverwijdering als de ammoniakverwijdering hoger met respectievelijk 43% en 54%. Tijdens deze meting was de pH binnen de toegestane bandbreedte, maar de EC zat gemiddeld 0,4 mS/cm hoger dan de maximale toegestane waarde van 18 mS/cm.

Er werd tijdens de twee meetdagen geen NO_x emissie geconstateerd maar wel een lichte N₂O productie van onder de 5% (Bijlage 2). Dit was binnen de verwachting voor een biologische wasser (Melse et al., 2018c).

Tabel 9 Locatie #1 geurmetingen nulmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waardes weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waardes over deze periode. De pH, EC en het ventilatiedebiet zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en de NH₃ concentraties van de metingen met de ammoniaksensoren.

Geurmetingen nulmeting locatie #1			
Datum		29-10-2019	4-11-2019
pH		7,8	7,2
EC	mS/cm	17	18
Ventilatiedebiet	m ³ /h	43.178	54.350
Contacttijd pakket	s	5,9	4,7
Geur in	OU _E /m ³	1.452	1.364
Geur uit	OU _E /m ³	1.321	781
Geurrendement	%	9,0	43
Geurvracht in	OU _E /s	17.415	20.593
Geurvracht uit	OU _E /s	15.844	11.791
NH ₃ conc in	ppm	15,6	15,5
NH ₃ conc uit	ppm	14,6	7,2
NH ₃ rendement	%	6,5	54
NH ₃ vracht in	g/s	130	162
NH ₃ vracht uit	g/s	122	76

3.2.3 Verbetering locatie #1

Tijdens de nulmeting was de ammoniakverwijdering lager dan de gehanteerde waarde van 85% volgens de Rav, met gemiddeld slechts 41%. Het lage ammoniakverwijderingsrendement lijkt het gevolg te zijn van een te hoge pH na het uitzetten van het systeem (door de veehouder gedaan om verzuring te voorkomen) en het uitvallen van de waswaterpomp (als gevolg van een storing). Uit de metingen komt naar voren dat de luchtwasser wel de gehanteerde 85% ammoniak kan afvangen wanneer de pH onder de 7,5 is. Van januari 2019 tot eind november 2019 was echter slechts gedurende 53% van de tijd de pH tussen de voorgeschreven 6,5 en 7,5. Als gevolg van de structurele verzuring van het waswater, in combinatie met de gemeten verlaagde ammoniakverwijderingsrendement bij een te hoge pH, was er besloten om een pH-regeling op de luchtwasser te plaatsen. Met een pH-regeling kan verzuring van het waswater worden voorkomen door dosering van natronloog en wanneer er te weinig nitrificatie optreedt kan tijdelijk zuur worden gedoseerd om ammoniak af te vangen. Hierdoor zal ammoniakverwijdering naar verwachting altijd het beoogde rendement behalen. Hierbij moet wel opgelet worden dat de dosering van zuur alleen incidenteel plaatsvindt en dat er relatief kleine hoeveelheden worden gebruikt op jaarbasis. Bij continue dosering van zuur zal het werkingsprincipe van de luchtwasser namelijk veranderen in dat van een chemische luchtwasser in plaats van een biologische luchtwasser. Op dat moment voldoet de luchtwasser niet meer aan de vergunning en is de kans groot dat de geurverwijdering sterk afneemt. Het zuurverbruik dient dus gemonitord te worden.

Het gemiddelde van de geurmetingen was ver onder de gehanteerde waardes volgens de RGV met slechts 26% verwijdering. Er is mogelijk een relatie tussen de verlaagde geur- en ammoniakverwijdering bij de eerste meting, aangezien deze direct na het stilvallen van de waswaterpomp werd uitgevoerd. Het is aannemelijk dat de microbiologie die geurcomponenten omzette afstierf of minder microbiologische activiteit vertoonde door het stilvallen van de luchtwasser. Bij de tweede geurmeting was de verwijdering van geur 43%, deze meting vond plaats terwijl het ammoniakrendement nog aan het herstellen was na het eerder stilvallen van de waswaterpomp als

gevolg van een storing. Mogelijk moest ook de geurverwijdering nog herstellen als gevolg van het stilvallen van de waswaterpomp. Bij beide geurmetingen lijkt de verwijdering lichtelijk te correleren met de ammoniakverwijdering; mogelijk dat het stabiliseren van de pH-waarde in het waswater daarom ook een positief effect zal hebben op de geurverwijdering.

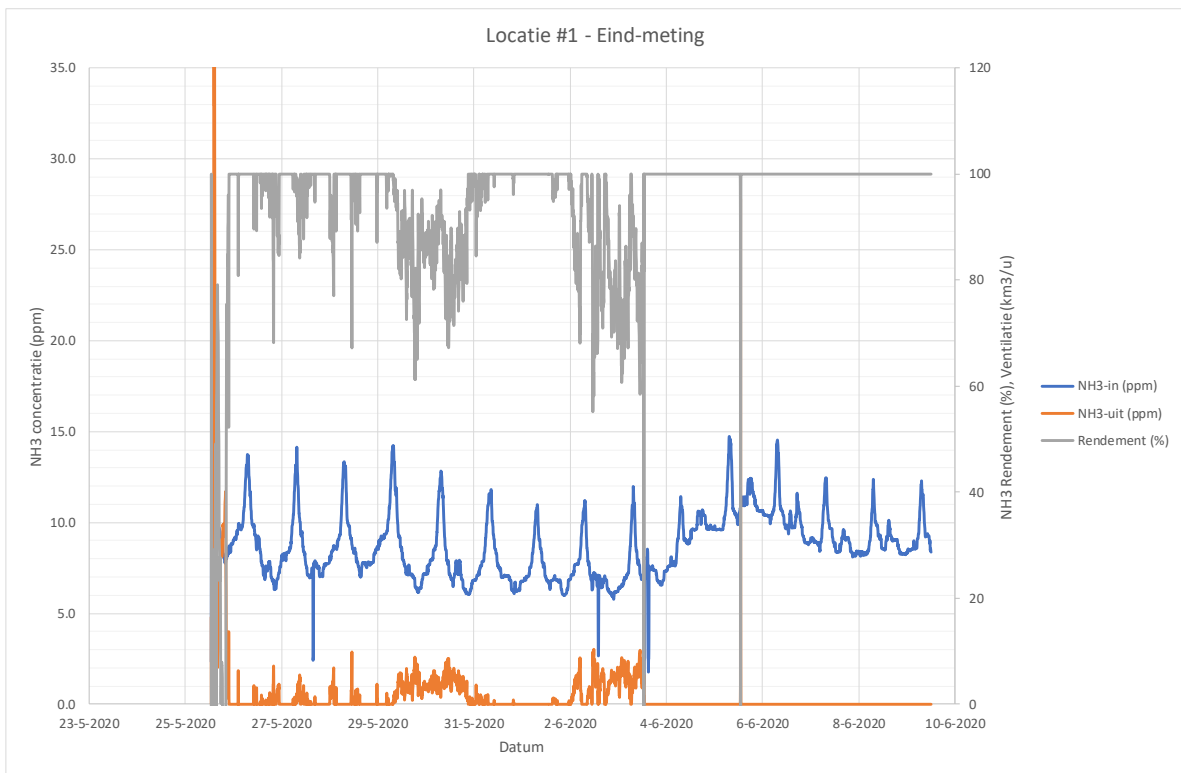
De nieuwe pH-regeling werd zo ingesteld dat bij een pH-waarde van lager dan 6,7 er natronloog werd gedoseerd en bij een pH-waarde boven de 6,9 er met zwavelzuur werd gedoseerd. De pH meter was al geplaatst parallel aan de perszijde van de waswaterpomp en de pH dosering werd aangesloten na dit meetpunt aan de perszijde, dus tussen de pH meter en de sproeiers. Deze plaatsing was gedaan omdat de pH-waarde van het waswater boven en onder het pakket drastisch kan verschillen (Melse & Ogink., 2019). Door de pH meter tussen de pomp en de dosering te plaatsen en de dosering van zuur en loog na de pH meter te laten plaats vinden, werd er voorkomen dat de pH van het waswater dat over het pakket werd gespreid een andere pH-waarde heeft dan werd geregistreerd door de pH meter. Na het plaatsen van de pH-regeling heeft het systeem enkele weken gedraaid voordat er de nieuwe metingen werden opgestart (eindmeting) om de ammoniak- en geurverwijderingsrendementen opnieuw te bepalen.

3.2.4 Eindmeting locatie #1

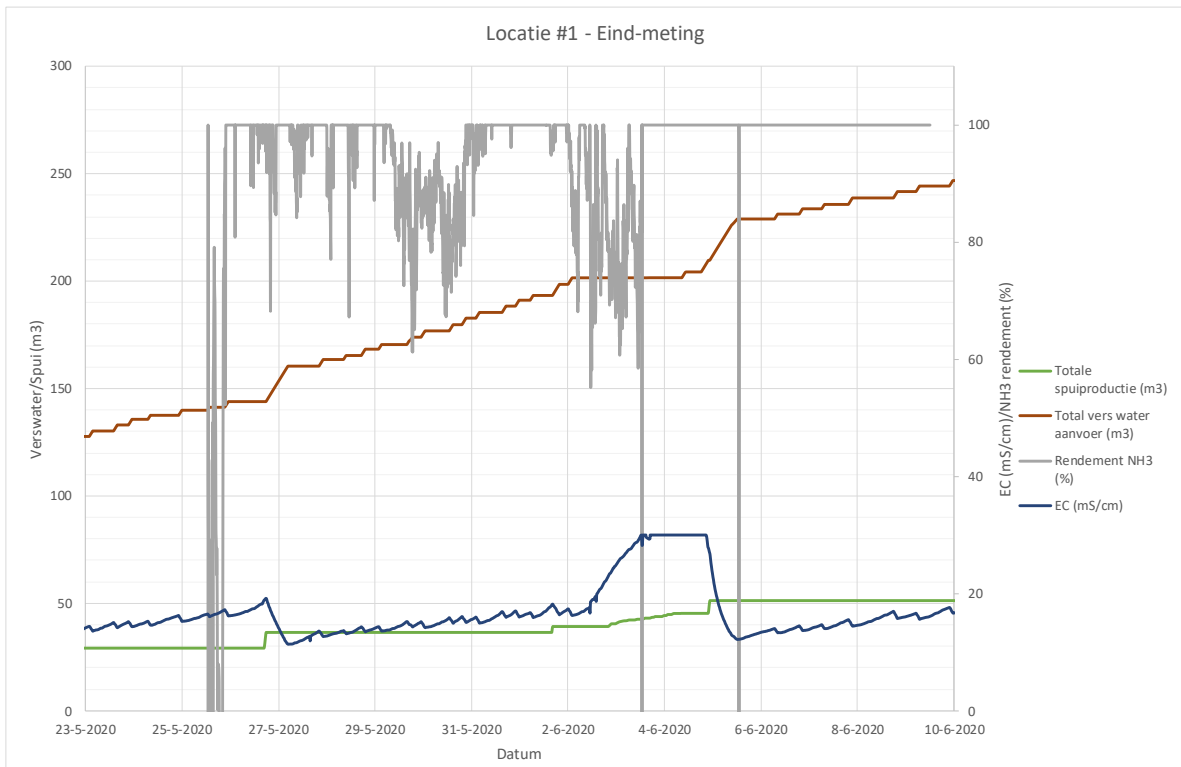
Enkele weken nadat de pH-regeling was geplaatst werd er nogmaals volgens dezelfde methode als tijdens de nulmeting gemeten. Er werd gedurende een periode van 2 weken gemeten van 26 mei tot 9 juni 2020. Gedurende de eindmeting was de ingaande ammoniak concentratie tussen de 6 en 12 ppm met uitschieters in de ochtenden tot 14 ppm die waarschijnlijk het gevolg waren van activiteit van de dieren in de ochtenden (Figuur 5). Uitgaande ammoniak concentratie was tijdens de eindmeting tussen de 0 en 3 ppm. De pH was tijdens de eindmeting tussen de 6,6 en 7,2 (data niet weergegeven). Het ammoniakverwijderingsrendement was gedurende de eindmeting tussen de 60-100%. Gemiddeld was het ammoniakverwijderingsrendement over de hele meetperiode 97%.

Tijdens de eindmeting waren er verschillende momenten waarop het ammoniakrendement afnam, de afnames vanaf het begin van de eindmeting tot 31-05-2020 lijken geen verband te vertonen met productie van spuiwater en vers water verbruik, EC-waarde, pH, ammoniakvracht, temperatuur of druk over het pakket (data niet bijgevoegd). Er was geen duidelijke verklaring gevonden voor het verlaagde rendement tijdens deze periode.

De tijdelijke afname van het ammoniakverwijderingsrendement van 02-06-2020 tot 04-06-2020 lijkt samen te vallen met een toename in de EC boven de toegestane 18 mS/cm en een afvlakking in de toevoer van vers water (Figuur 6). Tijdens deze periode vond er waarschijnlijk remming van de nitrificatie plaats door de ophoping van ammonium, nitriet en nitraat. Hierdoor kon er minder ammoniak oplossen in het waswater en verlaat een groter gedeelte van de ingaande ammoniak de luchtwasser zonder dat deze werd verwijderd in de wasstap. Overleg met de veehouder nadat de eindmeting was afgerond deed vermoeden dat zeer waarschijnlijk de productie van spuiwater tijdens deze periode geblokkeerd was doordat de spuiopslag volledig vol zat. Dit probleem werd pas na enkele dagen door de veehouder verholpen.



Figuur 5 Locatie #1 eindmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren samen met het berekende ammoniak verwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 26 mei tot 9 juni 2020.



Figuur 6 Locatie #1 eindmeting: Het totale waterverbruik, de totale spuiwater productie en EC-waarde in het waswater zoals vastgelegd in het elektronisch logboek. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren.

Tijdens de eindmeting zijn er drie geurmetingen uitgevoerd. Het geurverwijderingsrendement op 25-05-2020 en 02-06-2020 was op beide dagen 86% (Tabel 10). Op 09-06-2020 werd er een geurverwijdering van 61% gemeten. Tijdens alle drie de geurmetingen was zowel de pH als de EC in de luchtwasser binnen de 6,5 en 7,5. Ondanks de verhoogde contacttijd in het pakket op 09-06-2020 ten opzichte van 02-06-2020 is het geurverwijderingsrendement lager. Een mogelijke verklaring voor de verlaagde geurverwijdering op 09-06-2020 ten opzichte van 25-05-2020 en 02-06-2020 is de verhoogde totale geurvracht op 09-06-2020. Mogelijke overbelasting van de luchtwasser kon tot gevolg hebben gehad dat er een lager rendement werd behaald. Dat de absolute waarde voor de verwijderde geurvracht op 09-06-2020 vergelijkbaar was met de geurvracht op 02-06-2020 ondersteunt deze mogelijke verklaring, maar dit kon niet met zekerheid worden vastgesteld.

Tabel 10 Locatie #1 geurmetingen eindmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waarden weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waarden over deze periode. De pH, EC en het ventilatiedebiet zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en de NH₃ concentraties van de metingen met de ammoniaksensoren.

		Geurmetingen eindmeting locatie #1		
Datum		25-5-2020	2-6-2020	9-6-2020
pH		6,7	6,7	6,6
EC	mS/cm	16	18	16
Ventilatie debiet	m ³ /h	79.700	112.089	77.211
Contacttijd pakket	s	3,2	2,3	3,3
Geur in	OU _E /m ³	499	1.057	1.890
Geur uit	OU _E /m ³	72	149	737
Geurrendement	%	86	86	61
Geurvracht in	OU _E /s	11.036	32.895	40.536
Geurvracht uit	OU _E /s	1.594	4.624	15.796
NH ₃ conc in	ppm	8,0 ¹	6,1	7,7
NH ₃ conc uit	ppm	<0,3 ¹	1,2	<0,5
NH ₃ rendement	%	100	80	100
NH ₃ vracht in	g/s	123	131	116
NH ₃ vracht uit	g/s	±0	27	±0

*NH₃ data is van de indicatie metingen met Kitagawa gasdetectiebuizen, door uitvallen van de ammoniaksensoren.

De NO_x emissie was op 25-02-2020 en 02-06-2020 respectievelijk 1,5 ppm en 0,5 ppm. Op 09-06-2020 was er geen NO_x emissie. De N₂O productie was op alle dagen rond de 0,2 ppm wat ongeveer gelijk is aan 5% van de totale ingaande ammoniakconcentratie (Bijlage 2). Er was geen duidelijke indicatie waardoor er verschillen zijn in NO_x emissie tussen de verschillende meetdagen.

3.2.5 Eindbeoordeling Locatie #1

De luchtwasser op locatie #1 had gedurende de nulmeting gemiddeld een lage ammoniak- en geurverwijdering die niet voldeden aan de gehanteerde eisen van respectievelijk 85% en 45%. Tijdens de nulmeting waren er duidelijke periodes waarin de luchtwasser slecht functioneerde in ammoniakverwijdering dan in de rest van de nulmeting. Deze periodes traden op nadat de luchtwasser gedurende een korte periode van ongeveer een dag uitgeschakeld was geweest. Vervolgens was er na het opstarten van de luchtwasser een directe stijging van de pH naar boven de 7,5 waarneembaar. Gedurende enkele dagen was er dan bijna geen ammoniakverwijdering totdat de pH weer daalde tot onder de 7,5 en de ammoniakverwijdering geleidelijk aan weer toenam. Deze observatie kwam overeen met de verwachting dat er weinig ammoniak wordt afgevangen in biologische luchtwasser zolang de pH boven de 7,5 is (Melse et al., 2018c).

In het kader van het verbeteringsprogramma was er een pH-regeling met zwavelzuur en natronloog geplaatst om te voorkomen dat de pH (veel) te hoge of lage waarden kon aannemen. Tijdens de eindmeting, die uitgevoerd was na installatie van de pH-regeling, had de luchtwasser 94% van de tijd tijdens de meetperiode een ammoniakverwijderingsrendement boven de 85%. Er was echter een korte periode van acht dagen waarin de luchtwasser duidelijk minder ammoniak afving en soms zelfs onder

de 85% verwijdering uitkwam. Dit bleek (gedeeltelijk) samen te hangen met een tijdelijke blokkade van spuiwaterafvoer waardoor de EC opliep tot ca. 30 mS/cm. Hieruit bleek nogmaals dat de verwijdering van ammoniak niet alleen negatief beïnvloed kan worden door een pH-waarde buiten de bandbreedte, maar ook een verhoogde EC-waarde door ophoping van ammoniak en nitriet in het waswater (Melse en Mol, 2004 en Melse en Ploegart, 2011). Al met al was de ammoniakverwijdering verbeterd tijdens de eindmeting ten opzichte van de nulmeting

De gemiddelde geurverwijdering was tijdens de eindmeting beter met een gemiddeld rendement van 80% ten opzichte van de 26% tijdens de nulmeting. Het is aannemelijk dat het stilzetten van de luchtwasser tijdens de nulmeting een negatief effect heeft gehad op de geurverwijdering. Het is namelijk mogelijk dat de microbiologie die verantwoordelijk is voor het omzetten van geurcomponenten negatief beïnvloed werd door het uitschakelen van de luchtwasser. Tijdens de eindmeting was er geen sprake van stilzetten van de luchtwasser wat mogelijk de hogere geurverwijdering verklaart. Verder was de ingaande geurconcentratie van de eerste twee geurmetingen tijdens de eindmeting lager dan de ingaande concentratie tijdens de nulmeting. Dit zou mogelijk ook van invloed kunnen zijn op het hoger behaalde geurrendement.

De NO_x emissie was hoger tijdens de eindmeting dan tijdens de nulmeting. Door het lage aantal metingen is hier geen duidelijke verklaring voor gevonden.

Het verbeterprogramma met de plaatsing van een pH-regeling had op locatie #1 een positief effect op de ammoniakverwijdering. Mogelijk dat er ook een positief effect was op de geurverwijdering, maar dit kan niet met zekerheid worden vastgesteld. Er was mogelijk een verlaagde geurverwijdering tijdens de nulmeting doordat de luchtwassers tweemaal uit stond tijdens de nulmeting waardoor de geurverwijdering in deze periode niet representatief was.

3.3 Locatie #2

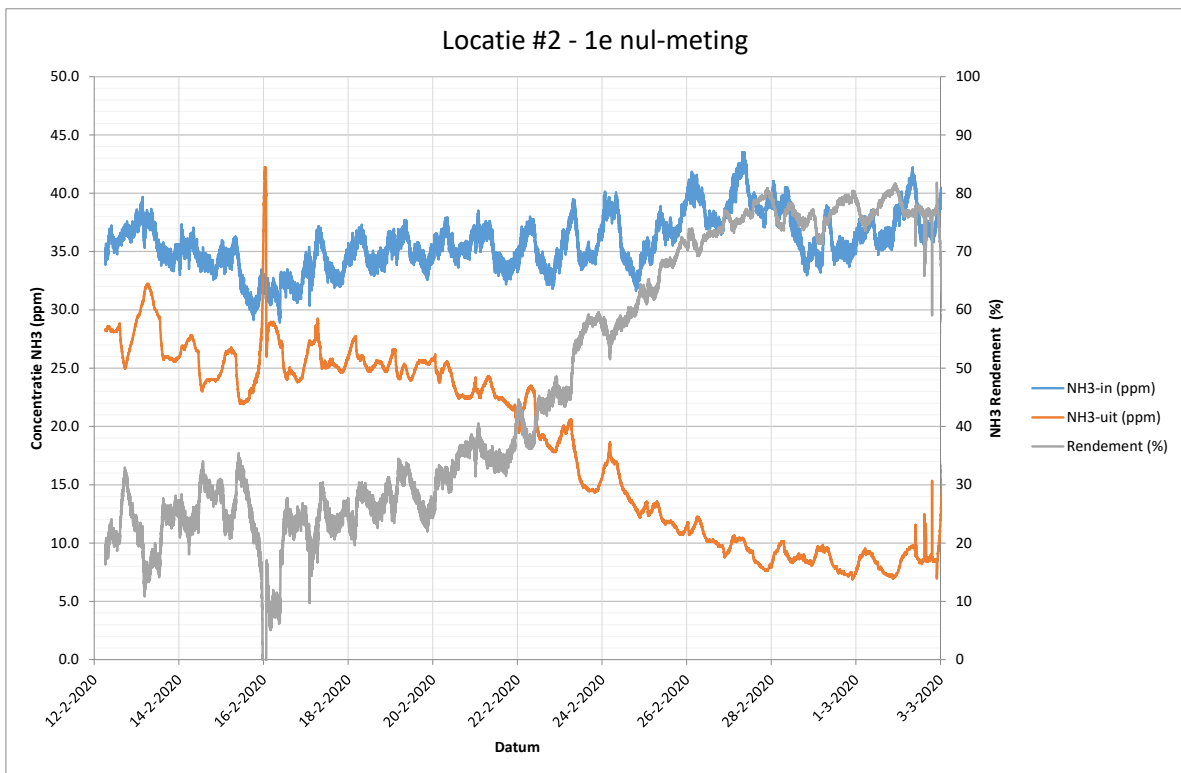
3.3.1 Oriënterende meting locatie #2

Op locatie #2 had de biologische combi-wasser (BWL 2009.12) tijdens het oriënterend meetbezoek op 23-05-2019 een ammoniakverwijderingsrendement van 36%. De pH in het waswater was 7,3 maar de pH meter van de luchtwasser mat een waarde van 7,7, dat 0,4 hoger was dan de daadwerkelijke waarde, de EC-waarde was rond de 30 mS/cm. De concentratie stikstof in het waswater bleek bij analyse in het lab te hoog met 6 g N/L. Verder bleek bij het bezoek dat de helft van de sproeiers bij de voorsproeiers defect waren en niet sproeide. Door de te hoge waarde van de EC gekoppeld met de hoge waarde aan stikstof in het waswater leek dit systeem niet goed afgesteld in de productie van spuiwater. Bij navraag bij de veehouder bleek deze afgeknepen. De voorsproeiers en pH-meter werden voor de nulmeting nog gerepareerd echter de instellingen voor de productie van spuiwater werden niet veranderd.

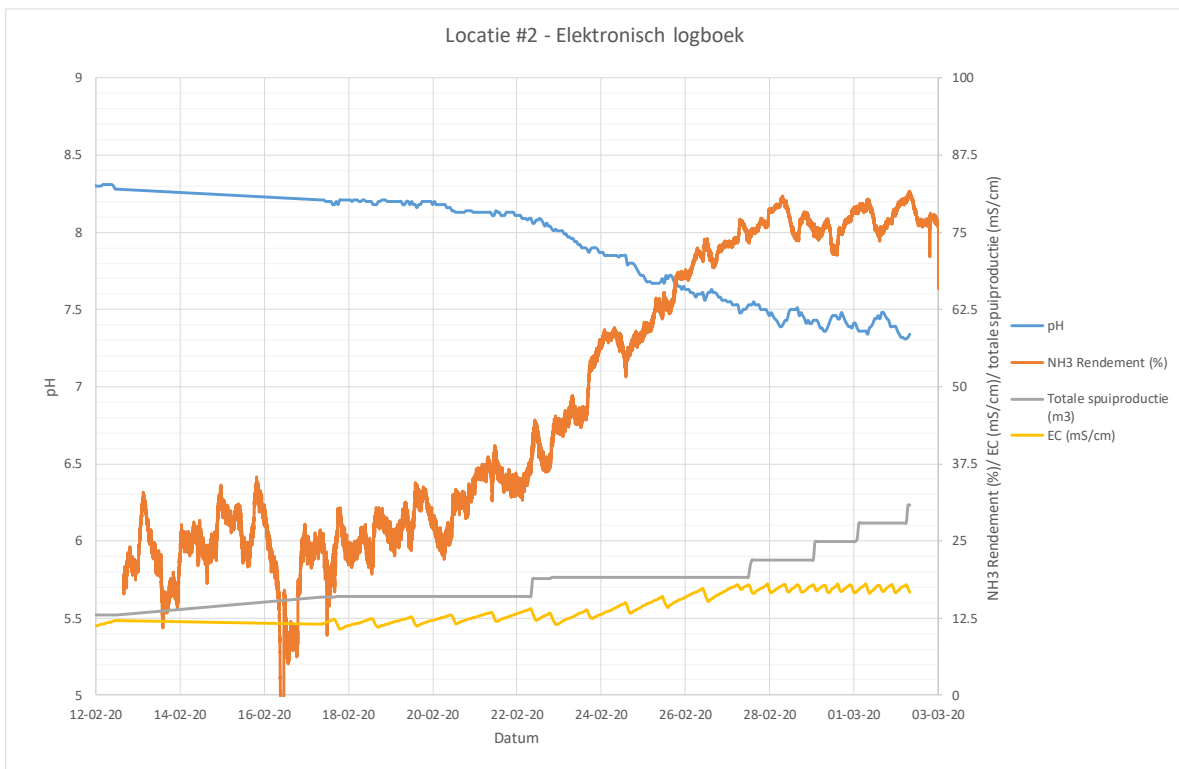
3.3.2 1^e Nulmeting Locatie #2

De nulmeting op deze locatie was de eerste keer niet volledig afgerond als gevolg van de nationale lock-down door verspreiding van het Covid19 virus. Hierdoor is de nulmeting opgesplitst in twee nulmetingen verspreid over meerdere maanden.

In Figuur 7 wordt de ingaande en uitgaande concentratie van ammoniak voor de 1^e nulmeting weergegeven, gemeten over een periode van 3 weken van 12-02-2020 tot 03-03-2020. De 2^e nulmeting vond plaats van 11-05-2020 tot 26-05-2020 en is weergegeven Figuur 8.



Figuur 7 Locatie #2 1^e nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 12 februari tot 3 maart 2020.



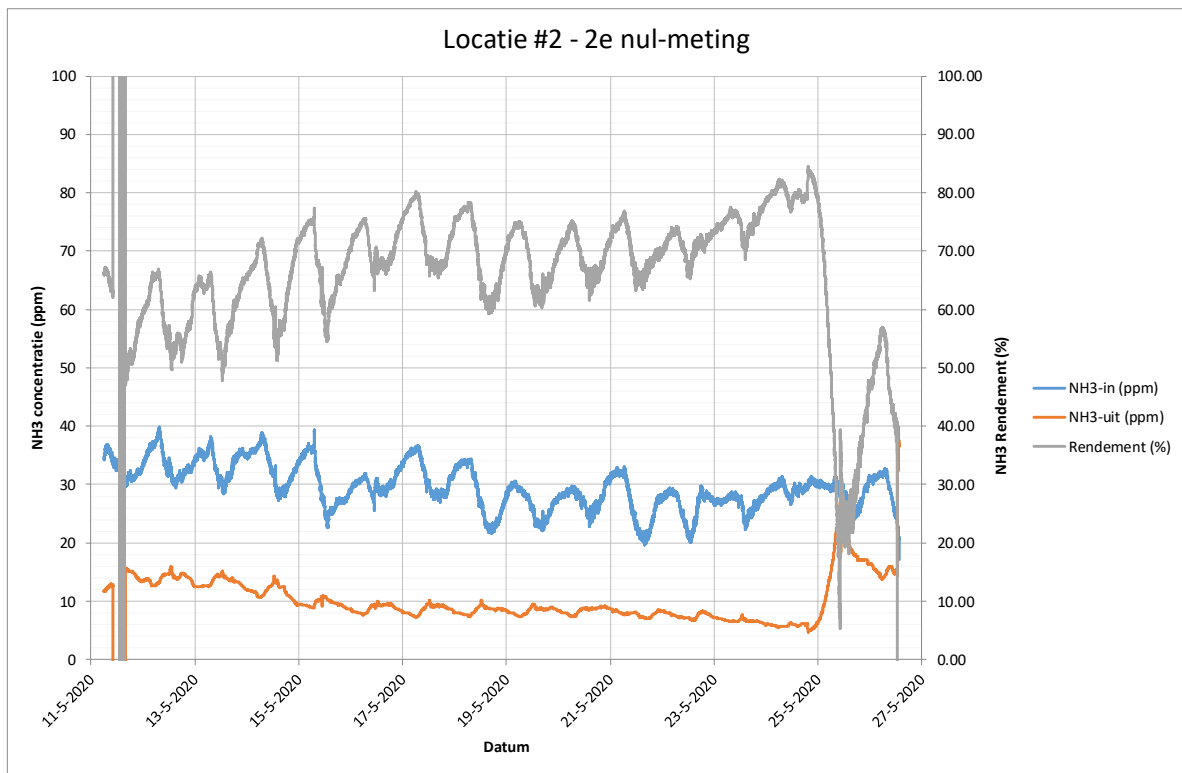
Figuur 8 Locatie #2 1^e nulmeting elektronisch logboek: De pH en EC van het waswater samen met de totale spuiwater productie in de luchtwasser zoals geregistreerd in het elektronisch logboek. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren.

Tijdens de eerste weken van de 1^e nulmeting was het ammoniakverwijderingsrendement slechts 20 tot 30% (Figuur 7) en heeft de pH een waarde tussen de 7,3 en 8,4. Vanaf 23-02-2020 is er echter een toename in het ammoniakverwijderingsrendement tot een maximum rond de 80%. De toename in het rendement was het gevolg van de nitrificatie die weer op gang kwam nadat de pH-waarde begon te zakken (Figuur 8). De luchtwasser produceerde geen tot weinig spuiwater terwijl de pH te hoog was, aangezien zonder nitrificatie de EC-waarde niet het niveau bereikt waarop er gespuid werd. Op 22-02-2020 was er een duidelijke toename in spuiwater wat een positief effect leek te hebben gehad op de nitrificatie in de luchtwasser. De ammoniakverwijdering neemt namelijk toe en de pH in het waswater daalt naar onder de 7,5. Vanaf 27-02-2020 is de pH onder de 7,5 gedaald en stabiliseerde het ammoniakverwijderingsrendement rond de 80%. De gemiddelde ammoniak verwijdering gedurende de hele meetperiode was 48%.

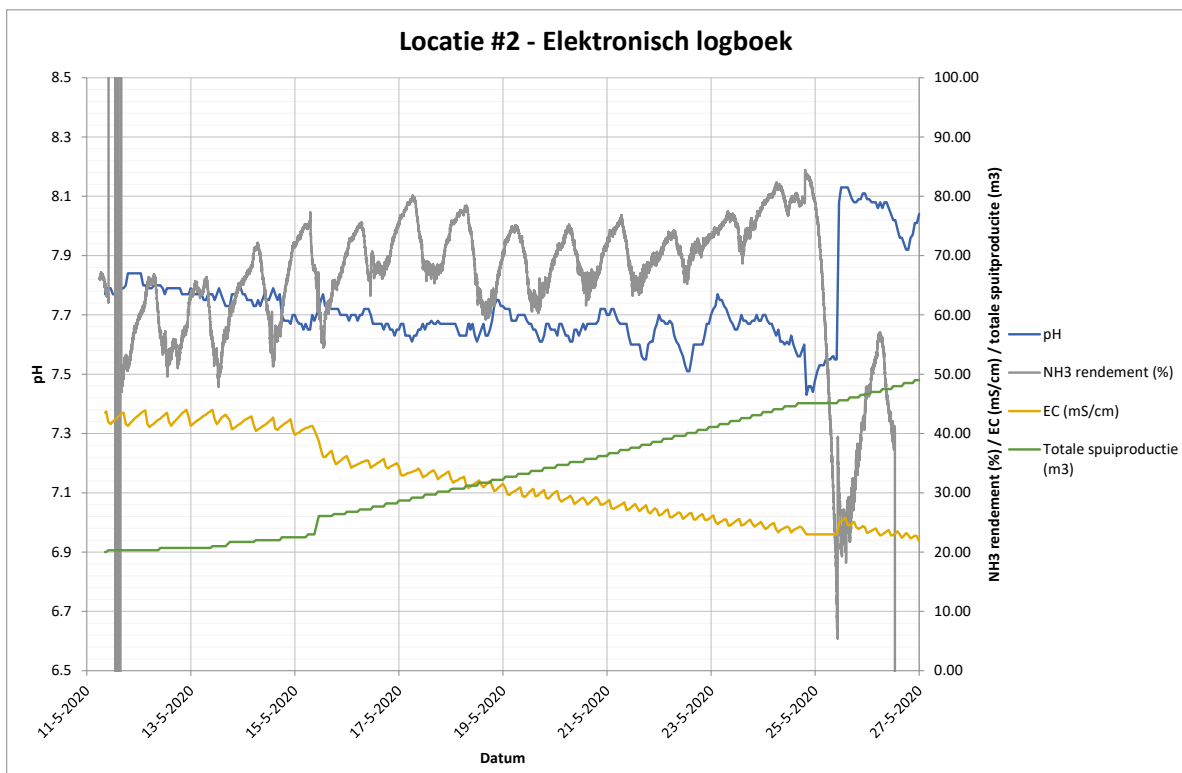
3.3.3 2^e Nulmeting locatie #2

Het ammoniakverwijderingsrendement tijdens de 2^e nulmeting nam toe van ongeveer 60% in het begin van de meetperiode naar rond de 80% op 25-05-2020 (Figuur 9). Dit was het gevolg van de daling in de EC-waarde van 40 mS/cm tot aan 20 mS/cm en een daling in de pH van 7,8 naar 7,5 (Figuur 10). Op 15-05-2020 vond er een verhoogde spuiwater productie plaats in vergelijking met de geleidelijke productie van spuiwater over de rest van de meetperiode, er was geen duidelijke oorzaak gevonden voor deze plotselinge verhoogde productie. Echter na deze tijdelijk verhoogde spuiwater productie was de uitgaande ammoniakconcentratie lager dan voordat deze verhoogde productie van spuiwater plaats vond. Dit was een indicatie dat het ammoniakrendement werd verlaagd door de hoge concentratie opgelost ammonium en nitriet, als gevolg van te weinig afvoer van spuiwater. Dit werd bevestigd door analyse van de waswatermonsters genomen op 12-05-2020 en 26-05-2020. Op 12-05-2020 zat er ongeveer 14 g N/L in het waswater in de vorm van ammonium en nitriet, bijna 2,5 keer zoveel ten opzichte van monsters genomen tijdens de oriënterende meting. Op 26-05-2020 was de concentratie N in het waswater gezakt naar ongeveer 7,5 g N/L, wat nog steeds ver boven de grens van 3,2 g N/L is die wordt aangehouden voor een goed functionerende luchtwasser. Verder bleek uit EC metingen uitgevoerd met een aparte EC meter, en nogmaals bevestigd door analyses op waswatermonsters in het lab, dat de EC meter van het elektronisch logboek niet goed gekalibreerd was. De waardes die de EC meter van de luchtwasser aangaf waren lager dan de daadwerkelijke EC-waarde van het waswater. Deze onderschatting varieerde per meetdag tussen de 1 tot 5 mS/cm.

Verder is er vanaf de ochtend van 25-05-2020 er een sterke afname in het rendement naar onder de 10%. Deze afname correspondeert met een foutmelding in de logdata van het systeem dat de waswaterpomp stilviel van 24-05-2020 20:00 tot 25-05-2020 8:00 (data niet weergegeven). Ondanks dat de pomp binnen een dag weer draaide was de ammoniakverwijdering direct na het opstarten van de pomp onder de 60%, tegenover de 80% die werd gehaald direct voordat de pomp stil viel. Ook na 2 dagen, op het moment dat de nulmeting werd gestopt, was het rendement met 40% nog ver onder het niveau waarvan sprake was voordat de pomp stilviel. Deze lagere ammoniakverwijdering correleert met een stijging van de pH naar 8,1 direct na het stilvallen van de pomp. De combinatie van de toename in de pH en de verlaagde ammoniakverwijdering zijn indicaties dat de totale nitrificatie in het waswater is afgenomen. Het stilvallen van de waswaterpomp heeft waarschijnlijk tot gevolg gehad dat een gedeelte van de biomassa op het pakket afstierf waardoor er minder nitrificatie op trad direct na de herstart van de pomp, dit komt overeen met de observaties op locatie #1 (3.2.2). De gemiddelde ammoniakverwijdering gedurende de gehele tweede meetperiode was 67%.



Figuur 9 Locatie #2 2^e nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 12 mei tot 26 mei 2020.



Figuur 10 Locatie #2 2^e nulmeting elektronisch logboek: De pH en EC van het waswater en de totale spuiwater productie in de luchtwasser zoals geregistreerd in het elektronisch logboek. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren.

Tijdens zowel de 1^e als 2^e nulmeting zijn er twee geurmetingen uitgevoerd. De geurmetingen op 17-02-2020 en 02-03-2020 hadden een geurverwijderingsrendement van 57 en 40% respectievelijk. De pH in het systeem was tijdens de metingen op 17-02-2020 boven de toegestane 7,5 met een waarde van 8,2. Tijdens de meting van 02-03-2020 was de pH weer gedaald onder de 7,5. Bij beide geurmetingen was de EC-waarde van het waswater binnen de maximale toegestane grens.

De geurmetingen op 12-05-2020 en 26-05-2020 hadden een verwijderingsrendement van slechts 18% en een negatieve waarde van -20%. Tijdens deze metingen was zowel de pH als de EC-waarde van het waswater boven de maximale toegestane waarde. Er was daarnaast een toename in geurvracht in vergelijking met de meting van 02-03-2020 (hogere ventilatiefrequentie en geurconcentratie). Door de verandering van meerdere factoren tegelijkertijd is het onzeker of één of meerdere factoren samen een negatief effect hebben gehad op de geurrendementen tijdens de 2^e nulmeting.

Er is tijdens beide nulmetingen geen NO_x emissie gemeten en een lage N₂O concentratie van onder de 5% van de totaal ingaande ammoniak concentratie (Bijlage 2).

Tabel 11 *Locatie #2 geurmetingen nulmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waarden weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waarden over deze periode. De pH, EC en het ventilatie frequentie zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en de frequentielogger van de ventilatie. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniak sensoren.*

		Geurmetingen nulmeting locatie #2			
Datum		17-02-20	02-03-20	12-05-20	26-05-20
Geur in	OU _E /m ³	5.916	2.431	4.682	4.308
Geur uit	OU _E /m ³	2.521	1.442	3.825	5.180
Geurrendement	%	57	41	18	-20
NH ₃ conc in	ppm	32	37	31	24
NH ₃ conc uit	ppm	25	15	13	14
NH ₃ rendement	%	21	58	56	43
Ventilatiefrequentie	Hz	18,2	18,5	24,4	42,8
pH		8,2	7,4	7,8	8,0
EC	mS/cm	11,7	17,6	42,9	23,2

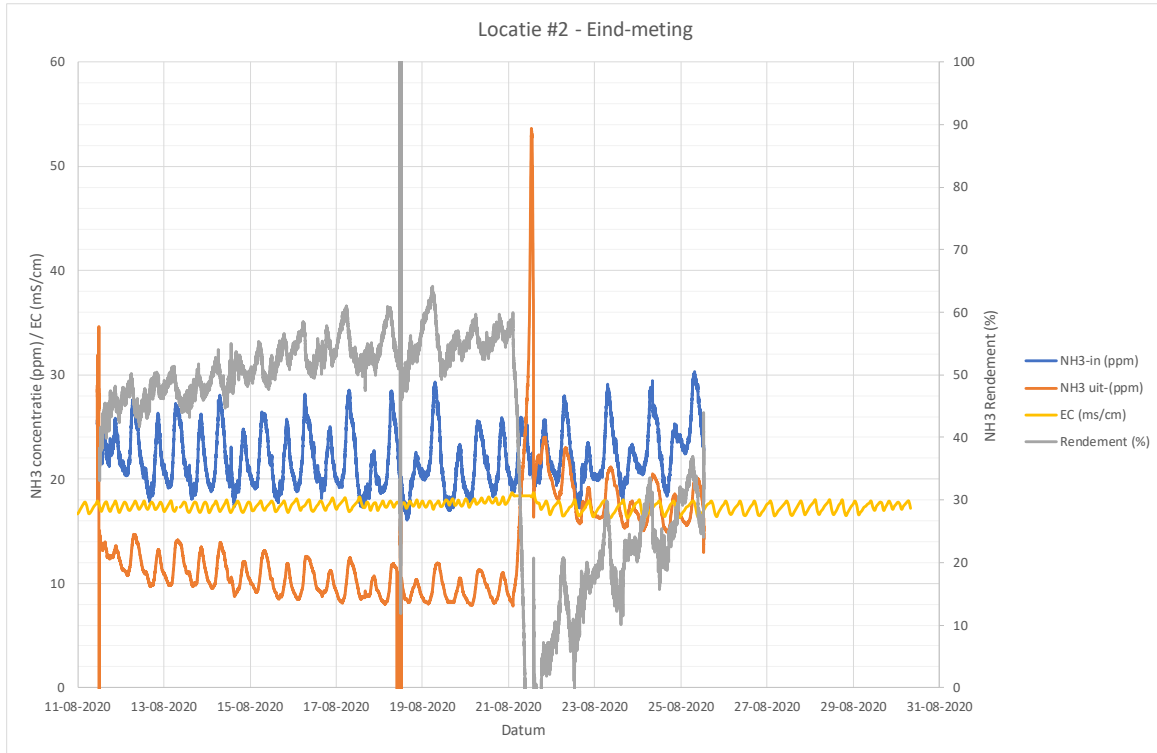
3.3.4 Verbetering locatie #2

Bij beide nulmetingen was de ammoniakverwijdering onder de door de Rav gehanteerde 85%. Dit leek het gevolg van onvoldoende nitrificatie waardoor de pH van het waswater boven de 7,5 uitkomt tijdens de metingen. Na een verlaging van de pH naar onder de 7,5 was er een directe toename in het ammoniakverwijderingsrendement waarneembaar tijdens beide nulmetingen. Daarnaast was bij de tweede nulmeting de EC-waarde van het waswater in de luchtwasser gedurende meerdere weken boven de toegestane waarde van 18 mS/cm en leek dit een negatief effect te hebben gehad op de ammoniakverwijdering.

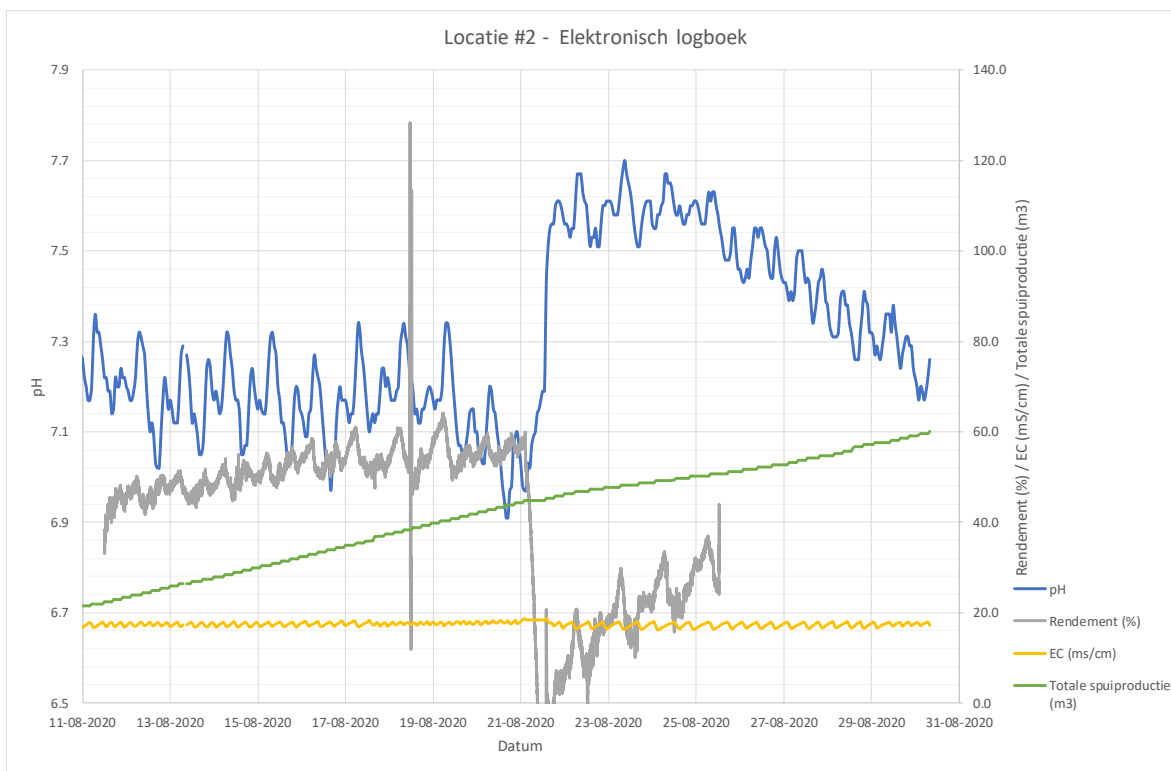
De verhoogde pH en EC leken het gevolg te zijn van een combinatie van verkeerd ingestelde spuiwater instellingen en een slecht gekalibreerde EC meter. Als onderdeel van het verbeterprogramma was voor deze luchtwasser de EC meter opnieuw gekalibreerd en waren de spuiwater instellingen aangepast door de leverancier, om de EC- en pH-waarde beter op niveau te houden. Omdat de pH bij beide nulmetingen terug zakte tot onder de 7,5 op het moment dat er weer spuiwater productie plaats vond en er geen sprake was van externe verzuring in het waswater, werd er besloten om geen pH-regeling te installeren, ervan uitgaande dat met een goed afgestelde spuiwaterregeling de pH binnen de toegestane bandbreedte van 6,5 tot 7,5 zou blijven.

3.3.5 Eindmeting locatie #2

De eindmeting werd gestart anderhalve week nadat de luchtwasser gedurende drie weken meerdere dagen had stilgestaan voor onderhoud. De luchtwasser was weer 10 dagen in bedrijf op het moment dat de eindmeting werd gestart. Gedurende de eindmeting was de ingaande ammoniakconcentratie tussen de 17 en 30 ppm (Figuur 11).



Figuur 11 Locatie #2 eindmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH3-in) en uitgaande (NH3-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniak sensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 12 augustus tot 26 augustus 2020. De EC-waarde van het waswater is weergegeven met data verkregen uit het elektronisch logboek.



Figuur 12 Locatie #2 elektronisch logboek: De pH en EC van het waswater en de totale spuiwater productie in de luchtwasser zoals geregistreerd in het elektronisch logboek. NH_3 rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniak sensoren.

De uitgaande ammoniakconcentratie was vanaf 12-08-2020 tot 21-08-2020 tussen de 8 en 13 ppm. Het ammoniakverwijderingsrendement was op 12-08-2020 slechts 40% en steeg tot rond de 60% op 21-08-2020. Deze geleidelijke stijging duidde aan dat de werking van de luchtwasser aan het begin van de meetperiode nog niet was gestabiliseerd, waarschijnlijk doordat de luchtwasser gedurende drie weken meerdere malen buiten bedrijf was geweest voor onderhoud. Op 21-08-2020 is er een sterke afname in het ammoniakverwijderingsrendement naar 0%. Deze afname van het rendement correspondeerde met het stilvallen van de waswater pomp op 21-08-2020 4:00 tot 21-08-2020 14:00 (data niet weergegeven). Na het opstarten van de pomp was er over een periode van 4 dagen een toename in het rendement van 0 tot 30% te zien, waarna de eindmeting werd gestopt. Het verlaagde rendement ten opzichte van direct voor het herstarten van de waswaterpomp had waarschijnlijk dezelfde oorzaak als tijdens het stilvallen van de waswaterpomp bij de 2^e nulmeting op deze locatie en het stilzetten van de luchtwasser op locatie #1 (3.2.2). Net zoals bij de voorgaande beschreven gevallen was er direct na het opnieuw opstarten van de waswaterpomp een sterke stijging van de pH zichtbaar, gevolgd door een geleidelijke afname van de pH en een stijging in het ammoniakverwijderingsrendement. Dit kan verklaard worden doordat de hoeveelheid biomassa in het waswater en op het pakkingsmateriaal geleidelijk samen met de nitrificatie toenam nadat de pomp weer was herstart. De gemiddelde ammoniak verwijdering tijdens de gehele eindmeting was 42%.

De geurverwijderingsrendementen op 11-08-2020, 18-08-2020 en 25-08-2020 waren 45%, 26% en 24% respectievelijk. Er leek geen duidelijk verband tussen de verschillende metingen die de verlaagde geurrendementen op 18-08-2020 en 25-08-2020 ten opzichte van 11-08-2020 konden verklaren. De absolute uitgaande geurconcentratie op alle drie de meetdagen waren relatief gelijk en lager in vergelijking met de geurmetingen tijdens de nulmetingen. Mogelijk waren de uitgaande geurcomponenten niet afbreekbaar door de microbiologie in de luchtwasser waardoor er altijd een minimale concentratie geur de luchtwasser verlaat.

Er is tijdens de eindmeting geen NO_x productie geconstateerd en een lage N_2O concentratie van onder de 5% van de totaal ingaande ammoniak concentratie (Bijlage 2).

Tabel 12 Locatie #2 geurmetingen eindmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waarden weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waarden over deze periode. De pH, EC en het ventilatie frequentie zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en de frequentielogger van de ventilatie. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniak sensoren.

Geurmetingen eindmeting locatie #2				
Datum		11-08-20	18-08-20	25-08-20
Geur in	OU _E /m ³	2.026	1.682	2.253
Geur uit	OU _E /m ³	1.106	1.233	1.711
Geurrendement	%	45	27	24
NH ₃ conc in	ppm	20	20	24
NH ₃ conc uit	ppm	11	9	18
NH ₃ rendement	%	45	54	27
ventilatiefrequentie	Hz	45,6	38,8	26,9
pH		7,3	7,3	7,6
EC	mS/cm	17,6	17,6	16,6

3.3.6 Eindbeoordeling locatie #2

De luchtwasser op locatie #2 had tijdens geen enkele van de metingen het volgens de Rav gehanteerde ammoniakverwijderingsrendement van 85% behaald. Tijdens de 1^e nulmeting leek het rendement af te vlakken rond de 80%, vergelijkbaar met het hoogste rendement dat werd gehaald tijdens de 2^e nulmeting, echter door het stilvallen van de waswaterpomp kon tijdens de 2^e nulmeting niet worden vastgesteld of het rendement afvlakte rond de 80% of mogelijk wel boven de gehanteerde 85% kon uitkomen. Een afname van het ammoniakverwijderingsrendement werd geobserveerd bij zowel de 2^e nulmeting als de eindmeting direct na het herstarten van de waswaterpomp. Zelfs vier dagen na het herstarten van de waswaterpomp tijdens de eindmeting was het rendement nog twee keer lager dan voor de storing met de waswaterpomp. Het effect van een aanhoudend verlaagd rendement leek erg op de situatie zoals eerder beschreven bij locatie #1.

Dit aanhoudende negatieve effect op het ammoniakrendement zou mogelijk kunnen verklaren waarom het rendement tijdens de eindmeting lager was dan tijdens de nulmetingen, ondanks een betere pH-waarde tijdens de eindmeting. De luchtwasser had gedurende drie weken gedeeltelijk stilgestaan voor onderhoud en was pas twee weken weer operationeel toen de eindmeting van start ging. Mogelijk was een groot gedeelte van de biomassa afgestorven in de drie weken onderhoud en was de biomassa in het waswater nog herstellende van de lange onderhoudsperiode waarin de water uit stond en vond er geen tot weinig nitrificatie plaats.

Voor de geurmetingen in de nulmeting is er geen duidelijk verband te vinden tussen de hogere geurverwijderingsrendementen tijdens de 1^e nulmeting in vergelijking met de 2^e nulmeting. Er waren meerdere factoren (of een combinatie van die factoren) die een rol kunnen hebben gespeeld. Mogelijk dat de verhoogde geurvracht tijdens de 2^e nulmeting een negatief effect heeft gehad op het geurverwijderingsrendement door overbelasting van het systeem. Dit zou overeenkomen met de observatie dat er verbeterde geurrendementen waren waargenomen tijdens de eindmeting, waar de concentratie geur ongeveer de helft was van de concentratie tijdens de 2^e nulmeting (bij vergelijkbare ventilatie hoeveelheden). Tijdens de eindmeting was er een afname in geurrendement tussen de geurmetingen van 40% naar 24% en 27%. Het was niet duidelijk waardoor het geurrendement afnam binnen deze zelfde meetperiode. Een verklaring zou kunnen zijn dat de geurcomponenten die de luchtwasser verlaten niet konden worden afgebroken door de biomassa in het waswater. Mochten deze niet afbreekbare geurcomponenten variëren in concentratie per meetmoment kan dit al snel tot veranderende geurrendementen leiden.

Er kon niet geconcludeerd worden dat het verbeterprogramma van enkel een betere spuiwaterregeling en het herkalibreren van de EC meter tot betere rendementen hebben geleid op locatie #2. Het lijkt

dat het veelvoudig stilzetten/uitvallen van de luchtwasser een langdurig nadelig effect had op de verwijderingsrendementen waardoor niet met zekerheid kan worden vastgesteld hoe de luchtwasser op locatie #2 onder normale omstandigheden zou presteren. Er kan wel worden geconcludeerd dat er naast het goed instellen van de spuiwaterregeling en het kalibreren van de EC meter het stilvallen/uitzetten van de luchtwasser zoveel mogelijk voorkomen dient te worden, zodat ammoniakverwijdering niet langdurig negatief beïnvloed blijft door lage nitrificatie in de luchtwasser.

3.4 Locatie #3

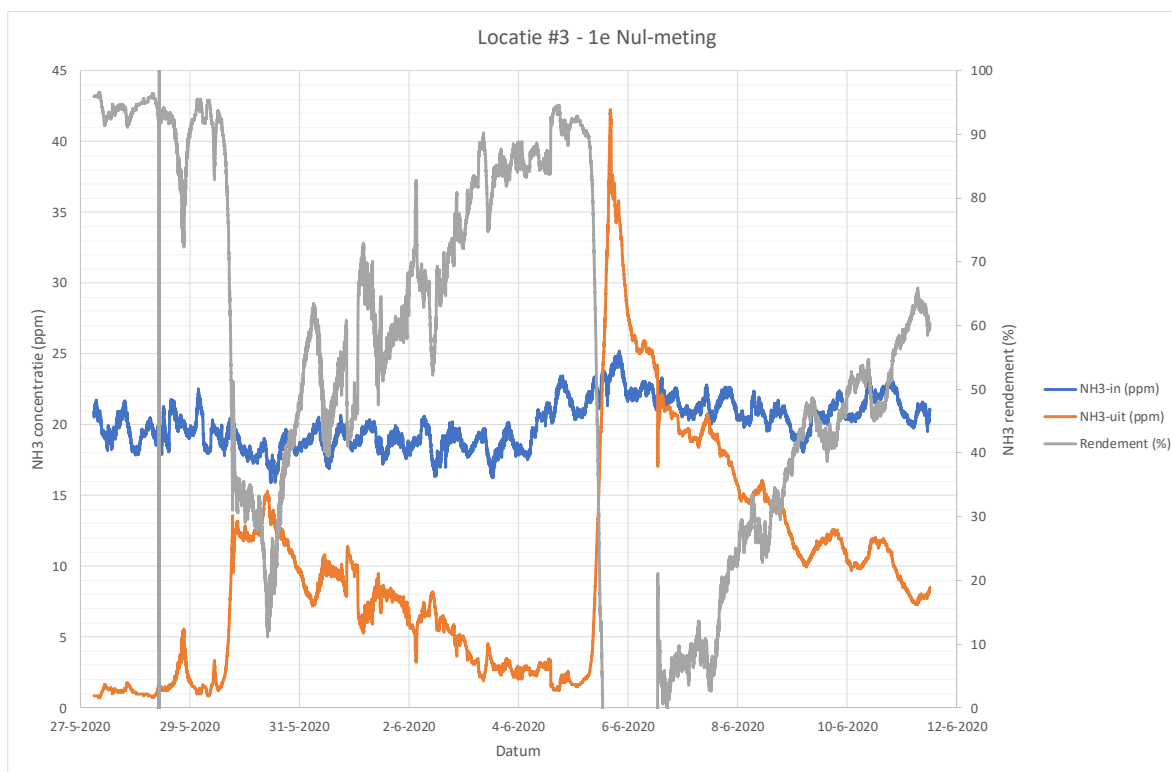
3.4.1 Oriënterend bezoek Locatie #3

Locatie #3 was een biologische combi-wasser (BWL 2009.12) en had tijdens het oriënterend meetbezoek op 20-05-2019 een hoge emissie van NO_x met een mogelijke omzetting van ongeveer 40% van de ingaande ammoniak in NO_x. Daarnaast was er een omzetting van ongeveer 10% van de ingaande ammoniak in N₂O. Dit leek het gevolg te zijn van een te lage pH van 6 in het waswater tijdens het oriënterend meetbezoek. Bij inspectie van de pH meter bleek dat deze mogelijk onbetrouwbaar was door slechte galvanische scheiding in de luchtwasser. Het plaatsen van dezelfde pH meter in waswater genomen van de luchtwasser in een bakje buiten het normale meetpunt, gaf een waarde die 0,5 hoger was dan tijdens de meting in het normale meetpunt in de luchtwasser. Bovenop deze afwijking van ongeveer een 0,5 door geen galvanische scheiding bleek de pH meter ook slecht gekalibreerd waardoor er nogmaals een 0,5 afwijking was van de daadwerkelijke pH. De metingen opgeslagen in het elektronisch logboek waren dus ongeveer 1 eenheid lager dan de daadwerkelijke pH van het waswater. Verder bleek er een pH verschil te ontstaan tussen het waswater dat boven het verpakkingsmateriaal werd gespreid en het waswater dat onder het verpakkingsmateriaal weer werd opgevangen.

3.4.2 1^e Nulmeting Locatie #3

Op deze locatie is er tweemaal een nulmeting uitgevoerd; van 27-05-2020 tot 12-06-2020 en van 12-12-2020 tot 27-07-2020. Na uitvoering van de 1^e nulmeting bleek dat de waswaterpomp van de luchtwasser systematisch uit viel doordat monsters van waswater waren genomen. Daarom werd besloten om nogmaals een 2^e nulmeting te doen. Tijdens de 2^e nulmeting werd de methode van bemonsteren van waswater veranderd om uitvallen van de pomp te voorkomen.

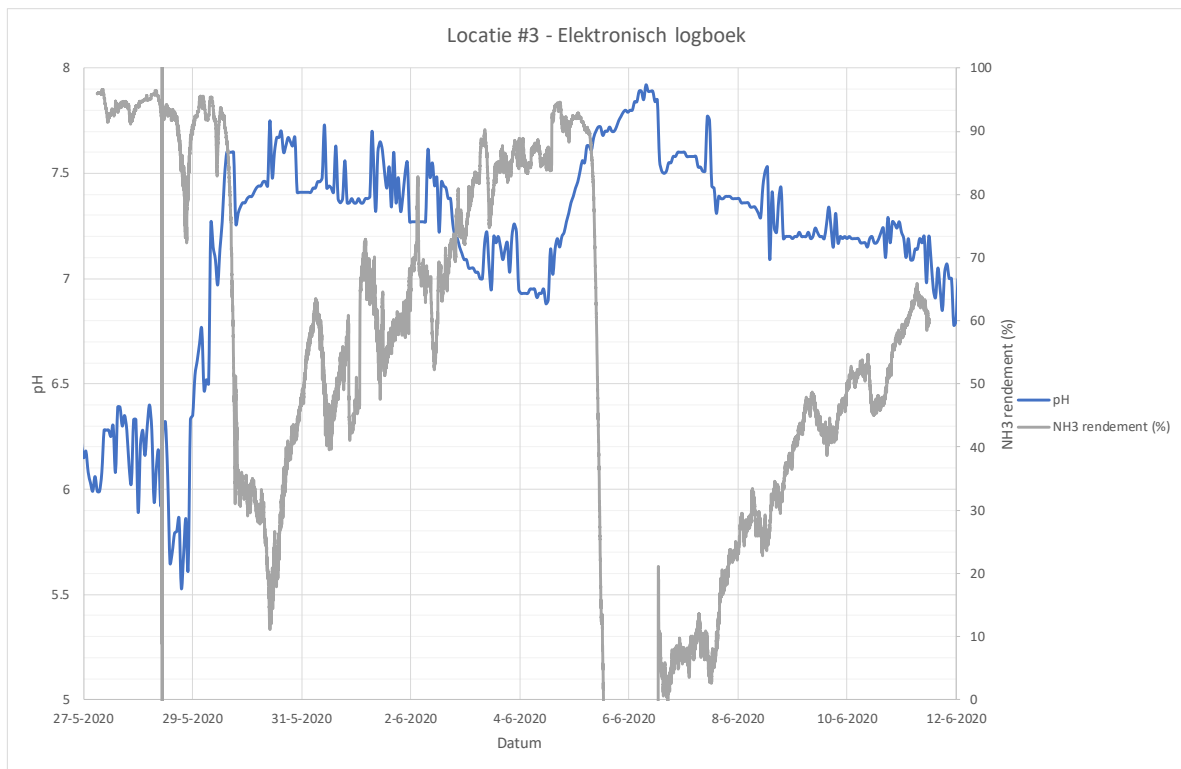
Tijdens de 1^e nulmeting was de ammoniakverwijdering de eerst dagen rond de 90% (Figuur 13). Echter vanaf 29-05-2020 was er een grote daling in de ammoniakverwijdering. Dit kwam overeen met het stilvallen van de waswaterpomp op 28-05-2020 20:00, kort nadat er watermonsters waren genomen. Na het herstarten van de pomp op 29-05-2020 18:00 was er een geleidelijke toename in het ammoniakverwijderingsrendement tot meer dan 90% op 04-06-2020, totdat de ammoniak verwijdering volledig stopt op 05-06-2020. Ook hier bleek dit het gevolg van het stilvallen van de waswaterpomp op 04-06-2020 13:30 kort nadat er watermonsters waren genomen. Nadat de pomp weer werd ingeschakeld op 06-06-2020 13:30 liet de ammoniakverwijdering weer een stijgende lijn zien.



Figuur 13 Locatie #3 1e nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren, samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 27 mei tot 11 juni 2020.

Bij beide voorvallen van het stilvallen van de waswaterpomp was er een directe stijging in de pH na het herstarten van de luchtwasser (Figuur 14). Daarnaast was er een lagere ammoniakverwijdering dan voor het stilvallen van de waswaterpomp. Deze observatie waarbij de ammoniakverwijdering lager is dan voor het stilvallen van de waswaterpomp komt overeen met de situatie beschreven bij locatie #1 en #2 (3.2.2, 3.3.5). Door het uitzetten van de waswaterpomp vond er geen intensief contact plaats tussen het waswater en de stallucht waardoor de microbiologie op het verpakkingsmateriaal uitdroogde en er geen ammoniak uitwisseling plaats vond met het waswater, hierdoor krimpt de totale hoeveelheid biomassa in het waswater en op het verpakkingsmateriaal waardoor er vervolgens minder nitrificatie plaats vond. Bij het herstarten van de luchtwasser kon er vervolgens minder ammoniak afgevangen worden wat een lager rendement opleverde dan voor het stilvallen van de waswaterpomp. Het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement tijdens de 1^e nulmeting was 51%.

Opvallend was dat de pH metingen op waswatermonsters tijdens de 1^e nulmeting geen grote verschillen mat tussen de pH meter van de luchtwasser en metingen in het lab, zoals tijdens de oriënterende meting. Er was geen duidelijke waarom er tijdens de oriënterende meting er een groot verschil werd gemeten, mogelijk door slechte galvanische scheiding, en deze tijdens de nulmeting niet meer werd gemeten. Er werd echter nog wel een verschil van ongeveer 0,4 eenheden gemeten tussen de pH van waswater bemonsterd boven het verpakkingsmateriaal en waswater afgevangen onder het verpakkingsmateriaal. Uit eerder onderzoek van Melse et al. (2019) was bekend dat het ontstaan van grote verschillen tussen de pH van het waswater boven het verpakkingsmateriaal en onder het verpakkingsmateriaal tot ongewenste pH-waardes kon leiden in het verpakkingsmateriaal zelf, zonder dat de pH-waarde die daadwerkelijk in het pakket aanwezig is wordt geregistreerd in het elektronisch logboek. De gemeten waardes op deze locatie waren echter nog wel tussen de gewenste 6,5 en 7,5 met uitzondering van 28-05-2020 waarop er een pH van 6,3 werd gemeten in het waswater dat boven het verpakkingsmateriaal werd gespreid. De waardes van de monsters boven het verpakkingsmateriaal bleken overeen te komen met die gemeten in het elektronisch logboek (Figuur 14).



Figuur 14 Locatie #3 1^e nulmeting elektronisch logboek: De pH van het waswater in de luchtwasser zoals geregistreerd in het elektronisch logboek tijdens de 1^e nulmeting. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren.

Bij analyse van de geurmonsters van tijdens de nulmetingen bleek dat bij de duplo's van de uitgaande lucht telkens één van de twee duplo's een factor 2 tot 5 keer hoger in concentratie was dan de ingaande monsters. Deze observatie samen met de melding vanuit het geuranalyselab dat altijd één van de monsters "zurig" rook en daarnaast de zuur ruikende monsters altijd overeen kwamen met de hoge metingen, is er besloten om de metingen van deze monsters niet mee te nemen in de resultaten. Bij inspectie van de monsterleidingen bleken deze condens te bevatten en is er besloten om na de nulmetingen de eindmeting met nieuwe monsterleidingen uit te voeren. Desalniettemin is daarom wel besloten om de resultaten tijdens de 1^e en 2^e nulmeting voor de uitgaande geur concentratie enkelvoudig en niet in duplo te presenteren (Tabel 13, Tabel 14).

Tabel 13 Locatie #2 geurmetingen 1^e nulmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waarden weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waarden over deze periode. De pH, EC en het ventilatie frequentie zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en het ventilatiedebiet van de klimaatsysteem in de stal. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniaksensoren.

		Geurmetingen 1 ^e nulmeting locatie #3		
Datum		28-5-2020	4-6-2020	11-6-2020
pH		6,2	6,9	6,9
EC	mS/cm	14,5	14,4	14,9
Ventilatie debiet	m ³ /u	158.662	89.374	83.618
Contacttijd pakket	s	2,3	4,0	4,3
Geur in	OU _E /m ³	3.223	3.503	2.114
Geur uit ¹	OU _E /m ³	994	2.963	1.684
Geurrendement	%	69	15	20
Geurvracht in	OU _E /s	142.047	86.966	49.091
Geurvracht uit ¹	OU _E /s	43.808	73.560	39.114
NH ₃ conc in	ppm	16,9	19,1	19,0
NH ₃ conc uit	ppm	0,7	2,3	7,1
rendement	NH ₃ (%)	96	88	62
NH ₃ vracht in	g/s	519	330	307
NH ₃ vracht uit	g/s	22	40	116

¹Geur uit zijn enkelvoudige metingen door mogelijke vervuiling van de monsterleiding.

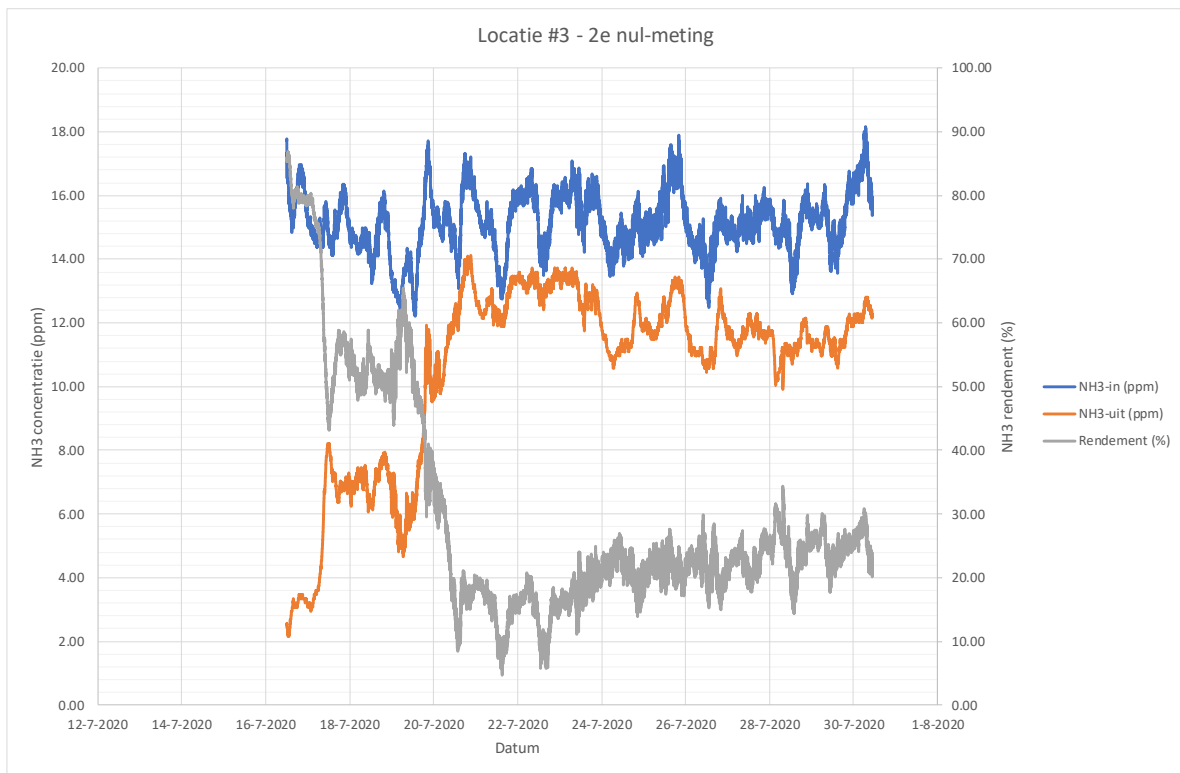
De geurmetingen uitgevoerd tijdens de 1^e nulmeting lieten een daling zien van 69% op de eerste meetdag naar 15% en 20% op 04-06-2020 en 11-06-2020. Dit is ondanks de lagere geurvrachten op 04-06-2020 en 11-06-2020. Mogelijke verklaring is het stilvallen van de waswaterpomp tussen de eerste en tweede meetdag en nogmaals tussen de tweede en derde meetdag. De microbiologie in het waswater die geurcomponenten kon omzetten was waarschijnlijk door het stilvallen van de waswaterpomp minder actief waardoor er minder geur werd verwijderd. Het is mogelijk dat de microbiologie verantwoordelijk voor het omzetting van geurcomponenten gevoeliger is voor het stilvallen van de luchtwasser dan de nitrificerende biomassa. Op de tweede en derde meetdag was de ammoniak verwijdering namelijk alweer verbeterd met een verwijdering van 88% op de tweede meetdag en een verwijdering van 62% op de derde meetdag tegenover de 15% en 20% voor geurverwijdering. Dit zou betekenen dat voor een goede geurverwijdering met biologische combi-wasser de biomassa in het waswater zo min mogelijk verstoord dient te raken door het stilvallen van de luchtwasser.

Op 04-06-2020 werd er een verhoogde concentratie NO_x gemeten in de uitgaande lucht van de luchtwasser met een concentratie van 2.2 ppm, dit zou gelijk staan aan een omzetting van ongeveer 12% van de ingaande ammoniak in NO_x (bijlage 2). Op de andere meetdagen tijdens de 1^e nulmeting werd er geen tot nauwelijks NO_x gemeten. Mogelijke verklaring hiervoor was de lagere pH voordat de waswaterpomp stilviel; op 04-06-2020 tijdens de metingen was de pH in het waswater tussen de 6,0 en 6,5. Uit eerder onderzoek is bekend dat bij een lagere pH de nitrificatie geremd kan worden en er HNO₂ (g) gemeten kan worden als NO_x met de gasdetectiebuizen (Melse et al., 2018c). Er werd op 04-06-2020 waarschijnlijk dus geen NO_x productie geconstateerd, in de vorm van NO₂ (g) of NO (g) gemeten, maar de vluchtige vorm van salpeterigzuur werd gemeten (HNO₂). Dit kwam overeen met de observatie tijdens de oriënterende meting waar de NO_x meting ook plaats vond bij een lagere pH-waarde in het waswater. Het is aannemelijk dat de er geen NO_x productie aanwezig was in de vorm van NO₂ (g) of NO (g) bij deze luchtwasser, maar dat er wel vluchtige salpeterigzuur werd gemeten door de lagere pH-waarden in het waswater. Tijdens alle drie de meetdagen werd er een kleine productie van N₂O gemeten rond de 10% tot 15% van de totale ingaande ammoniak concentratie.

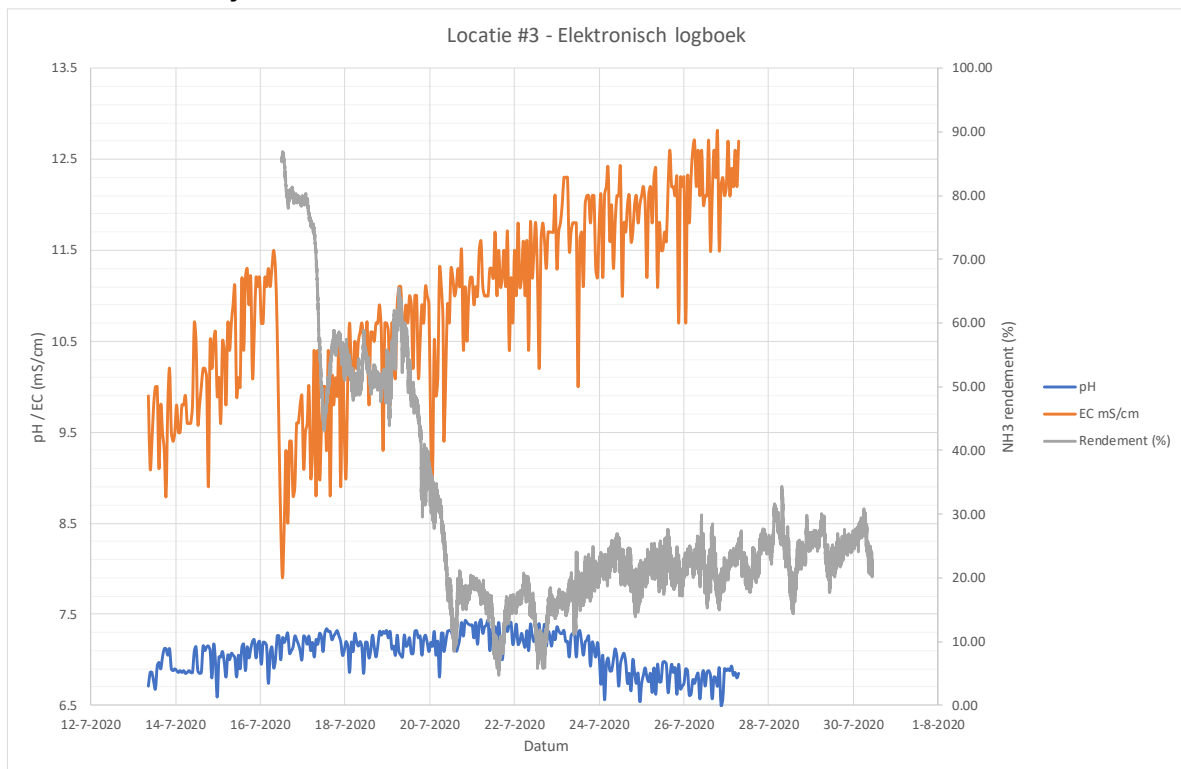
3.4.3 2^e Nulmeting locatie #3

Na het tweemaal stilvallen van de waswaterpomp is er nogmaals een metingreeks (2^e nulmeting) gestart op 12-07-2020. Gedurende de 2^e nulmeting daalt het ammoniakverwijderingsrendement van rond de 80% gedurende de eerste 2 dagen naar tussen de 10% en 20% op de dagen erna. Na verdere bespreking met de veehouder bleek dit het gevolg van het schoonmaken van de luchtwasser door de veehouder. Op 18-07-2020 en 19-07-2020 had de veehouder het pakket gereinigd in de luchtwasser door met een hoge druk spuit het waswater over de pakketten van het systeem te spuiten.

Het was aannemelijk dat tijdens het schoonmaken van het pakket de condities in de luchtwasser werden veranderd waardoor er minder nitrificatie plaats vond en er minder ammoniak werd afgevangen. De eerste oorzaak waardoor er minder nitrificatie plaats vond was dat de biomassa van het pakket was afgewassen, waardoor er minder contact plaats vond tussen de ammoniak en de (meest actieve) biomassa. Het tweede gevolg was dat tijdens het schoonmaken de luchtwasser werd stilgezet, wat waarschijnlijk de nitrificatie verminderde zoals beschreven in 3.2.2, 3.3.5 en 3.4.2. Zelfs nadat het schoonspuiten was afgerond op 19-07-2020 was er nog een langdurig effect te zien op de ammoniakverwijdering in de luchtwasser. De lagere opname van ammoniak was ook terug te zien in de EC-waardes van het waswater (Figuur 16). Voordat de metingen begonnen was er een toename van 2 mS/cm over 2 dagen tussen 14-07-2020 en 16-07-2020. Echter na het schoonmaken van het pakket vond dezelfde toename van 2 mS/cm plaats over zeven dagen tussen 20-07-2020 en 27-07-2020. De langzamere toename in EC is een indicatie dat er minder nitrificatie plaats vond. Vanaf 23-07-2020 leek er wel een lichte stijging in het ammoniakverwijderingsrendement terwijl de ingaande concentratie en ventilatiedebiet (niet weergegeven) gelijk bleven. Dit was een indicatie dat de microbiologie herstelde en er meer nitrificatie begon plaats te vinden; deze toename was echter langzamer dan het herstel van de ammoniakverwijdering die optrad na de uitval en het vervolgens weer inschakelen van de waswaterpomp tijdens de eerste nulmeting (paragraaf 3.4.2).



Figuur 15 Locatie #3 2^e nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 17 juli tot 31 juli 2020.



Figuur 16 Locatie #3 2^e nulmeting elektronisch logboek: De pH en EC van het waswater in de luchtwater zoals geregistreerd in het elektronisch logboek. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren.

Opvallend is dat de pH minder steeg dan verwacht vergelijkend met eerdere situaties waarin de luchtwater werd stilgezet op 18-07-2020 en 19-07-2020 (Figuur 15). Bij eerdere beschreven gevallen waarin de luchtwater werd stilgezet/stilviel was er eerst een sterke stijging van de pH samenvallend met de lagere ammoniakverwijdering na herstarten van de waswaterpomp. Mogelijk dat de stijging in pH in dit geval minder groot was doordat er nog enige nitrificatie plaats vond in de

luchtwasser na de eerste dag waarop de schoonmaak begon. Op 18-07-2020 was er al een daling in het ammoniakverwijderingsrendement te observeren, echter was er nog wel een verwijdering van ongeveer 50% van de ammoniak. Vervolgens vond de verdere daling pas plaats op 19-07-2020. Door de nog lichtelijke nitrificatie op 18-07-2020 zal de stijging van de pH waarschijnlijk tijdelijk zijn afgeremd.

Tijdens de 2^e nulmeting werd geen verschil in pH gevonden tussen de metingen in het lab op waswatermonsters en de metingen in het elektronisch logboek, tegenstellend met eerdere observatie bij het oriënterend meetbezoek. Er werd wel weer een verschil gemeten tussen de waswatermonsters genomen boven het verpakkingsmateriaal en onder het verpakkingsmateriaal van ongeveer 0,3 eenheden.

De geurverwijderingsrendementen op de drie meetdagen tijdens de 2^e nulmeting bleken hetzelfde patroon te volgen als tijdens de 1^e nulmeting (Tabel 14). Tijdens de eerste meetdag was de geurverwijdering 73%, gevolgd door twee lagere rendementen van 8% en 28% op 21-07-2020 en 23-07-2020 respectievelijk. De afname van de geurverwijdering op de eerste meetdag en de twee latere meetdagen was waarschijnlijk het gevolg van het schoonmaken van het pakket met een hoge drukspuit.

Op 16-07-2020 werd er een hoge emissie van NO_x geconstateerd van ongeveer 20% van de ingaande ammoniak (bijlage 2). Echter op 21-07-2020 werd geen NO_x emissie geconstateerd en op 23-07-2020 werd er een NO_x emissie van 7% van de ingaande ammoniak concentratie gemeten. Ook de N₂O productie liet een daling zien ten opzichte van 23-07-2020; op 16-07-2020 werd ongeveer 23% van de ingaande ammoniak concentratie omgezet in lachgas, terwijl dit op 23-07-2020 slechts 10% was. De lagere omzetting van ammoniak in NO_x en N₂O ondanks gelijke omstandigheden van pH en EC doen vermoeden dat er daadwerkelijk een verlaagde microbiële activiteit was in het waswater als gevolg van het schoonmaken van de pakketten.

Tabel 14 Locatie #3 geurmetingen 2^e nulmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waarden weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waarden over deze periode. De pH, EC en het ventilatie frequentie zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en het ventilatiedebiet van de klimaatsysteem in de stal. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniaksensoren.

Geurmetingen 2 ^e nulmeting locatie #3				
Datum		16-7-2020	21-7-2020	23-7-2020
pH		7,2	7,3	7,2
EC	mS/cm	8,6	11,3	11,2
Ventilatie debiet	m ³ /u	111.302	N.B. ²	112.940
Contacttijd pakket	s	3,2	N.B. ²	3,2
Geur in	OU _E /m ³	3.973	3.185	3.089
Geur uit ¹	OU _E /m ³	1.081	2.918	2.215
Geurrendement	%	73	8	28
Geurvracht in	OU _E /s	122.834	N.B. ²	96.893
Geurvracht uit	OU _E /s	33.422	N.B. ²	69.489
NH ₃ conc in	ppm	19,7	13,2	14,4
NH ₃ conc uit	ppm	2,6	11,2	11,8
rendement	NH ₃ (%)	87	15	18
NH ₃ vracht in	g/s	424	N.B. ²	314
NH ₃ vracht uit	g/s	57	N.B. ²	257

¹Geur uit zijn enkelvoudige metingen door mogelijke vervuiling van de monsterleiding.

²Op 21-07-2020 was er door een fout in het klimaatsysteem geen data bekend voor de ventilatie.

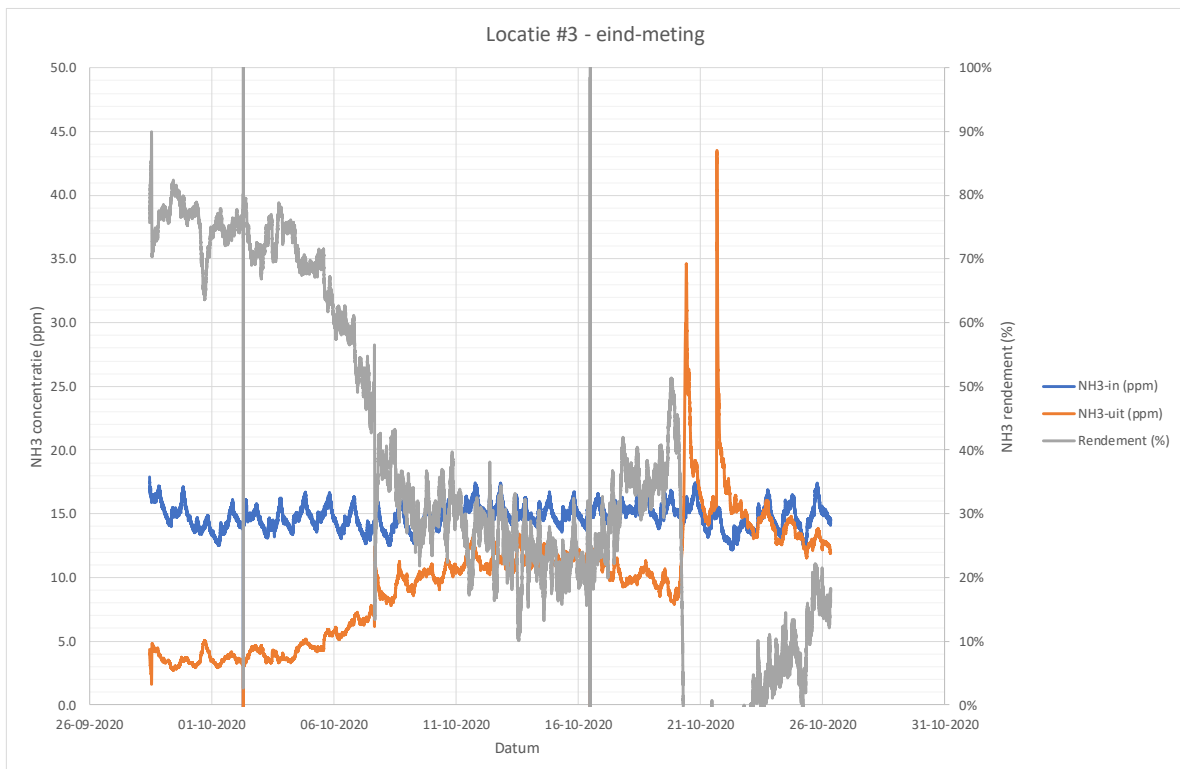
3.4.4 Verbetering locatie #3

Bij de 1^e nulmeting viel door het meetprotocol de waswaterpomp tweemaal stil terwijl tijdens de 2^e nulmeting het pakket werd schoongemaakt. De wasser vertoonde tijdens de eerste meetdagen van beide nulmetingen een hoog rendement voor geur en ammoniakverwijdering met respectievelijk 69% en 73% voor geur en tussen 90-100% en 80-90% voor de ammoniakverwijdering.

Tijdens de oriënterende meting werd er geconstateerd dat de pH niet correct werd vastgelegd en de pH van het waswater laag was met een mogelijke hoge NO_x productie. Echter tijdens de 1^e en 2^e nulmeting werd er alleen sporadisch een hoge NO_x emissie geconstateerd en leken de ammoniak- en geurverwijdering redelijk hoog voordat de luchtwasser werd verstoord door menselijk handelen (enerzijds de pomp laten stilvallen tijdens het nemen van een waswatermonster en anderzijds het schoonmaken van het pakket). Daarom werd besloten om deze locatie niet aan te passen en de eindmeting uit te voeren zonder de luchtwasser te verstoren door menselijk handelen.

3.4.5 Eindmeting locatie #3

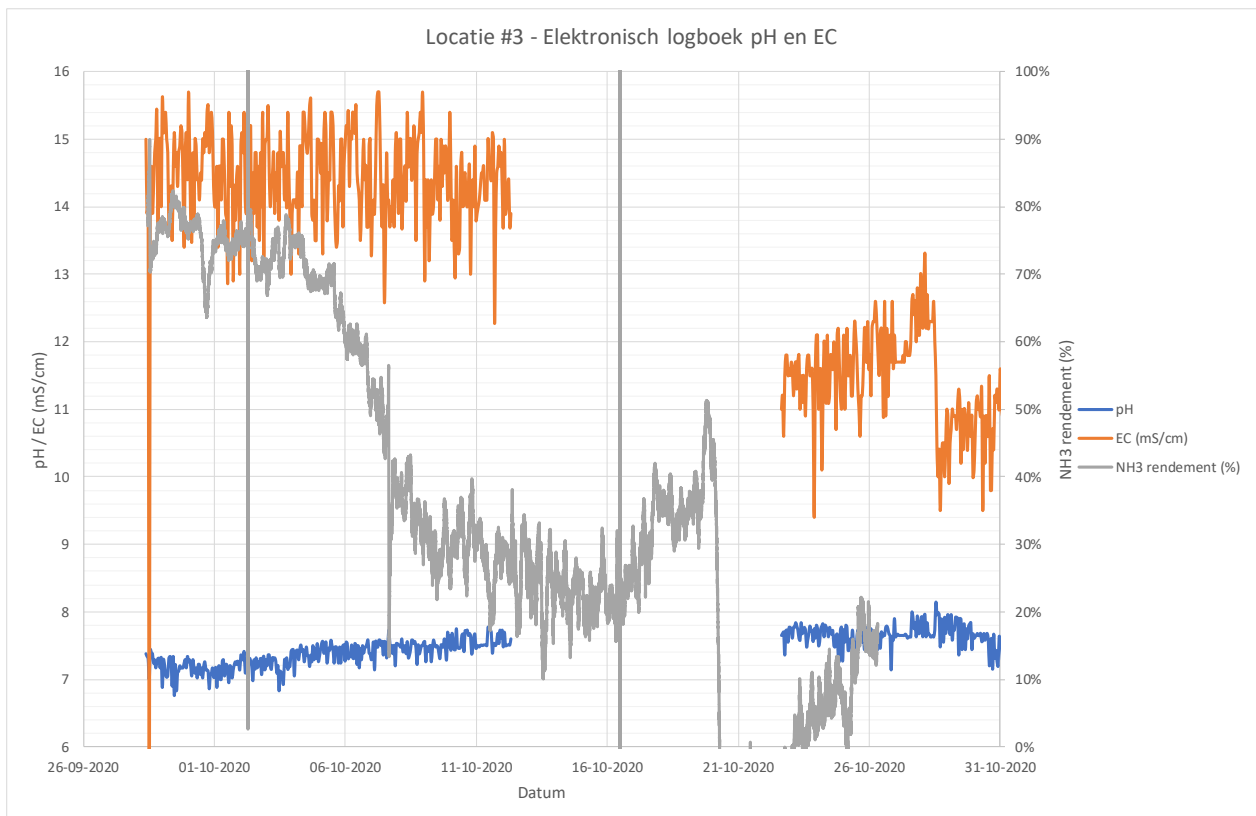
Bij de eindmeting is er nogmaals twee weken gemeten bij de luchtwasser en waren er twee meetdagen waarop er geurmetingen werden verricht. Het ammoniakverwijderingsrendement was aan het begin van de eindmeting rond de 80% (Figuur 17). Vanaf 06-10-2020 was er een dalende trend te zien in het rendement. Deze daling kwam overeen met een verhoging in de pH van het waswater naar boven de 7,5 vanaf 06-10-2020 (Figuur 17). Het is onzeker of de verlaagde ammoniakverwijdering het gevolg was van een verlaagde microbiologische activiteit en dus verlaagde nitrificatie of dat de verhoogde pH de directe oorzaak was. Vanaf 06-10-2020 leek de pH gedurende de rest van de eindmeting niet onder de 7,5 te komen. Al is het onzeker of de pH daadwerkelijk niet onder de 7,5 kwam door een fout in het elektronisch logboek waardoor een gedeelte van de data mist. Op 20-10-2020 viel de waswaterpomp stil voor een onbekende tijd (door ontbreken van de data in het elektronisch logboek). Het stilvallen van de waswaterpomp had tot gevolg dat er geen ammoniakverwijdering plaats vond direct na het herstarten van de waswaterpomp. De gemiddelde ammoniakverwijdering over de gehele meetperiode was 34%.



Figuur 17 Locatie #3 eindmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 17 juli tot 31 juli 2020.

Tijdens de eindmeting zijn er nog twee geurmetingen uitgevoerd (Tabel 15). De geurverwijdering op 19-10-2020 was 37% en op 26-10-2020 0%. Beide geurmetingen zijn uitgevoerd nadat de pH van het waswater boven de 7,5 kwam. De tweede geurmeting was uitgevoerd enkele dagen nadat de waswaterpomp weer opnieuw was opgestart na stilval. De afname van het geurverwijderingsrendement op 26-10-2020 ten opzichte van 19-10-2020 was waarschijnlijk weer het gevolg van het stilvallen van de waswaterpomp zoals reeds besproken tijdens de nulmetingen. Deze observaties samen doen vermoeden dat het stilzetten van de luchtwasser een langdurig negatief effect kan hebben op het geurverwijderingsrendement. Echter zijn er niet genoeg metingen gedaan om dit met zekerheid vast te kunnen stellen.

Er werd tijdens deze eindmeting geen emissie van NO_x gemeten tijdens de meetdagen (bijlage 2). Daarnaast was de lachgas productie minder dan 5% van de totale ingaande ammoniak concentratie.



Figuur 18 Locatie #3 eindmeting elektronisch logboek: De pH en EC van het waswater in de luchtwater zoals geregistreerd in het elektronisch logboek. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren.

Tabel 15 Locatie #3 geurmetingen eindmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waarden weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waarden over deze periode. De pH, EC en het ventilatie frequentie zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en het ventilatiedebiet van de klimaatsysteem in de stal. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniaksensoren.

Geurmetingen eindmeting locatie #3			
Datum		19-10-2020	26-10-2020
pH		7,7 ¹	7,6
EC	mS/cm	13,7 ¹	12,0
Ventilatie debiet	m ³ /u	69.826	63.738
Contacttijd pakket	s	5,2	5,7
Geur in	OU _E /m ³	2.779	4.048
Geur uit	OU _E /m ³	1.751	4.045
Geurrendement	%	37	0
Geurvracht in	OU _E /s	53.892	71.670
Geurvracht uit	OU _E /s	33.963	71.608
NH ₃ conc in	ppm	14,1	14,4
NH ₃ conc uit	ppm	9,3	11,7
NH ₃ rendement	%	34	19
NH ₃ vracht in	g/s	190	178
NH ₃ vracht uit	g/s	126	144

pH en EC op 19-10-2020 zijn verkregen vanuit metingen in het lab op monsters genomen van het waswater i.p.v. uit het elektronisch logboek.

3.4.6 Eindbeoordeling locatie #3

Bij beide nulmetingen bleek dat het stilvallen of uitzetten en schoonmaken van de luchtwasser een negatief effect had op de ammoniakverwijdering. De pomp was tijdens de 1^e nulmeting tweemaal uitgevallen als gevolg van het verkeerd monstere van het waswater en beide keren duurt het enkele dagen voordat de ammoniakverwijdering herstelde. Verder was er een daling te zien in het geurrendement nadat de pomp een keer was stilgevallen.

Dit werd ondersteund door de observaties bij de 2^e nulmeting. Na het schoon maken van het pakket is de efficiëntie van de luchtwasser zeer laag en herstelde zelfs langzamer dan tijdens de 1^e nulmeting. Het schoonmaken van het pakket had waarschijnlijk tot gevolg dat een groot gedeelte van de biomassa van het pakket gespoeld werd waardoor er minder efficiënte uitwisseling plaats vond tussen de lucht en het waswater met de biomassa, hierdoor vond er minder nitrificatie plaats en werd er vervolgens minder ammoniak verwijderd door de luchtwasser.

In de eindmeting was het effect te zien van een verhoging van de pH tot boven de 7,5. Zodra de pH in het waswater op 06-10-2020 boven de 7,5 kwam was de ammoniak verwijdering drie tot vier keer lager dan daarvoor. Er is geen duidelijke reden gevonden waarom de pH steeg tijdens de eindmeting of dat dit het gevolg was van een verlaagde microbiologische activiteit en dus een verlaagde nitrificatie.

Bij beide nulmetingen had de eerst genomen geurmeting rond de 70% verwijdering. Echter bij beide nulmetingen was het rendement bij de tweede en derde meting een stuk lager. Dit was waarschijnlijk het gevolg van de het stilvallen van de waswaterpomp en het schoonspuiten van het pakket. De biomassa die geurcomponenten omzet was minder actief waardoor er een verlaging van het geurrendement plaats vond.

Tijdens de nulmetingen werd er op sommige meetdagen een NO_x emissie gemeten, terwijl er tijdens de eindmeting geen enkele keer een NO_x emissie is gemeten. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschil in pH tijdens de meetdagen; op 04-06-2020 tijdens de 1^e nulmeting was de pH in het waswater onder de 6,5 waardoor er waarschijnlijk meer HNO₂ (g) werd gevormd en dit de NO_x

metingen beïnvloedde. Lachgas productie was tijdens de eindmeting lager dan tijdens de nulmetingen, zonder dat hier een duidelijke verklaring voor is gevonden.

Ondanks dat er op deze locatie geen verbeterprogramma was uitgevoerd, gaven de metingen wel veel inzicht in de effecten van het stilvallen van de luchtwasser. Bij beiden nulmetingen had het stilzetten van de luchtwasser door menselijk handelen een langdurig negatief effect op de ammoniakverwijdering en mogelijk ook op de geurverwijdering. Bij de eindmeting viel nogmaals de waswaterpomp stil, dit keer echter niet door menselijk handelen en werd hetzelfde negatieve effect geobserveerd op de ammoniakverwijdering. Verder bleek dat bij een verschuiving van de pH naar boven de 7,5 er geen goede ammoniakverwijdering meer plaats vond. Het is niet duidelijk of de verhoging van de pH naar boven de 7,5 een oorzaak of gevolg is van de slechtere ammoniakverwijdering.

3.5 Locatie #4

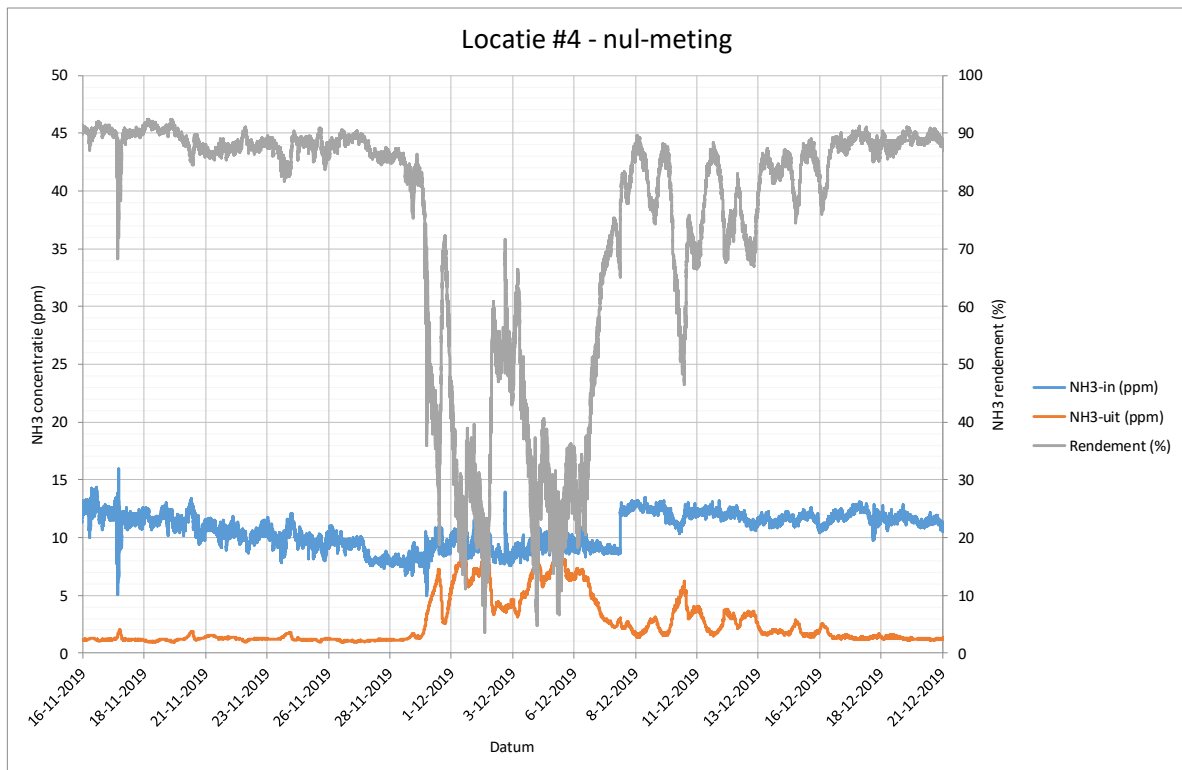
3.5.1 Oriënterende meting locatie #4

Tijdens het oriënterende bezoek op 04-07-2019 aan de biologische combi-wasser (BWL 2009.12) op locatie #4 werd een zeer hoge ammoniakrendement gevonden (95%) in combinatie met een hoge NO_x productie: 60 tot 90% van de ingaande NH₃-N werd omgezet in NO_x-N. Er werd geen lachgas productie geconstateerd en de pH en EC-waardes waren binnen de toegestane bandbreedte van 6,5 tot 7,5.

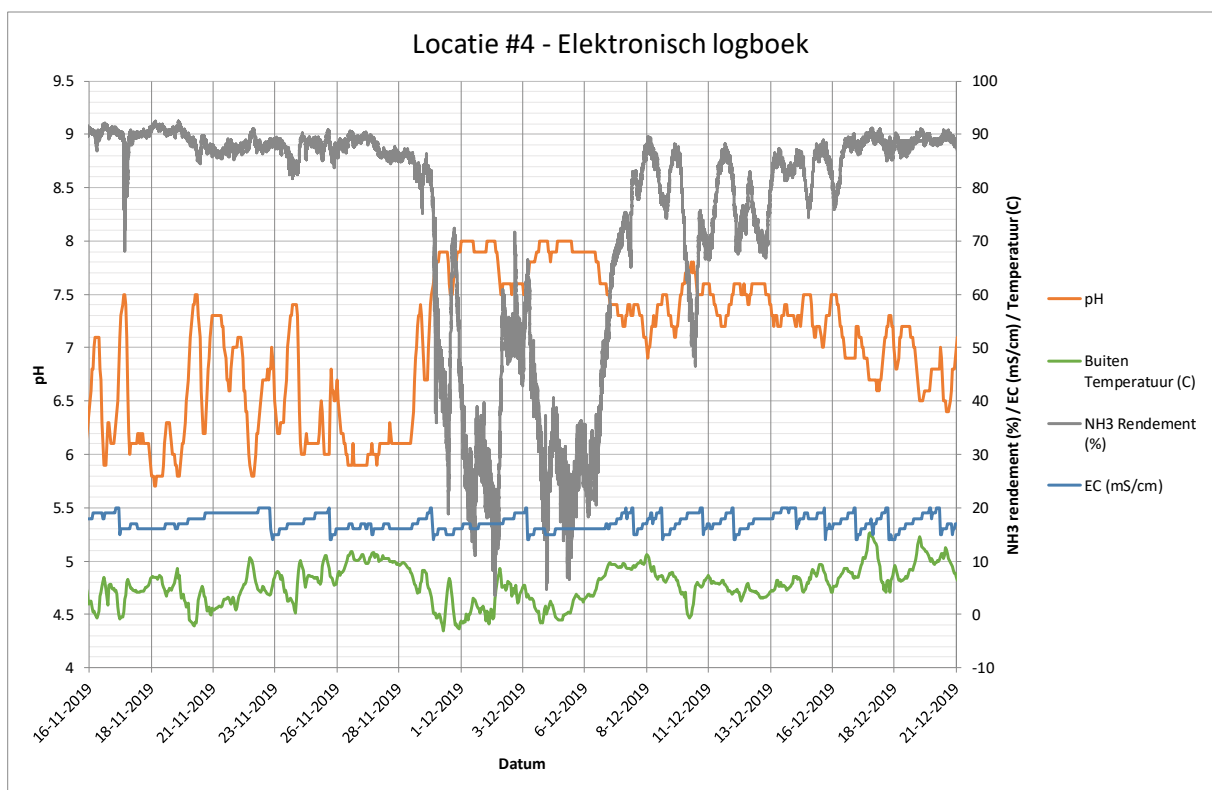
3.5.2 Nulmeting locatie #4

Tijdens de nulmeting van 12-11-2019 tot 24-12-2019 op locatie #4 werd de ammoniak vrij constant rond de 90% afgevangen en er leek een constante uitgaande concentratie van ongeveer 1 ppm te zijn (Figuur 19). Echter in de periode vanaf 29-11-2019 tot aan 07-12-2019 daalt het rendement naar 20% tot 60%. Na deze afname herstelde de ammoniakverwijdering weer richting de 90% verwijdering. Uit de data van het elektronisch logboek bleek dat de afname in verwijderingsrendement van ammoniak overeen kwam met een verhoging van de pH naar boven de 7,5 (Figuur 20).

Uit data verkregen van het KNMI bleek dat er vanaf 30-11-2019 tot 04-12-2019 in de nachten de temperatuur onder de 0 graden was. Na 04-12-2019 toen de temperatuur in de nacht weer begon toe te nemen nam ook het ammoniakverwijderingsrendement weer toe. Er was hier waarschijnlijk een verminderde biologische activiteit in het waswater door een daling van de temperatuur, waardoor er minder nitrificatie plaats vond en de pH begon te stijgen. Nadat de biologische activiteit weer toenam met toenemende buiten temperatuur begon de pH ook weer te dalen door een toename in nitrificatie in het waswater. Nadere analyse van het elektronisch logboek liet zien dat de pH in de periode 12-11-2019 tot 03-02-2020 slechts 63% van de tijd binnen de toegestane bandbreedte van 6,5 en 7,5 was. Gedurende 20% van de tijd was de pH boven de 7,5 en 17% van de tijd was de pH onder de 6,5.



Figuur 19 Locatie #4 nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniak sensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement, meting vond plaats vanaf 13 november tot 25 december 2019.



Figuur 20 Locatie #4 elektronisch logboek: De pH en EC van het waswater in de luchtwasser zoals geregistreerd in het elektronisch logboek. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniak sensoren. Buitentemperatuur is verkregen van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation.

De geurrendementen varieerde erg tijdens de nulmeting, er leek wel een dalende trend in de geurrendementen vanaf het begin van de nulmeting (Tabel 16). Doordat de ventilatiedata ontbreken (zie 2.5.4) voor deze locatie was er geen duidelijk verband te ontdekken tussen de dalende trend in de geurrendementen en de werking van de luchtwasser.

Tabel 16 *Locatie #4 geurmetingen nulmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waardes weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waardes over deze periode. De pH, EC en het ventilatie frequentie zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniaksensoren.*

		Geurmetingen nulmeting locatie #4		
Datum		12-11-2019	21-11-2019	18-12-2019
pH		6,0	7,1	7,1
EC	mS/cm	18	11	19
Ventilatie debiet		N.B.	N.B.	N.B.
Geur in	OU _E /m ³	1.604	2.268	1.119
Geur uit	OU _E /m ³	625	1.187	737
Geurrendement	%	61	48	34
NH ₃ conc in	ppm	10 ¹	9,4	10,6
NH ₃ conc uit	ppm	<0,3 ¹	0,8	0,9
NH ₃ rendement	%	100	91	92

¹Door technische mankementen aan de ammoniaksensor zijn de resultaten van de kitagawa meting weergegeven.

De NO_x emissie was op 12-11-2019 55% van de ingaande ammoniak concentratie, en daalde daarna naar 21% en 14% van de ingaande ammoniakconcentratie op 21-11-2019 en 18-12-2020 respectievelijk (Bijlage 2). Dit was waarschijnlijk het gevolg van een toename in de pH van 6 op 12-11-2019 naar 7,1 op 21-11-2019 en 18-12-2019, waardoor er geen HNO₂ (g) werd meegemeten in de NO_x metingen op 21-11-2019 en 18-12-2019. Er was op alle drie de meetdagen een N₂O productie van onder de 5% van de totaal ingaande ammoniak concentratie.

3.5.3 Verbetering locatie #4

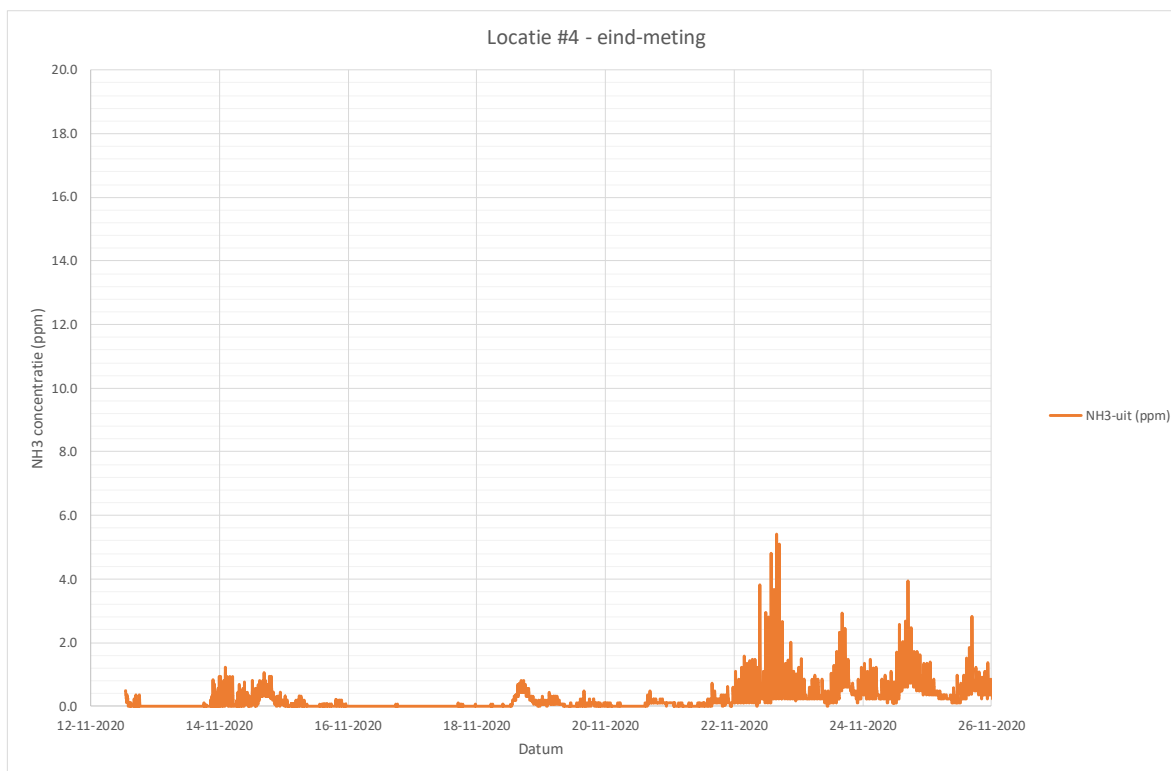
Er was tijdens de nulmeting tijdelijk een lager ammoniakverwijdering vanaf 29-11-2019 tot 07-12-2019, dit in combinatie met de toename in pH duidde op een vermindering van de nitrificatie. Bij nadere vergelijking van de omgevingstemperatuur bleek dat de temperatuur in de nachten tijdens deze periode onder het vriespunt kwam. Deze luchtwasser bevond zich bovenop het dak van de stal en was niet goed geïsoleerd, waardoor waarschijnlijk de temperatuur in de wasser zelf daalde tegelijk met de buitentemperatuur. Door een daling van de temperatuur in de luchtwasser en het waswater was er waarschijnlijk een verminderde biologische activiteit, en dus nitrificatie, in het waswater waardoor er minder ammoniak werd afgevangen tijdens deze koude periode.

Uit de nulmeting werd duidelijk dat het systeem een groot deel van de ingaande ammoniak omzet in NO_x. Er werd een lagere NO_x emissie gemeten corresponderend met een verhoging van de pH van 6 naar rond de 7. Waarschijnlijk werd er in de NO_x metingen bij de lagere pH van rond de 6 ook HNO₂ (g) gemeten, waardoor de daadwerkelijke NO_x productie waarschijnlijk lager is. Uit data van het elektronisch logboek over de pH van het waswater bleek dat de pH erg schommelde en zowel boven als onder de toegestane bandbreedte uit kwam. De pH was in de periode 12-11-2019 tot 03-02-2020 slechts 63% van de tijd binnen de toegestane bandbreedte van 6,5 en 7,5. Gedurende 20% van de tijd was de pH boven de 7,5 en 17% van de tijd was de pH onder de 6,5. Doordat deze luchtwasser zowel de bovenste als onderste grens van de pH overschreed werd er besloten om in het kader van het verbeterprogramma een pH-regeling te plaatsen op de luchtwasser om zo de pH van het waswater te stabiliseren met de verwachting dat daarmee ook de werking van de luchtwasser zelf zou verbeteren. De pH-regeling was zo ingesteld dat de pH van het waswater rond de 6,8 werd gehouden door het doseren van zuur of loog bij overschrijding van deze waarde. Vervolgens werd twee weken na het plaatsen en in werking zijn van de pH-regeling de eindmeting uitgevoerd.

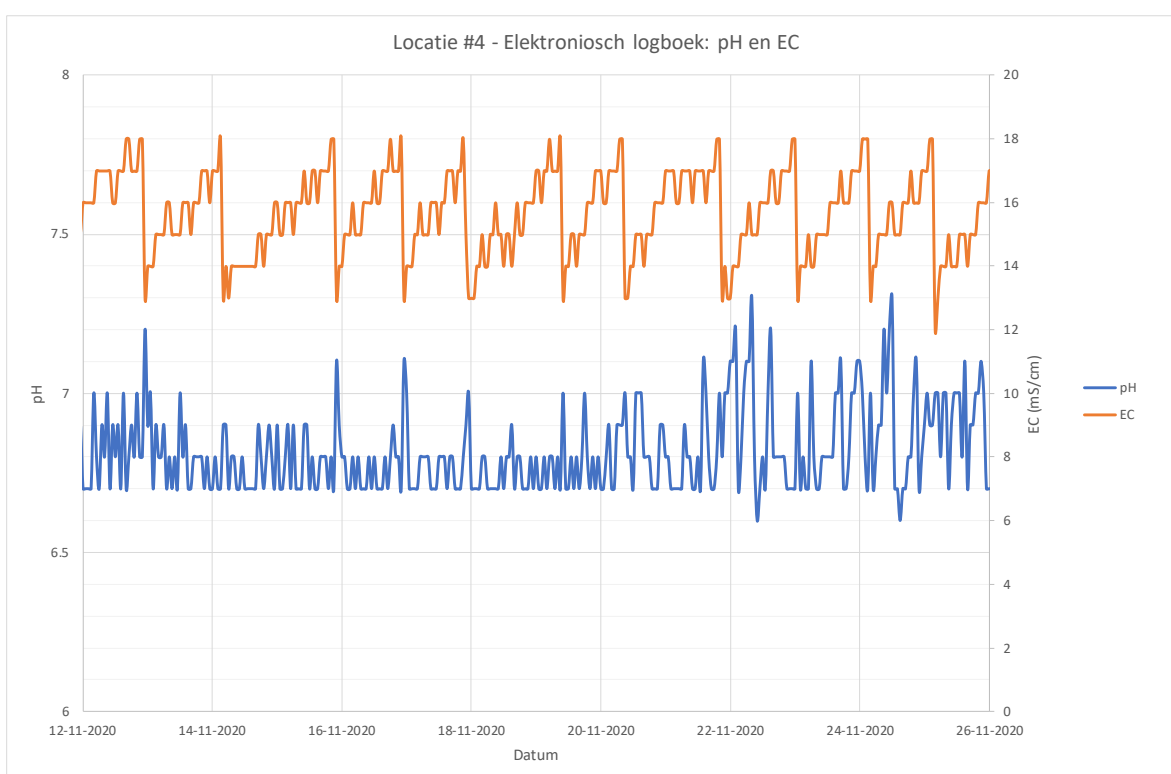
3.5.4 Eindmeting locatie #4

De eindmeting is uitgevoerd over een periode van 2 weken van 12-11-2020 tot 26-11-2020. Tijdens de eindmeting bleek dat de ammoniaksensor in de ingaande lucht niet goed afgesteld was waardoor de ingaande concentratie van ammoniak niet correct was gemeten. Daarom is deze niet opgenomen in Figuur 21, de uitgaande concentratie van ammoniak wordt wel weergegeven.

Tijdens de eindmeting leek er in het begin van de meetperiode sprake van een hoge ammoniak verwijdering aangezien de uitgaande ammoniak concentratie nooit hoger was dan 1 ppm tot 22-11-2020. Vanaf 22-11-2020 was er echter een toename in de uitgaande ammoniak concentratie variërend van ongeveer 2 tot 5,5 ppm. Deze toename in uitgaande ammoniak concentratie kwam overeen met een lichte toename van de pH van 6,8 naar 7,1 vanaf 20-11-2020 (Figuur 22). De verandering in de uitgaande ammoniakconcentratie kon mogelijk komen door een zwaardere belasting van de luchtwasser, wat het gevolg geweest kan zijn van of een toename ingaande ammoniakconcentratie of een verandering in het ventilatie debiet. Echter door het ontbreken van de ingaande ammoniakconcentratie (door een verkeerd gekalibreerde sensor) kan dit niet met zekerheid worden vastgesteld. Uit metingen met de nat-chemische referentie methode (waarmee de ammoniaksensoren werden vergeleken) kon wel worden opgemaakt dat er inderdaad een zwaardere belasting was in de tweede week van de eindmeting. Van 12-11-2020 tot 19-11-2020 was de gemiddelde ingaande ammoniakconcentratie gemeten met de nat-chemische referentie methode 8.3 ppm, terwijl er van 19-11-2020 tot 26-11-2020 een gemiddelde concentratie van 10.6 ppm werd gemeten. Deze toename in de latere helft van de eindmeting doet vermoeden dat een zwaardere belasting van de luchtwasser de oorzaak is voor de toename in de uitgaande ammoniakconcentratie vanaf 22-11-2020. Het ammoniakverwijderingsrendement van 12-11-2020 tot 19-11-2020 was 99% en van 19-11-2020 tot 26-11-2020 96%.



Figuur 21 Locatie #4 eindmeting: de uitgaande concentratie ammoniak (NH₃-uit) is weergegeven, door uitvallen van de sensor is er geen data voor de ingaande concentratie, meting vond plaats vanaf 12 november tot 26 november 2020.



Figuur 22 Locatie #4 elektronisch logboek: pH en EC metingen van het waswater zoals vastgelegd in het elektronisch logboek tijdens de eindmeting.

De geurmetingen hadden tijdens de eindmeting een verwijderingsrendement van 26% en 0%. Er is geen duidelijke oorzaak te vinden waardoor geurverwijdering lager was tijdens de eindmeting dan tijdens de nulmeting.

Tabel 17 Locatie #4 geurmetingen eindmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waarden weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waarden over deze periode. De pH, EC en het ventilatie frequentie zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniaksensoren.

Geurmetingen eindmeting locatie #4			
Datum		19-11-2020	26-11-2020
pH		6,8	7,2
EC	mS/cm	18	18
Ventilatie debiet		N.B.	N.B.
Geur in	OU _E /m ³	3.084	4.138
Geur uit	OU _E /m ³	2.273	4.152
Geurrendement	%	26	0
NH ₃ conc in ¹	ppm	12	11,5
NH ₃ conc uit ¹	ppm	<0.5	3
NH ₃ rendement	%	100	74

De NO_x productie was 16% op 19-11-2020 en 25% op 26-11-2020 (bijlage 2). De N₂O productie was op beide meetdagen onder de 5% van de totaal ingaande ammoniak concentratie. Er is geen duidelijke reden gevonden voor de NO_x productie in de luchtwasser.

3.5.5 Eindbeoordeling locatie #4

Tijdens de nulmeting was het ammoniakverwijderingsrendement rond de 90% tot er een vorst periode optrad die invloed leek te hebben gehad op het ammoniakverwijderingsrendement. Het is aannemelijk dat de verlaagde temperatuur de nitrificatie activiteit in de luchtwasser liet afnemen waardoor er minder ammoniak kon worden verwijderd en het rendement omlaag ging. Er was tijdens de eerste meetdag van de nulmeting een verhoogde NO_x emissie in vergelijking met de latere meetdagen (5,5 ppm tegenover 1,5 tot 3 ppm). Deze verhoogde productie leek gerelateerd aan de lagere pH-waarde op de eerste meetdag van rond de 6. Door het veelvoudig overschrijden van de toegestane pH bandbreedte werd er op deze locatie een pH-regeling geplaatst om een hogere ammoniakverwijdering te realiseren en de NO_x te verlagen.

In de eindmeting was er in het begin van de meetperiode een hoge ammoniakverwijdering met een uitgaande ammoniakconcentratie van onder de 1 ppm. Na 22-11-2020 nam de uitgaande ammoniak concentratie toe, wat correleerde met een lichte toename in de pH van de het waswater. Mogelijk dat de verhoogde uitgaande ammoniak concentratie een gevolg was van een zwaardere belasting in de tweede helft van de eindmeting. Tijdens de tweede helft van de eindmeting lag de gemiddelde ingaande ammoniakconcentratie ongeveer 25% hoger met een gemiddelde concentratie van 10.6 ppm. Door het ontbreken van ventilatiegegevens (niet geleverd door veehouder) en een verkeerd gekalibreerde ammoniaksensor in de ingaande luchtstroom is dit echter niet met zekerheid vast te stellen.

Tijdens de nulmeting was de NO_x productie tussen de 15-60% van de totaal ingaande ammoniak concentratie, afhankelijk van de meetdag (4 momentopnamen met gasdetectiebuisjes). Tijdens de eindmeting was dit niet afgenomen maar wel gemiddeld lager met metingen van 16-25% van de totaal ingaande ammoniak concentratie (2 meetmomenten met gasdetectiebuisjes). Vanwege het beperkte aantal metingen kunnen hier echter geen conclusies over worden getrokken. Hieruit blijkt echter wel dat zelfs met een hoge ammoniakverwijdering (zowel tijdens de nul- als eindmeting rond de 90% op deze locatie) de totale stikstofverwijdering erg laag kan zijn. Bij 90% ammoniak verwijdering met 60% NO_x productie is de totale stikstofverwijdering slechts 36%. Het is daarom belangrijk om bij luchtwasser ook de NO_x en N₂O productie zo laag mogelijk te houden.

Bij het vergelijken van de nulmeting met de eindmeting leek er geen duidelijke verbetering in ammoniak- of geurverwijdering en geen afname in de NO_x productie. Het plaatsen van de pH-regeling leek wel effectief in de pH tussen de toegestane bandbreedte houden van 6,5 tot 7,5. Als verbeterprogramma heeft de pH-regeling op deze locatie geen duidelijke verbetering opgeleverd.

3.6 Locatie #5

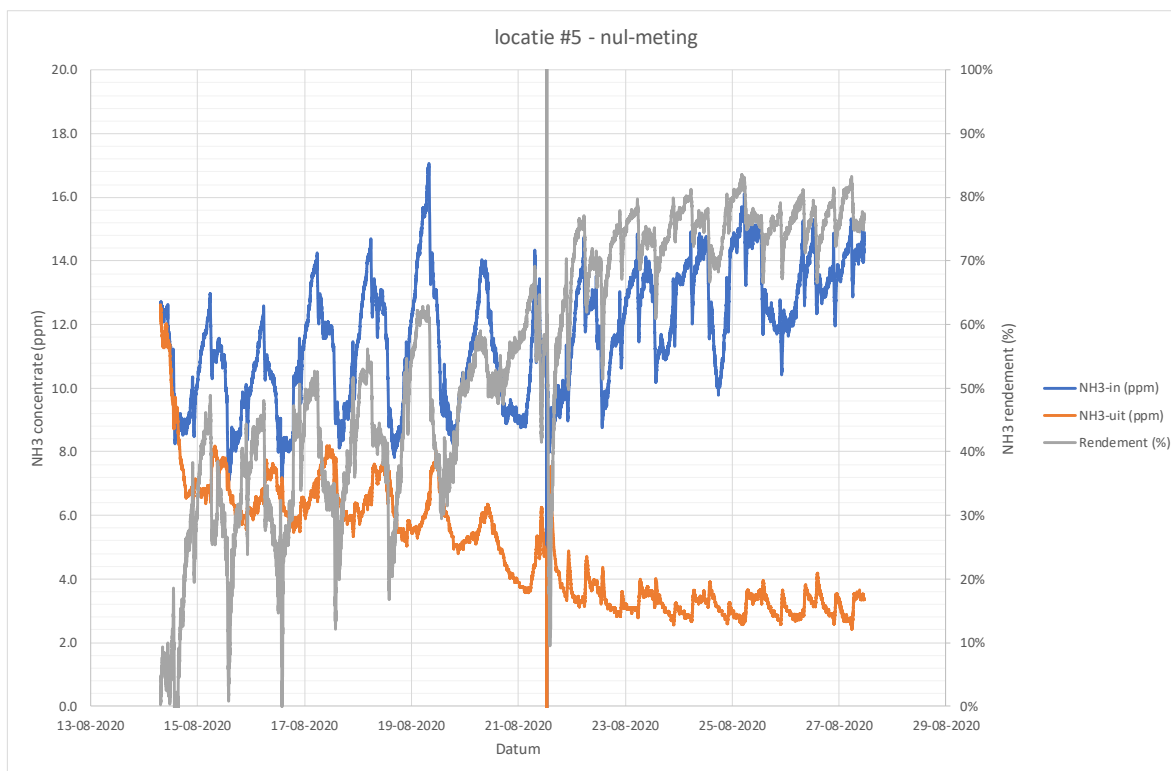
3.6.1 Oriënterend bezoek locatie #5

Tijdens de metingen van het oriënterend bezoek op 02-07-2019 werd er geen ammoniak verwijdering gemeten bij de biologische combi-wasser (BWL 2009.12), sterker nog: in de uitgaande lucht werd een hogere concentratie (15 ppm) ammoniak gemeten dan in de ingaande luchtstroom (13 ppm). Er werd een te hoge pH van rond de 7,7 gemeten in het waswater van de luchtwasser. Er was geen NO_x of lachgas emissie gemeten en de EC-waarde was met 17 mS/cm binnen de toegestane maximum waarde van 18 mS/cm.

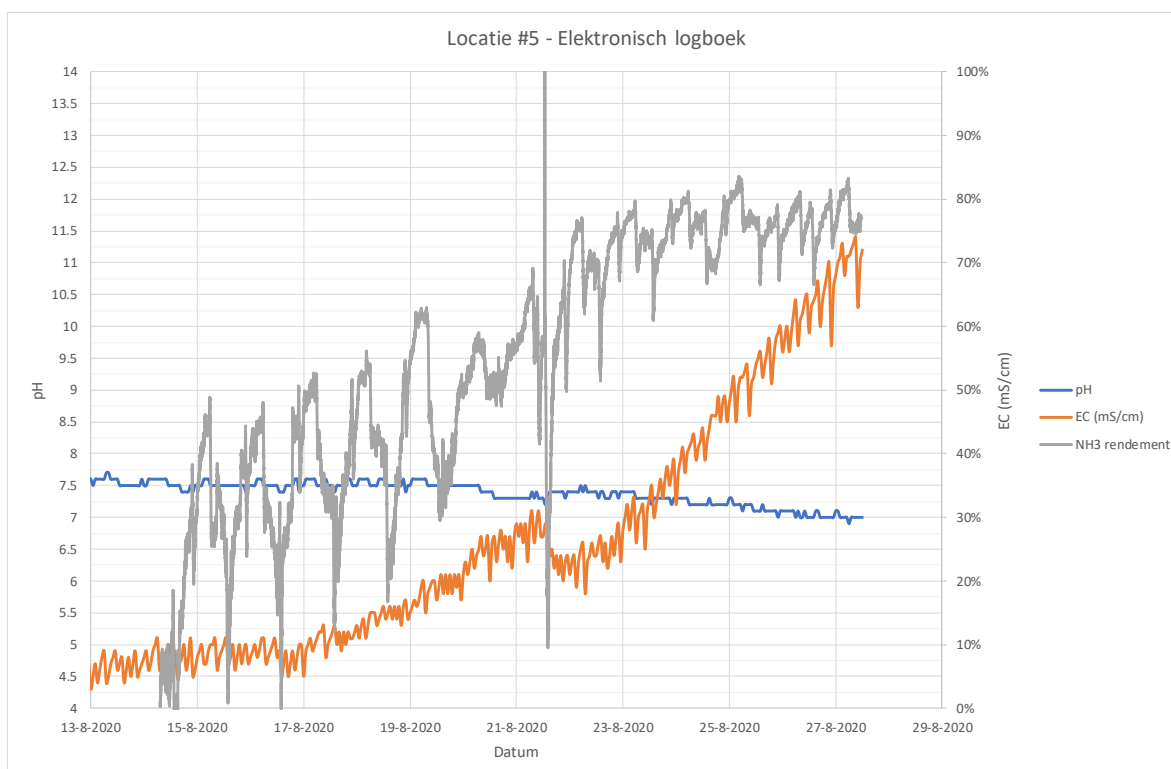
3.6.2 Nulmeting Locatie #5

De nulmeting is uitgevoerd gedurende een periode van twee weken van 13-08-2020 tot 27-08-2020. De ammoniakverwijdering was in het begin van de nulmeting erg schommelend tussen de 0% en 60% en stabiliseerde richting de 80% aan het eind van de meetperiode (Figuur 23). Deze stabilisatie correleerde met een afname van de pH van het waswater van 7,8 in het begin van de meetperiode naar 7,2 aan het eind van de meetperiode (Figuur 24). Bij metingen op waswater monsters genomen op 13-08-2020 bleek dat er nauwelijks nitriet (12 mg/L NO₂-N) in het waswater aanwezig was en nog minder nitraat (1mg/L NO₃-N) bij de start van de nulmeting, wat aantoonde dat er geen nitrificatie plaats vond tot vlak voor de nulmeting werd gestart. Nadere analyse van de data in het elektronisch logboek liet een stagnatie van de EC-waarde zien vanaf 07-08-2020 tot 14-08-2020 rond de 4,5 mS/cm. Er bleek dus voor de start van de nulmeting geen of nauwelijks verwijdering van ammoniak plaats te vinden. Echter vanaf de start van de nulmeting op 13-08-2020 leek zowel de ammoniak verwijdering als de nitrificatie weer op gang te komen, analyse van watermonsters genomen op 20-08-2020 lieten een stijging in de nitrietconcentratie ten opzichte van 13-08-2020 zien naar ongeveer 110 mg/L NO₂-N, terwijl de nitraat concentratie gelijk bleef. Dit samen met de gemeten toenemende ammoniakverwijdering rendement deden concluderen dat de luchtwasser in een opstart fase was na een tijdelijke stilstand waarin er geen ammoniak werd verwijderd. Uit nadere analyse van de data uit het elektronisch logboek werd niet duidelijk wat er in de periode voor de start van de nulmeting mogelijk mis was met de luchtwasser.

Bij metingen op monsters van het waswater bleek dat de pH meter van de luchtwasser niet goed was gekalibreerd. De daadwerkelijke waarde van de pH was 0,2 tot 0,3 eenheden hoger dan wat de wasser opsloeg in het elektronisch logboek. Ervan uitgaande dat de pH meter consistent een pH-waarde registreert die ongeveer 0,2 eenheden onder de daadwerkelijke pH zat, was de pH van het waswater pas op 24-08-2020 daadwerkelijk onder de 7,5. Dit correleerde met de stabilisatie van het ammoniakverwijderingsrendement rond de 80% op 24-08-2020. Uit gegevens van het elektronisch logboek bleek dat de pH in de luchtwasser over de periode van 20-07-2020 tot 28-08-2020 slechts 67% van de tijd tussen de toegestane bandbreedte van 6,5 en 7,5 zat, de overige 32% van de tijd was de pH boven de 7,5. Dit komt overeen met het beeld uit het oriënterend bezoek waarin er geen ammoniak verwijdering werd gemeten en een pH boven de 7,5 in het waswater werd gemeten.



Figuur 23 Locatie #5 nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement. Meting vond plaats vanaf 14 augustus tot 28 augustus 2020.



Figuur 24 Locatie #5 elektronisch logboek: de waarden voor pH en EC zijn zoals geregistreerd door het elektronisch log systeem tijdens de nulmeting. Deze waarden zijn niet gecorrigeerd voor de verkeerd gekalibreerde pH meter. NH₃ rendement is het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten met de ammoniaksensoren.

De geurverwijderingsrendementen varieerden over de meetdagen met 28%, 50% en 25% op de 1^e, 2^e en 3^e meetdag (Tabel 18). Mogelijk dat de zeer hoge concentratie van de ingaande geur van invloed was op het lagere geurverwijderingsrendement op 27-08-2020 ten opzichte van 20-08-2020.

Tabel 18 *Locatie #5 geurmetingen nulmeting Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waardes weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waardes over deze periode. De pH, EC en het zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en de ventilatiefrequentie van de frequentielogger. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniaksensoren.*

Geurmetingen nulmeting locatie #5				
Datum		13-08-2020	20-08-2020	27-08-2020
pH		7,6	7,4	7,0
EC	mS/cm	4,8	6,4	10,8
Ventilatiefrequentie	Hz	40,7	40,1	30,8
Geur in	OU _E /m ³	5.490	2.695	11.387
Geur uit	OU _E /m ³	3.957	1.354	8.523
Geurrendement	%	28	50	25
NH ₃ conc in	ppm	10,9	11,4	12,1
NH ₃ conc uit	ppm	7,0 ¹	5,3	2,4
NH ₃ rendement	%	36	53	80

¹Op 13-08-2020 was de uitgaande lucht NH₃ sensor nog niet actief tijdens het nemen van de geur monsters. Data voor NH₃ conc uit is verkregen van de Kitagawa test.

Op 20-08-2020 en 27-08-2020 werd er een hoge productie lachgas geconstateerd (Bijlage 2). Voor beide meetdagen werd rond de 40% van de totale ammoniak omgezet in lachgas. De toename in ammoniakverwijdering lijkt dus voornamelijk te worden omgezet in lachgas. Er vond geen omzetting in NO_x plaats. Er is geen duidelijke aanleiding gevonden voor de hoge lachgas productie op deze locatie.

3.6.3 Evaluatie nulmeting locatie #5

Uit de data uit het elektronisch logboek bleek uit de stagnatie van de EC-waarde dat de luchtwasser op deze locatie vlak voor de start van de nulmeting geen ammoniak verwijderde. Na het starten van de nulmeting was er een toename van de ammoniakverwijdering die leek te stagneren rond de 80%. Bij verdere analyse van de pH in het waswatermonster bleek dat de pH-sensor in de luchtwasser niet correct was gekalibreerd en ongeveer 0,2 tot 0,3 eenheden lager aangaf dan de daadwerkelijke waarde. Hieruit werd duidelijk dat op het moment dat de pH daadwerkelijk onder de 7,5 daalde de ammoniakverwijdering zich leek te stabiliseren. Tijdens het oriënterend bezoek en tijdens de nulmeting was de pH boven de toegestane 7,5 en vond er tegelijkertijd geen tot weinig ammoniakverwijdering plaats. Voor het verbeterprogramma zou het voorstel geweest zijn om op deze locatie een pH-regeling te plaatsen om zo waarschijnlijk de ammoniakverwijdering te stabiliseren. Echter door het reeds plaatsen van pH-regelingen op twee andere locaties (locatie #1 en locatie #3) is er besloten om geen verbeterprogramma uit te voeren en dus ook geen eindmeting.

3.7 Locatie #6

3.7.1 Oriënterend meting locatie #6

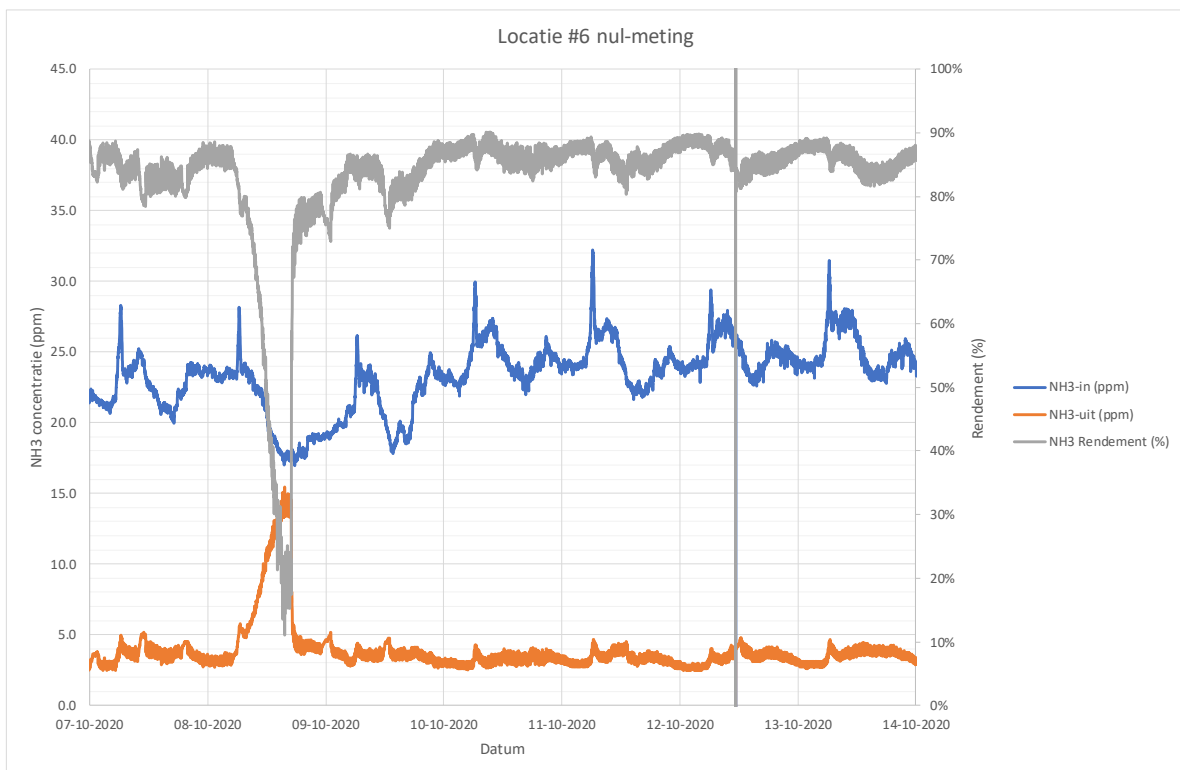
Tijdens een oriënterend bezoek aan locatie #6 op 20-02-2020 werd bij de chemische combi-wasser (BWL 2006.14) de pH van het waswater van de chemische wasstap en de daarop volgende neutrale wasstap gemeten. Hieruit bleek dat het zuur in de chemische wasstap doorsloeg in de (eigenlijk) neutrale tweede wasstap, waardoor deze ook een pH van 2 had. Hierdoor was het daadwerkelijke systeem eigenlijk een chemische wasstap gevolgd door een tweede chemische wasstap.

3.7.2 Nulmeting locatie #6

Er is bij de luchtwasser gedurende anderhalve week gemeten van 6 oktober 2020 tot 15 oktober. De ammoniakverwijdering was tijdens de nulmeting voornamelijk rond de 90%. Er was wel een afname in het ammoniakverwijderingsrendement op 08-10-2020, wat het gevolg was van het stilvallen van de luchtwasser door het uitvallen van de elektriciteit op de locatie (Figuur 25). Na het herinschakelen van de elektriciteit en het opnieuw opstarten van de luchtwasser herstelde het verwijderingsrendement zich binnen een uur naar rond de 90%. De pH in het waswater was gedurende de gehele meetperiode tussen de 1,5 en 2,5 voor beide wasstappen.

Het geurverwijderingsrendement was op 07-10-2020 27% en op 14-10-2020 53% (tabel 19). De netto uitgaande geur concentratie was nagenoeg gelijk voor beide metingen, ondanks de zwaardere belasting op 14-10-2020.

Er werd geen NO_x of lachgas emissie gemeten bij de luchtwasser.



Figuur 25 Locatie #6 nulmeting: Overzicht van de gemeten ingaande (NH₃-in) en uitgaande (NH₃-uit) ammoniak concentratie in ppm gemeten met de ammoniaksensoren, samen met het berekende ammoniakverwijderingsrendement gemeten van 6 oktober tot 14 oktober 2020.

Tabel 19 Locatie #6 geurmetingen nulmeting: Resultaten van de geurmetingen. Geurmonsters zijn genomen tussen 10:00 en 12:00, alle waardes weergegeven in de tabel zijn het gemiddelde van de gemeten waardes over deze periode. De pH, EC en het zijn verkregen uit het elektronisch logboek van de luchtwasser en de ventilatiefrequentie van de frequentielogger. De NH₃ concentraties zijn van de metingen met de ammoniaksensoren.

		Geurmetingen nulmeting locatie #6	
Datum		07-10-2020	14-10-2020
pH		2,2	1,9
EC	mS/cm	307	347
Ventilatiefrequentie	Hz	19,9	32,9
Geur in	OU _E /m ³	4.369	6.860
Geur uit	OU _E /m ³	3.201	3.191 ¹
Geurrendement	%	27	53
NH ₃ conc in	ppm	22,3	25,0
NH ₃ conc uit	ppm	3,9	2,6
NH ₃ rendement	%	83	90

¹Tijdens monsternamen was een monsterleiding afgekend, deze meting is daarom enkelvoudig.

3.7.3 Evaluatie nulmeting locatie #6

De ammoniakverwijdering was consistent rond de 90%, met uitzondering toen de luchtwasser uitviel door een stroomstoring, wat boven de gehanteerde waarde van de 85% zat. De enige daling in de werking was toen de elektriciteit op locatie uitviel en de hele luchtwasser tijdelijk niet functioneel was. De geurverwijdering in het systeem verschilde per meetdag, maar beide metingen hadden dezelfde uitgaande geurconcentratie van rond de 3200 OU_E/m³ met een verwijderingsrendement van 27% en 53%. Alle geurverwijdering tijdens de nulmeting vond plaats door het oplossen van geurcomponenten in zure wasstappen, mogelijk dat de plaatsing van een biologische neutrale wasstap dit rendement nog zou kunnen verbeteren.

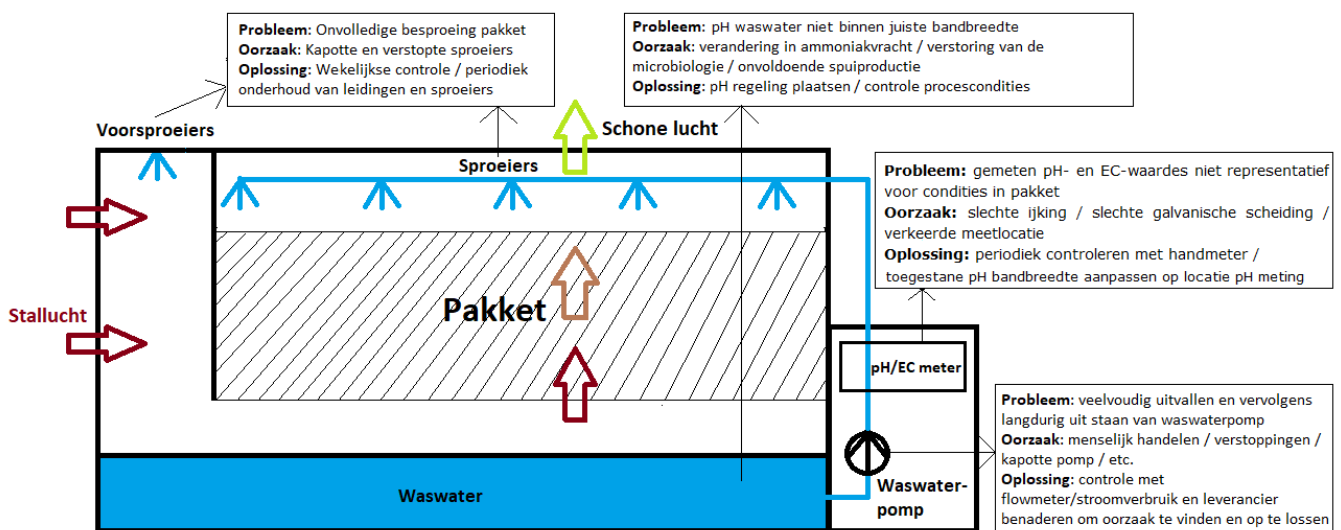
Voor het verbeterprogramma aan deze luchtwasser zou de doorslag van de eerste zure wasstap naar de tweede neutrale wasstap moeten worden voorkomen of worden gecorrigeerd. Hiervoor zijn meerdere oplossingen bedacht:

1. Het plaatsen van een scheidingswand tussen de twee wasstappen of de wasstappen verder uit elkaar te plaatsen waardoor er minder doorslag van zuur plaats zal vinden.
2. De stroom richting van de opgevangen sproeiwater aanpassen en vers water bij doseren bij de neutrale wasstap. In de huidige opstelling werd het opgevangen sproeiwater onder het pakket opgevangen en stroomde dit van de zure stap naar de neutrale stap. Hierdoor vond er menging van de zure vloeistof met de neutrale vloeistof plaats. Door de stroomrichting om te draaien en vers water te doseren bij de neutrale stap zal er minder zuur in de neutrale wasstap terecht komen.
3. Spuiwater debiet verhogen door een lagere EC grens aan te houden. Door het verlagen van de EC grens zal er meer spuiwater gevormd worden en meer vers water worden gedoseerd. Hierdoor zal de pH minder snel dalen en de verzuring minder snel plaats vinden.
4. Plaatsen van een pH-regeling op de neutrale wasstap. Bij een verlaging van de pH kan er met loog worden gedoseerd om de pH neutraal te houden in de neutrale wasstap.
5. Extra sproeiers plaatsen tussen de zure wasstap en de neutrale wasstap die water richting de zure wasstap sproeien. Door extra te sproeien met water zal het zuur in de zure wasstap niet met de lucht worden meegevoerd naar de neutrale wasstap maar daarvoor worden afgevangen met het water uit de extra sproeiers.

De meeste oplossingen vereisten op deze locatie veel technische veranderingen waardoor er technisch gezien een nieuwe luchtwasser neergezet moest worden. Daarom werd besloten om op deze locatie geen verbeterprogramma en ook geen extra eindmeting meer uit te voeren.

4 Discussie

In dit onderzoek is bij zes combi-luchtwassers waarvan bekend was dat deze niet goed functioneerden het ammoniak- en geurrendement gemeten en bepaald of er mogelijk technische mankementen aanwezig waren die van invloed waren op de rendementen. Voor vier van de zes locaties is een verbeterprogramma uitgevoerd en daarna zijn opnieuw de ammoniak- en geurrendementen bepaald om na te gaan of het verbeterprogramma een positief effect heeft gehad op de rendementen. Bij twee locaties is er een pH-regeling geplaatst om de pH in het waswater te kunnen bijsturen, bij één locatie is geen pH-regeling geplaatst maar werden wel de spuiwater-instellingen aangepast en zijn de pH- en EC-sensoren opnieuw gekalibreerd en op één locatie bleek de luchtwasser door menselijk handelen minder effectief waarna de gebruiksinstructies zijn veranderd zonder verder technische veranderingen aan te brengen of instellingen te veranderen. Hieronder worden de belangrijkste observaties vanuit dit onderzoek besproken, in Figuur 26 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is een schematisch overzicht van de vier meest geconstateerde problemen bij biologische combi-wassers weergeven.



Figuur 26 Overzicht van de meest voorkomende technische problemen bij biologische combi-wassers, de daarbij horende mogelijke oorzaken en de mogelijke oplossingen om dit beter te controleren of te verhelpen.

4.1 Geïdentificeerde technische mankementen

4.1.1 Storingen waswaterpomp

Uit metingen op locatie #1, #2 en #3 is gebleken dat storingen in biologische combi-wassers (met stilvallen van de waswaterpomp tot gevolg) meteen een negatieve uitwerking hebben op het ammoniakverwijderingsrendement. Wanneer de pomp uitgeschakeld was daalde het rendement tot nul, maar ook na het weer inschakelen van de pomp was er sprake van een aanhoudend negatief effect van enkele dagen op het ammoniakverwijderingsrendement. Zelfs wanneer de pH weer tot onder de 7,5 was gedaald bleef het ammoniakrendement lager dan voordat de waswaterpomp was stilgevallen. Pas na een periode van ongeveer een week na het herstarten van de waswaterpomp kwam het ammoniakverwijderingsrendement weer terug op het oude niveau.

Deze storingen in de biologische combi-wassers hebben mogelijk ook een negatief effect gehad op de geurverwijdering. Bij locatie #3 was de geurverwijdering voor de storing met de waswaterpomp beduidend hoger (rond de 70%) dan na de storing (20 tot 30%), daarnaast lijkt de geurverwijdering

langzamer te herstellen van de storingen dan de ammoniakverwijdering. Door het geringe aantal metingen kan deze observatie echter niet met zekerheid worden vastgesteld, maar lijkt wel een belangrijk aandachtspunt om geurverwijdering door biologische combi-wassers te garanderen.

Chemische combi-wassers lijken, zoals mag worden verwacht, minder gevoelig te zijn voor het stilvallen van de waswaterpomp dan de biologisch combi-wassers; op locatie #6 werd binnen enkele uren na herstarten van de luchtwasser hetzelfde ammoniakverwijderingsrendement behaald als voor de storing. Dit komt doordat de verwijdering in de chemische wasser berust op een chemisch proces dat acuut plaats vindt, terwijl het biologische proces langzamer werkt en daardoor slechter kan adapteren (herstellen) op veranderingen (storingen).

4.1.2 Schoonmaken van het pakket

Het schoonmaken van het pakkingsmateriaal lijkt een vergelijkbaar negatief effect te hebben gehad op het ammoniakverwijderingsrendement als het stilvallen van de waswaterpomp. Ook in dit geval daalde het ammoniakrendement tijdens het schoonmaken naar nul en was er geen sprake van een snel herstel van het rendement na schoonmaken. Schoonmaken van het pakkingsmateriaal lijkt een nog langer aanhoudend negatief effect te hebben dan het stilvallen van de waswaterpomp; na een week tijd was het rendement slechts hersteld tot ongeveer een derde van het rendement dat behaald werd voordat het schoonmaken van het pakket plaats vond (locatie #3).

Het schoonmaken (en dus het uitzetten van de luchtwasser) lijkt verder hetzelfde effect op geurverwijdering te hebben als het stilvallen van de waswaterpomp. Bij locatie #3 werd ook na het schoonmaken van het pakkingsmateriaal een vergelijkende vermindering van het geurverwijderingsrendement gevonden (daling van ongeveer 70% naar 10-30%) als werd geobserveerd bij het stilvallen van de waswaterpomp. Deze observatie versterkt het vermoeden dat voor een constante hoge geurverwijdering biologische combi-wassers zo min mogelijk stil moeten staan.

4.1.3 Nalatig onderhoud

Bij meerdere locaties is er een oriënterende meting uitgevoerd om te bepalen of de luchtwasser ondermaats presteerde. Bij deze oriënterende bezoeken zijn er diverse technische nalatigheden geconstateerd bij meerdere luchtwassers. Het betreft hier o.a. verstopte en/of afgebroken sproeiers waardoor het pakket niet volledig wordt besproeid, verstopte leidingen waardoor een groot gedeelte van het pakket niet wordt besproeid, kapotte druppelvangsers waardoor er veel waterverlies plaats vindt en afwijkende pH- en/of EC-sensoren waardoor de gemeten waarden niet overeenstemmen met de werkelijke condities in de luchtwasser. Bij een incomplete besproeiing zal een groot gedeelte van de ammoniak en geur niet worden verwijderd; wat resulteert in een laag verwijderingsrendement. Een verkeerd gemeten EC-waarde kan een grote impact hebben op de werking van de luchtwasser aangezien de gemeten EC-waarde direct gekoppeld is aan de spuiwaterregeling en een juist gemeten pH-waarde is van belang om te controleren of de procesomstandigheden correct zijn. Nalatigheden als deze kunnen een grote negatieve impact hebben op de werking van de luchtwasser en dienen daarom gecontroleerd te worden.

4.1.4 Biologische combi-wassers: pH in het waswater

Uit deze studie is gebleken dat biologische combi-wassers vaak een probleem hebben om de pH stabiel te houden tussen de toegestane bandbreedte van 6,5 tot 7,5. Bij alle vijf biologische combi-wassers, die geselecteerd waren voor dit onderzoek omdat ze niet goed functioneerden, is geconstateerd dat de pH tijdens de metingen enige tijd (variërend tussen 10-50% van de tijd) boven of onder de toegestane bandbreedte uitkwam. Verder is gebleken dat zodra de pH van het waswater boven de 7,5 uitkomt er een directe afname is in het ammoniakverwijderingsrendement, wat ook eerder door Melse et al. (2018c) is geconstateerd.

In dit onderzoek is bij twee locaties (#1 en #4), waarvan bekend was dat er vaak problemen zijn met de pH, een pH-regeling geplaatst om het effect daarvan op de verwijderingsrendementen te kunnen

beoordelen. Op locatie #1 is na het plaatsen van een pH-regeling het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van 41% tijdens de nulmeting verbeterd naar een verwijdering van 97% gedurende de eindmeting. Bij locatie #4 is ook een verbetering te zien in het ammoniakverwijderingsrendement, van 77% tijdens de nulmeting naar 98% tijdens de eindmeting. Bij beide eindmetingen is de pH na plaatsing van de pH-regeling niet buiten de toegestane bandbreedte van 6,5 tot 7,5 gekomen en zijn er geen tijdelijke dalingen in het rendement waargenomen gedurende de meetperiode. De ammoniakverwijdering was tijdens de eindmetingen aanzienlijk hoger dan de vereiste 85% verwijdering die voorgeschreven is in de Rav. Omdat niet in meerdere seizoenen is gemeten kan niet worden vastgesteld of er het jaar rond zulke hoge verwijdering behaald kan worden. Daarnaast was er bij locatie #4 nog steeds sprake van productie van stikstofoxiden; ongeveer 15-25% van de ingaande NH₃-N werd omgezet in stikstofoxiden ondanks de stabilisatie van de pH in het systeem. Hiervoor is geen goede verklaring gevonden.

Het geurverwijderingsrendement was over het gehele onderzoek erg wisselend tussen locaties en binnen dezelfde locatie. Er was alleen bij locatie #1 sprake van een duidelijke verbetering in de geurverwijdering na de plaatsing van de pH-regeling; hier werd een verdrievoudiging van de geurverwijdering gemeten van 26% bij de nulmeting naar 86% bij de eindmeting. Echter bij het plaatsen van een pH-regeling bij locatie #4 werd er geen verbetering in de geurverwijdering geconstateerd, maar was de geurverwijdering met gemiddeld 13% zelfs lager dan het gemeten gemiddelde van 48% tijdens de nulmeting. Het stabiliseren van de pH in het waswater is dus niet een garantie dat de geurverwijdering zal verbeteren.

Bij één locatie is verder gebleken dat de pH boven en onder het pakket tot wel 0,4 eenheden kan verschillen (locatie #3), een observatie die eerder is gedaan in het onderzoek van Melse en Ogink (2019). Door dit grote verschil is het mogelijk dat er bij biologische luchtwassers een pH buiten de bandbreedte van 6,5 tot 7,5 over het pakket wordt gehanteerd, zonder dat dit in het elektronisch logboek geregistreerd wordt. Hierdoor kan de luchtwasser een lager verwijderingsrendement hebben of kan er een hogere productie van stikstofoxiden (NO_x) optreden. Zoals reeds in Melse en Ogink (2019) werd geadviseerd blijkt nogmaals dat het nodig is om beter te definiëren waar de pH gemeten wordt wanneer gesproken wordt over een minimaal of maximaal gewenste pH-waarde. Een andere mogelijkheid is de pH-waarden onder en boven het pakket apart te meten en een afwijkende range opstellen voor deze twee verschillende pH sensoren om te garanderen dat de pH over het pakket binnen de gewenste 6,5 en 7,5 blijft.

4.1.5 Biologische combi-wassers: verkeerde instellingen

Uit metingen op locatie #2 is gebleken dat een verkeerd afgestelde spuiwaterregeling leidde tot een EC-waarde in het waswater boven de maximale waarde van 18 mS/cm. De verhoogde EC-waarde had tot gevolg dat er een laag ammoniakverwijderingsrendement gehaald werd door de luchtwasser. Hieruit blijkt dat het belangrijk is dat de instellingen van luchtwassers correct zijn zodat negatieve gevolgen op de ammoniakverwijdering voorkomen worden.

4.1.6 Biologische combi-wassers: invloed van temperatuur (vorst)

Bij locatie #4 was er een verlaagde ammoniakverwijdering tijdens een periode van vorst met slechts 20-60% verwijdering ten opzichte van de 90% verwijdering die behaald werd voor en na deze vorst periode. Mogelijk dat de lagere temperatuur een lagere microbiologische activiteit tot gevolg had, waardoor er minder ammoniak kon worden afgebroken in de luchtwasser. Dit is een indicatie dat de weersomstandigheden rond een luchtwasser invloed kunnen hebben op de rendementen die behaald worden. Mogelijk kan dit effect verminderd worden door luchtwassers te isoleren en het waswaterbassin beschut en geïsoleerd te plaatsen om de buitentemperatuur zo min mogelijk de temperatuur van het waswater te laten beïnvloeden.

4.1.7 Chemische combi-wassers: Verzuring van tweede neutrale wasstap

Bij een chemische combi-wasser met een zure wasstap gevolgd door een neutrale wasstap is gebleken dat de neutrale wasstap volledig kan verzuren door doorslag vanuit de zure wasstap, conform de

bevindingen van Melse et al. (2018a, 2018b). Dit kan een positief effect hebben op de totale ammoniakverwijdering van de luchtwasser wanneer het rendement van de eerste zure wasstap lager is dan 100%. Voor geurverwijdering is deze verzuring echter niet gewenst, omdat het verwachte rendement niet hoger zal zijn dan dat wat door enkelvoudige chemische wasser behaald wordt omdat door de verzuring er verder geen biologische afbraak van geur plaatsvindt.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Continue monitoring van ammoniak

Uit dit onderzoek blijkt dat het continue meten van de ammoniakverwijdering met ammoniaksensoren een vergaand inzicht kan geven in de werking van de luchtwasser. Door de luchtwasser te voorzien van ammoniaksensoren kan een stap gezet worden richting een directere controle van de werking van luchtwassers. Met directe monitoring van de ingaande en uitgaande ammoniakconcentratie kunnen sneller problemen met de werking van de luchtwasser worden vastgesteld zodat daar adequaat op gereageerd kan worden, zowel door de gebruiker (de veehouder) als door controlerende instanties. Daarom wordt geadviseerd om luchtwassers van ammoniaksensoren te voorzien op zowel de ingaande als uitgaande lucht.

5.2 Controle van procesvoering

Tijdens het onderzoek werd duidelijk dat nalatig onderhoud van de luchtwassers verscheidene problemen tot gevolg kan hebben. Daarom is het belangrijk dat er regelmatig visuele controle uitgevoerd wordt door de gebruiker, bovenop controle van de procesparameters in het elektronisch logboek. Hierbij dient er te worden gecontroleerd op verstoppingen van sproeiers en leidingen waarbij gelet wordt op het feit dat het gehele pakket besproeid dient te worden en er geen delen droogvallen. De pH- en EC-meter in de luchtwasser dient periodiek gecontroleerd te worden met bijvoorbeeld een handmeter, zodat mogelijke afwijkingen in de sensoren worden geconstateerd en deze dan opnieuw gekalibreerd kunnen worden of vervangen indien noodzakelijk.

Verder zal bij veelvoudig uitvallen van het systeem (bijv. door een pompstoring, een afgebroken sproeileiding, één of meerdere verstopte sproeiers) gedurende een groot deel van de tijd de luchtwasser benedenmaats presteren met een aanhoudende verlaagde ammoniakverwijdering. Het is daarom van belang dat bij aanhoudende storingen in luchtwassers de oorzaak achterhaald wordt en deze verholpen wordt door de leverancier, zodat de luchtwasser niet veelvoudig blijft uitvallen. Voorbeelden van parameters waarmee gecontroleerd zou kunnen worden of een luchtwasser vaak in storing staat zijn: het stroomverbruik van de pomp(en), levering van vers water aan het systeem en de totale productie hoeveelheid van spuiwater. Een verdere uitbreiding van het huidige elektronisch logboek met een of meerdere debietmeters bij de waswaterpomp(en) kan meer inzicht geven in mogelijke verstoppingen in leidingwerk en sproeiers.

5.3 Regeling van pH in biologische combi-wassers

Op basis van het nu voorliggende onderzoek is nogmaals aangetoond dat bij biologische combi-wassers de werking sterk samenhangt met de pH in het waswater en dat deze vaak niet binnen de toegestane bandbreedte blijft. In dit onderzoek werden vijf biologische combi-wassers geselecteerd waarbij tijdens aan het onderzoek voorafgaande oriënterende metingen verschillende problemen leken te spelen. Tijdens het onderzoek bleek dat bij alle biologische combi-wassers gedurende een groot gedeelte van de tijd de pH buiten de toegestane bandbreedte treedt. Geadviseerd wordt daarom om huidige biologische combi-wassers te voorzien van een pH-regeling om de pH in het waswater te kunnen corrigeren, in lijn met eerdere rapport van Melse et al, 2018c. Bij plaatsing van een pH-regeling zal wel gelet moeten worden op het zuurverbruik. Het doseren van zuur is alleen incidenteel corrigerend nodig bij biologische luchtwassers. Bij continue dosering van zuur zal het werkingsprincipe van de luchtwasser veranderen in dat van een chemische luchtwasser in plaats van een biologische luchtwasser. Op dat moment voldoet de luchtwasser niet meer aan de vergunning en is de kans groot dat de geurverwijdering sterk afneemt. Er zal daarom bij het plaatsen van een pH-regeling gelet

moeten worden op het zuurverbruik om te voorkomen dat het werkingsmechanisme van de biologische luchtwasser volledig veranderd in dat van een chemische luchtwasser.

Daarnaast blijkt dat er een groot verschil in pH kan ontstaan tussen de bovenkant en onderkant van het pakket, als gevolg van nitrificatie. Geadviseerd wordt om de locatie van de pH-meting te definiëren (dat is in de huidige BWL beschrijvingen niet het geval) waarop de voorgeschreven pH range is gebaseerd. Eventueel zouden aparte richtwaarden voor de pH kunnen gehanteerd worden, afhankelijk van de plek waar deze wordt gemeten (onder of boven het pakket). In de huidige situatie wordt een pH range van 6,5 - 7,5 gehanteerd, die vaak gebaseerd is op het water dat bovenop het pakket wordt verspreid. Om te voorkomen dat de pH in het pakket door verzuring als gevolg van nitrificatie toch onder de 6,5 uitkomt, is het wellicht beter om een minimale pH-waarde van 7,0 te hanteren voor het water wat boven op het pakket wordt gespreid. Een andere mogelijkheid zou zijn om de pH zowel boven als onder het pakket te registreren en voor beide meetpunten een verschillende toegestane pH range in te voeren. Hierdoor kan beter geborgd worden dat eventuele veranderingen van de pH in het pakket niet leiden tot te lage pH waarden onderin het pakket. Aanbevolen wordt om deze verschillende mogelijkheden nader te onderzoeken.

5.4 Ontwerp aanpassing chemische combi-wassers

Bij de chemische combi-wasser bleek dat de tweede neutrale wasstap verzuurde als gevolg van doorslag van de zure wasstap. Dit heeft geen negatief effect op het ammoniakverwijderingsrendement maar zal dit mogelijk zelfs nog verhogen. Mogelijk dat het voorkomen van de verzuring in de tweede wasstap de geurverwijdering kan verbeteren, dit is echter niet verder onderzocht in dit onderzoek. Om verzuring in de tweede wasstap te voorkomen wordt geadviseerd om het ontwerp van dit type luchtwasser dusdanig aan te passen dat er weinig tot geen doorslag van de zure naar de neutrale wasstap meer kan plaats vinden. Hierbij kan o.a. gedacht worden aan: een betere scheiding tussen de twee wasstappen (grotere afstand), een pH-regeling op de neutrale wasstap of voldoende vers water aanvoeren in de neutrale wasstap om verzuring te voorkomen.

5.5 Verbetering ammoniak- en geurrendementen in de praktijk

De verwachting is dat combi-wassers in de praktijk de ammoniakrendementen kunnen behalen zoals die in de Rav zijn opgenomen, wanneer de hierboven genoemde aanbevelingen worden opgevolgd. De onderzoeksresultaten laten zien dat de genoemde maatregelen mogelijk ook tot betere geurverwijderingsrendementen kunnen leiden. De effecten zijn echter wisselend en het is onwaarschijnlijk dat geurverwijdering op basis van deze maatregelen in alle combi-wassers zal verbeteren tot het niveau zoals dit tot medio 2018 in de Rgv was vastgelegd. Resultaten uit recent onderzoek (Kasper en Feilberg, 2019) gebaseerd op chemisch-analytisch geuronderzoek geven duidelijke aanwijzingen dat een grillig verloop van geurverwijdering kan samenhangen met de hoeveelheid en het type zwavelcomponenten in de lucht. Oplossingen voor betere geurverwijdering kunnen daarom ook gezocht worden in een aanpak op systeemniveau waarin de geurbron (rantsoensamenstelling, stalmanagement gericht op bv. verbeterde vloerhygiëne) en de luchtwasser als een integraal geheel worden beschouwd. Momenteel is in opdracht van het Ministerie van IenW onderzoek in uitvoering om een chemisch-analytische meetmethode voor geurmetingen in de veehouderij te ontwikkelen en te valideren. Aanbevolen wordt om met gebruikmaking van deze methode en een systeem-gerichte aanpak de geuremissie van stallen met combi-wassers te verminderen.

Referenties

- Kasper, P.L. & A. Feilberg, 2019. Removal of reduced sulfur compounds from diluted gas streams by iron(III)EDTA in a trickling filter with in situ iron re-oxidation. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. DOI 10.1002/jctb.5926
- Melse, R. W., & Ploegaert, J. P. M. (2011). Sturing van spuiwaterafvoer bij een biologische luchtwasser door middel van meting van de elektrische geleidbaarheid= Discharge water control by electrical conductivity measurement at a bioscrubber (No. 435). Wageningen UR Livestock Research.
- Melse, R. W., & Mol, G. (2004). Odour and ammonia removal from pig house exhaust air using a biotrickling filter. *Water Science and Technology*, 50(4), 275-282.
- Melse, R. W., Nijeboer, G. M., & Ogink, N. W. M. (2018a). Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen: Deel 1: Oriënterend onderzoek naar werking gecombineerde luchtwassers en verschillen tussen geurlaboratoria (No. 1081). Wageningen Livestock Research.
- Melse, R. W., Nijeboer, G. M., & Ogink, N. W. M. (2018b). Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen: Deel 2: Steekproef rendement luchtwassers in de praktijk (No. 1082). Wageningen Livestock Research.
- Melse, R. W., & Ploegaert, J. P. M. (2011). Sturing van spuiwaterafvoer bij een biologische luchtwasser door middel van meting van de elektrische geleidbaarheid= Discharge water control by electrical conductivity measurement at a bioscrubber (No. 435). Wageningen UR Livestock Research.
- Melse, R. W., Nijeboer, G. M., Kupers, G. C. C., & Ploegaert, J. P. M. (2018c). Emissie van stikstofverbindingen uit luchtwassers met biologische wasstap (No. 1112). Wageningen Livestock Research.
- Melse, R. W., & Ogink, N. W. M. (2019). Metingen aan twee biologische combi-luchtwassers door twee geurlaboratoria (No. 1172). Wageningen Livestock Research.
- Mosquera, J., Ploegaert, J. P. M., Nijeboer, G. M., Hol, J. M. G., & Melse, R. W. (2017). Onderzoek naar de nauwkeurigheid van een nieuw type sensor voor ammoniakconcentraties in stallucht (No. 1042). Wageningen Livestock Research.
- Mosquera, J., Ploegaert, J. P. M., & Kupers, G. C. C. (2019). Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems: Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research (No. 1187). Wageningen Livestock Research.
- Ni, J. Q., Robarge, W. P., Xiao, C., & Heber, A. J. (2012). Volatile organic compounds at swine facilities: A critical review. *Chemosphere*, 89(7), 769-788.

Bijlage 1

Tabel 20 Deze tabel geeft van alle uitgevoerde metingen de gemeten concentraties ammoniak met de Dräger sensor en de nat-chemische methode over dezelfde meetperiode. Het verschil tussen deze metingen is zowel absoluut als procentueel weergegeven. Per meting is aangegeven met welke sensor en hoe lang de meting geduurd heeft. Alle Dräger sensoren zijn intern genummerd en weergegeven bij ammoniak nummer.

ammoniak sensor	Dräger NH ₃ concentratie	Nat-chemisch NH ₃ concentratie	Vershil Dräger met nat-chemisch		Meettijd
nummer	ppm	ppm	ppm	%	Uren
7	5.6	2.6	3.1	54.4	167
	13.5	10.8	2.7	19.8	166
	8.4	5.4	3.0	36.2	168
	10.7	9.2	1.5	14.1	170
	0.7	0.0	0.6	94.7	96
	1.2	0.3	1.0	76.5	144
	0.6	0.1	0.5	89.5	264
12	15.1	14.5	0.6	4.1	336
17	18.2	16.8	1.4	7.6	73
	14.6	13.9	0.7	4.8	70
	17.2	15.9	1.3	7.6	169
27	14.0	11.2	2.8	19.9	73
	8.6	8.9	-0.3	3.5	70
	3.8	3.3	0.5	12.7	169
28	7.4	7.0	0.4	5.4	191
	8.2	8.4	-0.1	1.7	166
40	9.2	7.5	1.7	18.3	96
	10.6	8.7	1.9	17.9	144
	11.1	9.7	1.4	12.8	264
	34.0	32.0	2.0	6.0	336
	29.3	29.3	0.1	0.3	193
	25.8	25.6	0.2	0.6	167
49	17.5	15.7	1.8	10.4	167
	19.9	14.9	5.1	25.4	166
	13.9	12.6	1.3	9.3	168
	14.0	11.8	2.1	15.2	170
55	19.8	18.0	1.8	8.9	172
	22.0	21.8	0.2	0.9	169
59	5.9	4.9	1.0	17.6	167
	2.8	2.3	0.5	16.2	170
61	9.9	9.3	0.6	5.8	167
	11.2	10.7	0.5	4.5	170
	13.5	10.6	2.9	21.6	168
	13.5	13.5	-0.1	0.4	160
64	3.5	2.7	0.8	22.2	172
	3.2	4.0	-0.8	25.7	169

ammoniak sensor	Dräger NH3 concentratie	Nat-chemisch NH ₃ concentratie	Vershil Dräger met nat-chemisch	Meettijd
	14.1	13.6	0.5	169
65	9.6	9.4	0.2	193
	8.4	7.9	0.5	167
	9.8	8.9	0.9	165
68	0.2	0.5	-0.3	191
	0.1	0.2	-0.1	166
	3.2	3.1	0.1	168
	14.3	12.9	1.4	160
	0.1	0.1	0.0	168
	20.4	18.7	1.7	165
	20.5	19.6	0.9	169
Gemiddelde:	11.5	10.4	1.1	169
SD:	7.8	7.6	1.1	

Bijlage 2

Tabel 21 Locatie #1 Overige stikstofcomponenten (N_2O en NO_x productie): de ingaande ammoniak concentratie, de productie van lachgas (N_2O) in ppm, de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in lachgas, de NO_x productie in ppm en de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in NO_x .

	Datum	NH3 in ppm	N2O productie ppm	N2O-N productie % van ingaande NH3-N	NOx productie ppm	NOx-N productie % van ingaande NH3-N
Nul meting	29-10-2019	15.6	0.05	0.6	< 0.5	< 5.0
	4-11-2019	15.5	0.20	2.6	< 0.5	< 5.0
Eind meting	25-5-2020	8.0	0.20	5.0	1.2	15.0
	2-6-2020	6.1	0.22	7.2	0.5	8.2
	9-6-2020	7.7	0.21	5.5	< 0.5	< 6.5

Tabel 22 Locatie #2 Overige stikstofcomponenten (N_2O en NO_x productie): de ingaande ammoniak concentratie, de productie van lachgas (N_2O) in ppm, de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in lachgas, de NO_x productie in ppm en de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in NO_x .

	Datum	NH3 in ppm	N2O productie ppm	N2O-N productie % van ingaande NH3-N	NOx productie ppm	NOx-N productie % van ingaande NH3-N
Nul meting	17-2-2020	37.9	0.62	3.3	< 0.5	< 2.5
	2-3-2020	37.1	0.69	3.7	< 0.5	< 2.5
	12-5-2020	30.8	0.44	2.9	< 0.5	< 2.5
	26-5-2020	24.2	0.49	4.0	< 0.5	< 2.5
Eind meting	11-8-2020	20.2	0.61	6.0	< 0.5	< 2.5
	18-2-2020	20.1	0.41	4.1	< 0.5	< 2.5
	25-8-2020	24.1	0.44	3.7	< 0.5	< 2.5

Tabel 23 Locatie #3 Overige stikstofcomponenten (N_2O en NO_x productie): de ingaande ammoniak concentratie, de productie van lachgas (N_2O) in ppm, de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in lachgas, de NO_x productie in ppm en de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in NO_x .

	Datum	NH3 in ppm	N2O productie ppm	N2O-N productie % van ingaande NH3-N	NOx productie ppm	NOx-N productie % van ingaande NH3-N
1e nul meting	28-5-2020	16.9	0.86	10.2	< 0.5	< 5.0
	4-6-2020	19.1	1.23	12.9	2.2	11.5
	11-6-2020	19.0	1.47	15.5	0.5	2.6
2e nul meting	16-7-2020	19.7	2.23	22.7	4.0	20.3
	21-7-2020	13.2	-	-	< 0.5	< 5.0
	23-7-2020	14.4	0.70	9.7	1.0	7.0
Eind meting	19-10-2020	14.1	-	-	< 0.5	< 5.0
	26-10-2020	14.4	0.45	6.2	< 0.5	< 5.0

Tabel 24 Locatie #4 Overige stikstofcomponenten (N₂O en NO_x productie): de ingaande ammoniak concentratie, de productie van lachgas (N₂O) in ppm, de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in lachgas, de NO_x productie in ppm en de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in NO_x. *NH₃ in is verkregen van Kitagawa meting door storing in Dräger sensoren.

	Datum	NH ₃ in ppm	N ₂ O productie ppm	N ₂ O-N productie % van ingaande NH ₃ -N	NO _x productie ppm	NO _x -N productie % van ingaande NH ₃ -N
Nul meting	12-11-2019*	10.0	0.06	1.2	5.5	55.0
	21-11-2019	9.4	0.07	1.5	2.0	21.3
	18-12-2019	10.6	0.05	0.9	1.5	14.2
	23-1-2020	12.8	0.06	0.9	3.0	23.5
Eind meting	19-11-2020*	12.0	0.09	1.5	2.3	19.2
	26-11-2020*	11.5	0.19	3.3	3.0	26.1

Tabel 25 Locatie #5 Overige stikstofcomponenten (N₂O en NO_x productie): de ingaande ammoniak concentratie, de productie van lachgas (N₂O) in ppm, de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in lachgas, de NO_x productie in ppm en de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in NO_x. *NH₃ in is verkregen van Kitagawa meting door storing in Dräger sensoren.

	Datum	NH ₃ in ppm	N ₂ O productie ppm	N ₂ O-N productie % van ingaande NH ₃ -N	NO _x productie ppm	NO _x -N productie % van ingaande NH ₃ -N
Nul meting	13-8-2020	10.9	0.44	8.1	< 0.5	< 5.0
	20-8-2020	11.4	2.49	43.6	< 0.5	< 5.0
	27-8-2020	12.1	2.46	40.8	< 0.5	< 5.0

Tabel 26 Locatie #6 Overige stikstofcomponenten (N₂O en NO_x productie): de ingaande ammoniak concentratie, de productie van lachgas (N₂O) in ppm, de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in lachgas, de NO_x productie in ppm en de totale hoeveelheid ammoniak die omgezet is in NO_x.

	Datum	NH ₃ in ppm	N ₂ O productie ppm	N ₂ O-N productie % van ingaande NH ₃ -N	NO _x productie ppm	NO _x -N productie % van ingaande NH ₃ -N
Nul meting	7-10-2020	22.3	< 0.05	< 0.5	< 0.5	< 5.0
	14-10-2020	25.0	< 0.05	< 0.5	< 0.5	< 5.0

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.

