

# Goed benutten van biologische combi-luchtwassers

Onderzoek naar maatregelen aan biologische combi-luchtwassers om het verwijderings-rendement voor ammoniak en geur te verbeteren

Hans Groot Wassink, Rik Maasdam, Roland Mumm, Dessi Waty Pasaribu, Joost van Rooijen

Rapport 1545

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

# Goed benutten van biologische combi-luchtwassers

Onderzoek naar maatregelen aan biologische combi-luchtwassers om het verwijderingsrendement voor ammoniak en geur te verbeteren

Hans Groot Wassink[1], Rik Maasdam[1], Roland Mumm[2], Dessi Waty Pasaribu[2], Joost van Rooijen[1]

1 Wageningen Livestock Research

2 Wageningen Plant Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research in opdracht van provincie Noord-Brabant

Wageningen Livestock Research
Wageningen, maart 2025

Rapport 1545

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Groot Wassink, H., E. Maasdam, R. Mumm, D. Waty Pasaribu, J. van Rooijen, 2025. *Goed benutten van biologische combi-wassers; Onderzoek naar maatregelen aan biologische combi-luchtwassers om het verwijderingsrendement voor ammoniak en geur te verbeteren.* Wageningen Livestock Research, Openbaar rapport 1545.

Synopsis NL
In het project 'Goed benutten biologische combi-luchtwassers' is op vier bedrijven onderzoek gedaan aan biologische combi-luchtwassers. In het onderzoek zijn oorzaken onderzocht waarom deze luchtwassers niet altijd een stabiele en goede werking hebben. Daarnaast zijn maatregelen bedacht en getest waarmee in bestaande situaties de verwijderingsrendementen voor ammoniak en geur zijn te verbeteren.
Ruim een jaar lang is het verwijderingsrendement voor ammoniak continue gemeten; voor geur zijn periodiek metingen gedaan. De geurmonsters zijn geanalyseerd met twee methoden: de sensorisch methode volgens geurnorm EN-13725 en een chemisch-analytische methode. Deze laatste methode geeft inzicht in de samenstelling van de ventilatielucht. Daaruit is gebleken dat zwavelhoudende componenten een groot aandeel hebben in de geurbelasting van de uittredende stallucht uit de onderzochte luchtwassers.
Op meerdere aspecten zijn mogelijkheden voor verbeterde werking van de luchtwassers gevonden: uitbreiding in de software voor pH-regulering, locatie specifieke inregeling van de aansturing, informatievoorziening vanuit de luchtwasser aan eigenaar/beheerder, ontwerp en onderhoud.

Synopsis EN
In the project 'Making good use of biological combi air scrubbers', research was conducted on biological combi air scrubbers on four farms. The study identified reasons why these air scrubbers do not always have a stable and good performance. In addition, measures were devised and tested to improve removal efficiency for ammonia and odour in the existing situations.
For more than one year, the removal efficiency for ammonia was measured continuously; for odour, measurements were taken periodically. The odour samples were analysed using two methods: the sensory method according to odour standard EN-13725 and a chemical-analytical method. The latter method provides insight into the composition of the ventilated air. It showed that sulphurous components had a large share in the odour load of the outgoing airstream from the investigated air scrubbers.
Opportunities for improved operation of the air scrubbers were found in several aspects: improvements in software for pH regulation, site-specific adjustment of control and parameters, information provision from the air scrubber to owner/manager, design and maintenance.

Dit rapport is gratis te downloaden op https://doi.org/10.18174/686559 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, 2025
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.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1545

# Inhoud


**Woord vooraf** **5**

**Samenvatting** **7**

**1 Inleiding** **10**

1.1 Aanleiding 10
1.2 Doelstelling 11
1.3 Leeswijzer 11

**2 Materiaal en methoden** **12**

2.1 Opzet onderzoek 12
2.2 Werkingsprincipe biologische combi-luchtwasser 12
2.3 Meetlocaties 15
2.4 Meetstrategie en -methoden 17
2.4.1 Elektronisch logboek luchtwasser 17
2.4.2 Ammoniakmetingen 17
2.4.3 Geurmetingen 18
2.4.4 Lachgas 19
2.4.5 Stikstofoxiden 19
2.4.6 Ventilatiedebiet 19

**3 Resultaten** **21**

3.1 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 1 21
3.1.1 Meetperiode 1 21
3.1.2 Meetperiode 2 24
3.1.3 Meetperiode 3 27
3.1.4 Meetperiode 4 30
3.1.5 Meetperiode 5 34
3.1.6 Meetperiode 6 38
3.1.7 Integrale observaties en analyse - Locatie 1 41
3.2 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 2 44
3.2.1 Meetperiode 1 44
3.2.2 Meetperiode 2 47
3.2.3 Meetperiode 3 50
3.2.4 Meetperiode 4 53
3.2.5 Meetperiode 5 58
3.2.6 Maatregel aanpassen voersamenstelling 61
3.2.7 Meetperiode 6 64
3.2.8 Integrale observaties en analyse - Locatie 2 66
3.3 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 3 69
3.3.1 Meetperiode 1 69
3.3.2 Meetperiode 2 71
3.3.3 Meetperiode 3 75
3.3.4 Meetperiode 4 78
3.3.5 Integrale observaties en analyse - Locatie 3 82
3.4 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 4 84
3.4.1 Meetperiode 1 84
3.4.2 Meetperiode 2 86
3.4.3 Meetperiode 3 89

3.4.4 Meetperiode 4 92
3.4.5 Meetperiode 5 95
3.4.6 Maatregel aanpassen voersamenstelling 98
3.4.7 Integrale observaties en analyse - Locatie 4 100

**4 Discussie 103**

4.1 Verwijdering ammoniak 103
4.2 Verwijdering geur 104
4.3 Informatievoorziening over de luchtwasser aan de gebruiker 106
4.4 Technisch functioneren en ontwerp van biologische combi-luchtwassers 107
4.4.1 Ontwerp en bouw 107
4.4.2 Schuim- en slijmvorming 108
4.4.3 Onderhoud 109
4.5 Sensoren en rendementen 109

**5 Conclusies en Aanbevelingen 110**

5.1 Maatregelen 110
5.2 Aanbevelingen 111

**Literatuur 114**

**Bijlage 1 Geur-analyses chemisch analytische methode 115**

B1.1 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 1 115
B1.2 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 2 117
B1.3 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 3 120
B1.4 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 4 122

**Bijlage 2 Referentiemetingen ammoniak 124**

B2.1 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 1 124
B2.2 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 2 125
B2.3 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 3 126
B2.4 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 4 126

**Bijlage 3 Tijdreeksen van de locaties 127**

B3.1 Tijdreeks locatie 1 127
B3.2 Tijdreeks locatie 2 129
B3.3 Tijdreeks locatie 3 130
B3.4 Tijdreeks locatie 4 132

# Woord vooraf

In opdracht van de provincie Noord-Brabant (PNB) heeft Wageningen Livestock Research (WLR) binnen het project 'Goed benutten biologische combi-luchtwassers' onderzoek gedaan bij vier biologische combi-luchtwassers. Voorliggend meetrapport is het eindproduct van de metingen waarvoor WLR verantwoordelijk was binnen dit project.

Het project is geïnitieerd door provincie Noord-Brabant in vervolg op eerdere onderzoeken naar het functioneren van combi-luchtwassers in de praktijk. Daaruit is gebleken dat deze luchtwassers niet altijd de verwachte verwijderingsrendementen voor ammoniak en geur halen. De hoofdoorzaken daarvan zijn niet makkelijk te doorgronden en mogelijke maatregelen om de rendementen in de praktijk te verbeteren zijn daardoor lastig te formuleren.

PNB heeft daarom het project 'Goed benutten biologische combi-luchtwassers' opgezet om op vier bedrijven maatregelen te onderzoeken die bij bestaande biologische-luchtwassers zijn toe te passen om de werking in de praktijk te verbeteren.

Vier vleesvarkenshouders zijn bereid gevonden deel te nemen aan het project. Bij iedere locatie is een gespreksgroep gevormd met daarin: veehouder, luchtwasserleverancier of -onderhoudspartij, omgevingsdienst, opdrachtgever en WLR. We willen allen bedanken voor hun medewerking en inbreng. In het bijzonder de veehouders voor het openstellen van hun bedrijf en luchtwasser, voor het inbrengen van praktijkervaringen in de overleggen en hun bijdrage aan het realiseren van maatregelen.
De luchtwasserleveranciers of -onderhoudspartijen danken we voor hun kundige inbrengen in de overleggen, gebaseerd op ervaringen bij veel luchtwassers. Ook dank voor de veelal snelle realisatie van technische aanpassingen aan de luchtwassers waarover in de overleggen besloten was. Pouderoyen Tonnaer willen we bedanken voor organisatie van de overleggen met de gespreksgroepen en het zoeken van en contact houden met de bedrijven.

De auteurs

# Samenvatting

Uit eerdere onderzoeken naar het functioneren van combi-luchtwassers in de praktijk is gebleken dat deze niet altijd de beoogde verwijderingsrendementen voor ammoniak en geur realiseren. De hoofdoorzaken daarvan zijn niet altijd makkelijk te doorgronden en mogelijke maatregelen om de rendementen in de praktijk te verbeteren zijn daardoor lastig te formuleren.
De provincie Noord-Brabant heeft daarom, binnen het kader van het Schone Lucht Akkoord, het project 'Goed benutten biologische combi-luchtwassers' opgezet. Het project had als doel om de werking van combi-luchtwassers in de praktijk te verbeteren door op vier bedrijven maatregelen te onderzoeken die bij bestaande biologische combi-luchtwassers zijn toe te passen. Goede werking van deze luchtwassers is onder andere van belang om de impact van veehouderijen op de leefomgeving en luchtkwaliteit te verminderen.

Binnen dit project zijn op vier bedrijven bij één biologische combi-luchtwasser per bedrijf ruim een jaar lang continue metingen gedaan om de ammoniakverwijdering vast te stellen. Ook is periodiek de geurverwijdering bepaald met twee verschillende methoden, namelijk met de momenteel voorgeschreven olfactometrische methode en daarnaast met de chemisch analytische methode, die nog in ontwikkeling is. Verder is de data uit het elektronische logboek van de desbetreffende luchtwasser verzameld. In de loop van het project is ook het ventilatiedebiet dat door de luchtwasser ging geregistreerd vanuit het klimaatbesturingssysteem.

Ieder kwartaal is aan de hand van al deze gegevens de werking van de luchtwasser beoordeeld en zijn de resultaten en analyses besproken in een overleg. Voor dat gezamenlijke overleg waren uitgenodigd: veehouder, luchtwasserleverancier, onderzoekers, projectleider(s), omgevingsdienst en opdrachtgever. In dat overleg zijn ook de te testen maatregelen geformuleerd om de werking van de luchtwasser te verbeteren. Deze maatregelen zijn geïmplementeerd en het effect is aan de hand van de metingen in het volgende kwartaaloverleg beoordeeld.

Op alle locaties is de eerste periode een nulmeting geweest om zicht te krijgen op de werking van de luchtwasser voordat maatregelen zijn genomen. Daarna zijn (onderhouds-)acties ondernomen die nodig bleken om tot technisch goed werkende luchtwassers te komen. Hiervoor was veelal één periode nodig en soms twee perioden. In de resterende perioden zijn maatregelen getest zoals vastgesteld in de overleggen op locatie.

**Ammoniak**
Voor een goede verwijdering van ammoniak ($NH_3$) uit de stallucht zonder ongewenste neveneffecten is een juiste zuurgraad (pH) van het waswater van cruciaal belang gebleken. Als de zuurgraad hoger dan pH 7,5 is, lost ammoniak slecht op in het waswater en emitteert naar de omgeving. Als de pH van het waswater lager dan 6,5 is, lost ammoniak goed op, maar wordt in de luchtwasser (deels) omgezet naar andere stikstofgassen zoals stikstofoxiden ($NO_x$), lachgas ($N_2O$) en stikstofgas ($N_2$). Deze omzetting is ongewenst. $NO_x$ is net als $NH_3$, onderdeel van secundair fijnstof en lachgas is een sterk broeikasgas.
Het werkingsprincipe voor de verwijdering van ammoniak in biologische luchtwassers is gebaseerd op het microbiologische proces dat nitrificatie wordt genoemd. Tijdens dit proces ontstaat (netto) zuur, waardoor de zuurgraad (pH) van het waswater daalt als gevolg van de beoogde werking ("de luchtwasser verzuurt"). Luchtwassers spuien een deel van het waswater als de geleidbaarheid (EC) de maximaal toegestane waarde bereikt (bij EC = 20 mS/cm); daarmee wordt ook een deel van het zuur afgevoerd. Daarna wordt de voorraad waswater aangevuld met schoon water, waardoor de concentratie zuur daalt en de pH weer stijgt. Het verloop van de pH in de tijd toont de (on)balans in productie en afvoer van zuur.

pH wordt niet direct gereguleerd in biologische luchtwasser, tenzij de luchtwasser is uitgerust met een zuur/loog-dosering. Onderstaande maatregelen voor verbeterde werking richten zich voornamelijk op het in balans houden van de pH binnen de gewenste bandbreedtes van 6,5 – 7,5:

1. Begrenzing wegnemen in de afvoer van spuiwater en de aanvoer van schoon water naar de waswaterput.
   Deze maatregel heeft effect op de waterbalans van het waswater en daarmee op de pH. De spuiwaterafvoer is gelimiteerd als zowel de frequentie van het spuien als de hoeveelheid spuiwater per spui-moment begrenst zijn in de besturingssoftware van de luchtwasser. Hierdoor kan te weinig afvoer van spuiwater en aanvoer van schoon water plaats vinden en daalt de pH tot onder pH 6,5 – de onderste grenswaarde. Voldoende opslagcapaciteit voor spuiwater en aanvoercapaciteit van schoon water zijn randvoorwaarde voor deze maatregel.
2. Verbeterde, locatie-specifieke inregeling van parameters in de besturingssoftware van de luchtwasser.
   Parameters voor het spuien op basis van locatie-specifieke kenmerken, zoals pH van schoon water, zodanig inregelen dat de EC onder de maximale waarde blijft en de pH binnen de bandbreedte (6,5 -7,5) blijft. Bijvoorbeeld door in te stellen dat er ook wordt gespuid als de pH-waarde lager dan pH 6,5 wordt of door de hoeveelheid spuiwater per spuibeurt zodanig te verhogen dat productie en afvoer van zuur in balans zijn. Een juiste instelling is (handmatig) maatwerk op basis van de pH van het schone water (deze is afhankelijk van bron van schoon water en niet op elke locatie gelijk), de hoeveelheid te wassen stallucht en de concentratie ammoniak – samen emissievracht – en de variatie daarin, onder invloed van groeicyclus en seizoen. Door het gebruik van een specifiekere set instellingen of het gebruik van meerdere sets instellingen per luchtwasser/bedrijf zijn schommelingen in pH beter te ondervangen dan bij jaarrond gebruik van dezelfde (standaard) instellingen. Bijvoorbeeld een set instellingen passend bij een lage ammoniakvracht (kg $NH_3$/uur), een set voor hoge ammoniakvracht en een set voor de tijd met (gedeeltelijke) leegstand rond de wissel van dieren.
3. Automatische regeling in de besturingssoftware van de luchtwasser die pH en EC bewaakt.
   Geautomatiseerde variant van punt 2
   De besturing past spui-moment en -volume automatisch aan op basis van gemeten EC, pH en de trend van de pH. Zo'n automatische, adaptieve regeling in de besturing initieert (ook) spuimomenten bij een ingestelde daling in pH over een tijdsperiode en zodra de pH-waarde de onderste grenswaarde pH 6,5 bereikt. Deze regeling voorkomt dat het de pH van het waswater te laag wordt en blijft zonder dat handmatig ingrijpen nodig is. Zo wordt voorkomen dat een deel of alle ammoniak omgezet naar andere stikstofgassen in plaats van nitraat. De automatische regeling past de snelheid van omzetting van ammoniak naar nitraat aan en ondervangt zo het effect van wisselende weers- en bedrijfsomstandigheden en veranderingen in emissievracht gedurende de groeicyclus.
4. Plaatsing van een zuur- en loogdosering.
   Een zuur en loog doseerinstallatie is toe te passen in of zonder combinatie met hiervoor genoemde punten. Een zuurdosering lijkt vooral nodig te zijn bij luchtwassers die schoon water ontvangen met een pH hoger dan 7,5. Een loogdosering is nodig om te garanderen dat de pH niet onder 6,5 komt als bijsturing met spuien en toevoer van schoon water niet voldoende effectief is om dat te bewerkstelligen. Deze maatregel is een borging van de correcte pH-waarde voor biologische luchtwassers. Door het gebruik van hierboven genoemde adaptieve besturing is het verbruik van loog te minimaliseren.

**Geur**

Voor het onderzoek naar de verwijdering en eventuele productie van geur door de biologische combi-luchtwassers zijn 2 methoden gebruikt: de conventionele olfactometrische methode (EN-13725) en een chemisch-analytische methode, die in ontwikkeling was (Mumm et al., 2025). De geurconcentraties, zoals op dezelfde luchtmonsters bepaald door de conventionele en chemisch analytische methode, variëren sterk tussen de verschillende meetperiodes en tussen de locaties.
Over de gehele meetperiode heen is geen duidelijk verband gevonden tussen voertype (droogvoer op locatie 1 en 2, brijvoer op locatie 3 en 4) en de geurconcentratie of de gehalten van 17 gemeten geurstoffen.
Uit de chemisch analytische metingen blijkt dat de geurconcentratie van ingaande lucht gedurende het jaar vaak gedomineerd wordt door de zwavelhoudende componenten $H_2S$ en methylmercaptaan en in mindere mate dimethylsulfide. Op basis van gemeten concentraties bestaat de resterende geur in de uitgaande lucht uit de onderzochte biologische combi-luchtwassers naar schatting tot wel 90% uit deze drie stoffen. Bij deze luchtwassers is waargenomen dat ze deze zwavelcomponenten vaak matig/niet kunnen verwijderen. Zwavelcomponenten lossen slecht op in water met een pH tussen 7,5 en 6,5 (en lager). De andere meest voorkomende geurcomponenten in varkensgeur zijn goed te verwijderen door een biologische luchtwasser. Het gaat om de groepen zuren, fenolen en indolen. Deze lossen goed op in water met een pH tussen 7,5 en 6,5 (en lager). Het is daarom aannemelijk dat dit bij alle biologische luchtwassers het geval is.

Maatregelen voor het stabiliseren en verbeteren van het verwijderingsrendement voor geur zijn:

1. Bevorderen stabiele werking van de luchtwasser
   Hiervoor genoemde maatregelen ter verbeteren van de ammoniakverwijdering hebben naar verwachting een stabiel(er) werkende luchtwasser tot gevolg. Dit (b)lijkt ook gunstig voor de verwijdering van geur.
2. PH van het waswater inregelen in het bovenste deel van de toegestane pH-bandbreedte
   Zwavelcomponenten lossen (iets) beter op bij een hogere pH. Als de pH-regeling stabiel werkt en responsief is op veranderingen in omstandigheden, is het mogelijk om een smallere pH-bandbreedte in te stellen. Bijvoorbeeld tussen 7,0 en 7,4.

Geur in de uitgaande lucht bij de biologische luchtwasser blijkt voornamelijk uit zwavelhoudende componenten te bestaan. Deze zijn slecht te verwijderen met huidige biologische combi-luchtwassers en verbetering van verwijdering lijkt momenteel niet mogelijk met kleinschalige aanpassingen. Voor vermindering van de geurvracht uit de stal zijn maatregelen nodig die vorming van zwavelhoudende stoffen verminderen of voorkomen. De volgende bronmaatregelen kunnen verder worden onderzocht:

3. Aanpassing in de samenstelling van het voer: minder zwavel- en sulfaathoudende ingrediënten
4. Snelle afvoer van mest, omdat in de mest processen op gang komen die een bron van zwavelhoudende gassen zijn.

**Algemeen**

Biologische combi-wassers zijn technische systemen. Om deze langdurig naar behoren te laten functioneren zijn een juist ontwerp en bouw evenals goed beheer en onderhoud van belang.
In dit onderzoek is suboptimale werking waargenomen door en zijn verbetering doorgevoerd aan:

1. Goede inrichting van de waswaterput:
   a. Afvoerpunt(en) voor spuiwater zo plaatsen dat ook slib/bezinksel zoveel mogelijk afgevoerd wordt met het spuiwater. In combinatie met goed filteren blijft het waswater dat naar de sproeiers gaat schoon, zodat deze niet verstoppen.
   b. De aanvoerpunten van schoon water + van zuur en/of loog zo plaatsen dat goede menging plaats vindt met de voorraad waswater alvorens de pH- en EC-sensoren te passeren.
      Actieve menging, eventueel in combinatie met toevoer van zuurstof, kan bijdragen aan een stabiele werking van de luchtwasser.
   c. Gebruik van een type niveaumeter om het waswaterpeil in de put te meten dat niet gevoelig is voor een schuimlaag in de put.
      Zo nodig de uitstroomopeningen van de retourleiding(en) van het waswater aanpassen om schuimvorming te verminderen. Zo nodig sproeiers in de rand van de waswaterput monteren om schuim af te breken.
2. Zorgvuldig beheer en onderhoud
   Frequente controle van en onderhoud aan filters en sproeiers. Ook de pH- en EC-sensoren hebben regelmatig een schoonmaakbeurt en kalibratie nodig. Met de leverancier/onderhoudspartij zijn afspraken te maken voor advies, reactietermijnen, onderdelen die zij op voorraad houden en (online) monitoring van de luchtwasser.

Voor de beoordeling van de werking van een biologische combi-luchtwasser is goede informatievoorziening naar de eigenaar/beheerder zeer belangrijk. Storingen, met uitval van de luchtwasser als gevolg, leiden tot tijdelijk hoge emissies. Veranderingen in omstandigheden of problemen leiden tot wijzigingen in het functioneren van de biologische luchtwassers. Informatie over het verloop van parameters geeft de eigenaar/beheerder zicht op (aankomende) problemen of mogelijkheden voor optimalisatie van de werking van de luchtwasser. In de huidige praktijk heeft de eigenaar vaak geen snelle toegang tot grafieken die het verloop van parameters over een langere periode tonen. Door de opslag van de gemeten data in het elektronisch logboek van luchtwassers aan te sluiten op een online platform waar de data wordt vormgegeven in een overzicht over de afgelopen periode kunnen eigenaar (en onderhoudspartij) snel relevante gegevens en signalen ontvangen als de werking niet correct is. Beheer & onderhoud en het oplossen van storingen kan dan sneller worden beoordeeld, wat bijdraagt aan een stabiele werking.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Luchtwassers zijn ontwikkeld om de uitstoot van ammoniak, fijnstof en geur uit stallen te verminderen. Deze emissies zijn schadelijk voor de natuur en verslechteren het woon- en leefklimaat.
Vanaf 2007 kwamen de eerste combi-luchtwassers op de markt. Wageningen Livestock Research (WLR) heeft in de afgelopen jaren meerdere onderzoeken gedaan naar de werking van luchtwassers in de praktijk.

- *Onderzoek naar verbeterpunten voor combi-luchtwassers in de praktijk*.
  Maasdam, E., Melse, R.W., & Ogink, N.W.M. (2021)
  (WLR rapport nr. 1337).
- *Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen: Deel 1: Oriënterend onderzoek naar werking gecombineerde luchtwassers en verschillen tussen geurlaboratoria.*
  Melse, R.W., Nijeboer, G.M., & Ogink, N.W.M. (2018)
  WLR rapport nr. 1081.
- *Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen: Deel 2: Steekproef rendement luchtwassers in de praktijk.*
  Melse, R.W., Nijeboer, G.M., & Ogink, N.W.M. (2018).
  WLR rapport nr. 1082

Uit deze onderzoeken blijkt dat biologische combi-luchtwassers in de praktijk vaak niet de verwijderingsrendementen halen waarmee ze zijn opgenomen in de regelgeving. Mede op basis van deze onderzoeken zijn in 2018 de geurreductiepercentages van de biologische combi-wassers in de regelgeving aangepast van 85% naar 45%. Voor ammoniak en fijnstof zijn de reductiepercentages ongewijzigd gebleven. Het verwijderingsrendement van ammoniak vertoonde forse verschillen tussen de toen onderzochte locaties. De verwijderingsrendementen voor ammoniak lijken haalbaar mits de luchtwasser goed gedimensioneerd en volgens voorschriften in bedrijf is.

Lagere (verwijderings)rendementen kunnen het gevolg zijn van technische factoren in het ontwerp of bij de bouw. Uit genoemde onderzoeken zijn ook een aantal andere mogelijke oorzaken naar voren gekomen die niet gerelateerd zijn aan het ontwerp zoals:

- een niet-stabiel werkende biologische wasstap (waarvan de pH sterk fluctueert en niet binnen de gestelde bandbreedte blijft),
- onvoldoende onderhoud en
- onjuiste inregeling of instelling van parameters in de software.

Het project 'Goed benutten biologische combi-luchtwassers' geeft opvolging aan het onderzoek van Maasdam et al (2021). Het geeft ook invulling aan een van de adviezen van de Commissie Geurhinder en Veehouderij (Commissie Biesheuvel), namelijk: meer inzicht te bieden in de effectiviteit van luchtwassers en hierbij de geurproductie in de stal te betrekken.

Opdrachtgever Provincie Noord-Brabant (PNB) heeft het project opgenomen als maatregel in het Schone Lucht Akkoord[1] (Uitvoeringsagenda Landbouw, binnen maatregel 5f[2]). Het doel van het Schone Lucht Akkoord is om de luchtkwaliteit in Nederland permanent te verbeteren. Het is een akkoord tussen Rijk, provincies en een groot aantal gemeenten. Samen streven de deelnemende partijen naar een gezondheidswinst van minimaal 50 procent in 2030 ten opzichte van 2016.
De luchtwassers dragen daaraan bij door fijnstof en ammoniak uit stallen af te vangen. Ammoniak draagt bij aan de vorming van secundair fijnstof[3]. Biologische luchtwassers, waarin de zuurgraad (pH) van het

[1] https://www.schoneluchtakkoord.nl/
[2] https://www.schoneluchtakkoord.nl/thema/landbouw/landbouw-uitvoeringsagenda-sla/
[3] https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-mmk-veehouderij/emissies-veehouderij/fijn-stof-emissies-veehouderij

waswater lager dan pH 6,5 is, kunnen onder andere stikstofoxiden ($NO_x$) en lachgas $N_2O$ gaan uitstoten. $NO_x$ is ook onderdeel van secundair fijnstof; lachgas is een sterk broeikasgas.

## 1.2 Doelstelling

De doelstelling van het project als geheel is door opdrachtgever geformuleerd als
*Het ontwikkelen van generiek toepasbare kennis in 2 jaar tijd, waarmee bestaande biologische combi-luchtwassers in varkenshouderijbedrijven in Noord-Brabant goed benut kunnen worden voor ammoniak- (secundair fijnstof) en geurverwijdering, en die landelijk ingezet kan worden om de emissie van ammoniak en geur te verminderen en zo de luchtkwaliteit te verbeteren.*

Het doel van het onderzoek beschreven in dit rapport is vast te stellen welke maatregelen mogelijk en effectief zijn om in bestaande situaties het ammoniak- en geurverwijderingsrendement van combi-luchtwassers te verbeteren. In het project willen de deelnemers onderzoeken of een stabielere en betere werking is te realiseren door aanpassingen in het systeem en/of andere instellingen. Een goede werking is nodig om de belasting van omgeving en omwonenden binnen het vergunde niveau te houden.

Het project levert kennis en een informatieproduct op dat landelijk is te gebruiken door veehouders, installateurs van luchtwassers, toezichthouders en handhavers. Bij succesvolle afronding van dit project zijn de resultaten landelijk toe te passen bij biologische combi-wassers. Alleen al in Noord-Brabant waren in 2022 meer dan 1.700 biologische combi-luchtwassers in werking, zodat verbeterde werking een relevante vermindering van uitstoot kan opleveren. De daadwerkelijke implementatie van deze kennis in de praktijk is geen onderdeel van dit project.

Deze rapportage beschrijft voor elk van de vier locaties de werkwijze, de meetresultaten, de geteste maatregelen en de conclusies over de werking van (maatregelen voor) de onderzochte biologische combi-luchtwasser.

## 1.3 Leeswijzer

Zoals gebruikelijk in een meetrapport zijn in hoofdstuk 2 de opzet van het onderzoek, de meetlocaties en de toegepaste materialen en methoden beschreven. In hoofdstuk 3 zijn per locatie en per meetperiode de metingen, analyses en maatregelen weergegeven. Iedere paragraaf van een locatie sluit af met de integrale observaties en analyse. Hoofdstuk 4 bevat de discussie over oorzaken en mogelijke maatregelen. In hoofdstuk 5 zijn de eindconclusies bij de vraagstelling en de aanbevelingen opgenomen. Dit rapport bevat tot slot een bronnenlijst en een aantal bijlagen.

# 2 Materiaal en methoden

## 2.1 Opzet onderzoek

Binnen dit project zijn op vier bedrijven bij één biologische combi-luchtwasser per bedrijf ruim een jaar lang continue metingen gedaan om de ammoniakverwijdering vast te stellen. Ook is periodiek de geurverwijdering bepaald met twee verschillende methoden, waarvan één een nieuwe meetmethode is die nog in ontwikkeling is. Daarnaast zijn de data uit het elektronische logboek van de desbetreffende luchtwasser verzameld. In de loop van het project is ook het ventilatiedebiet dat door de luchtwasser ging geregistreerd vanuit het klimaatbesturingssysteem.

Ieder kwartaal is aan de hand van al deze gegevens de werking van de luchtwasser beoordeeld en besproken in een overleg. Voor dat gezamenlijk overleg waren uitgenodigd: veehouder, luchtwasserleverancier, onderzoekers, projectleider(s), omgevingsdienst en opdrachtgever. In dat overleg zijn ook de te testen maatregelen geformuleerd om de werking van de luchtwasser te verbeteren. Deze maatregelen zijn geïmplementeerd en het effect is aan de hand van de metingen in het volgende kwartaaloverleg beoordeeld.

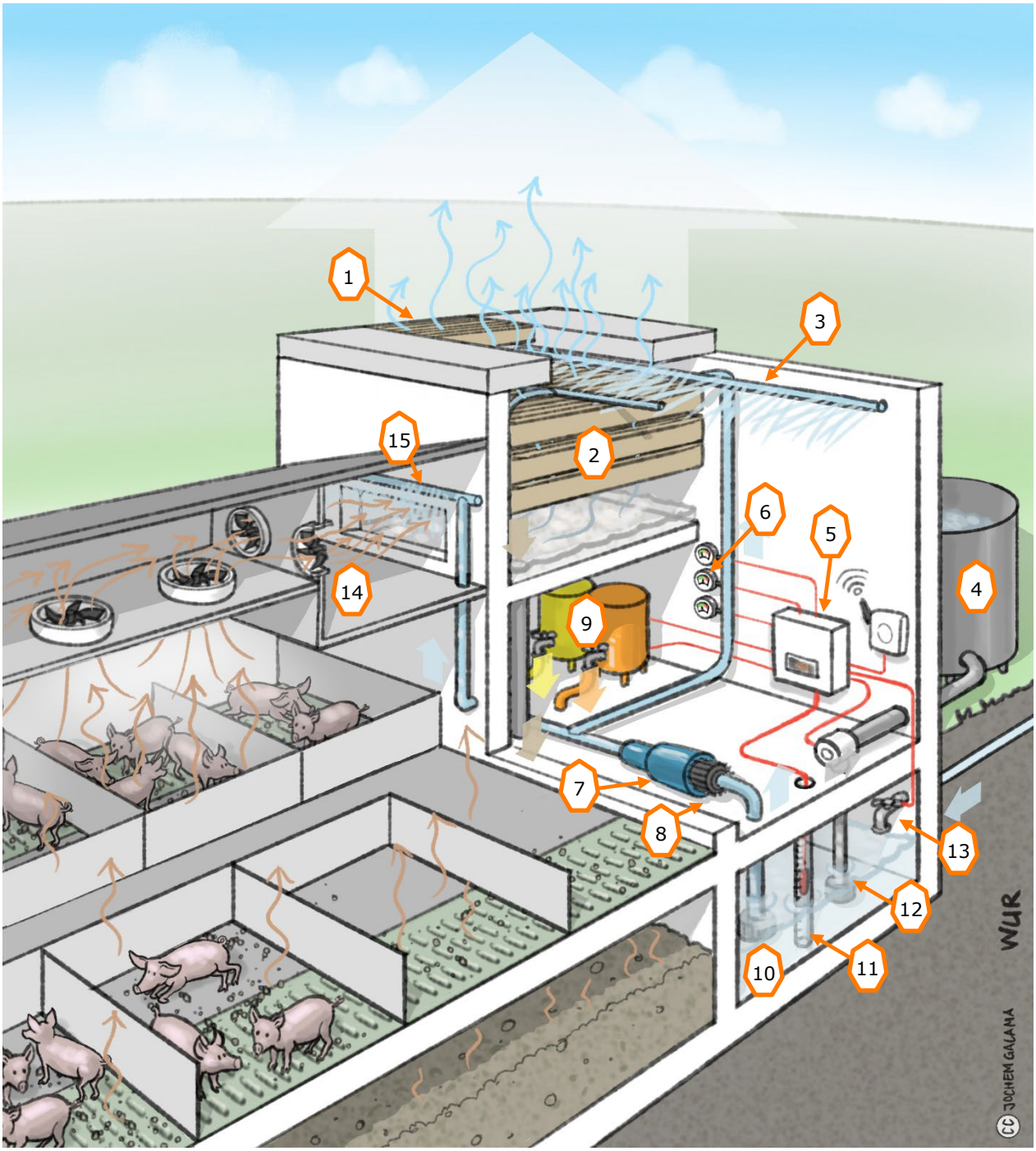
De opdrachtgever had een expertgroep geformeerd voor advies bij de uitvoering van het project. Daarin waren vertegenwoordigd: ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Omgevingsdienst Nederland (ODNL), provincie Noord-Brabant, Pouderoyen Tonnaer en Wageningen Livestock Research. Vanuit de drie laatstgenoemde organisaties namen andere personen deel dan de direct uitvoerenden van het project.

## 2.2 Werkingsprincipe biologische combi-luchtwasser

In dit project lag de focus op biologische combi-luchtwassers. In de veehouderij worden meerdere typen[4] luchtwassers toegepast. Een gecombineerde luchtwasser – zie Figuur 2.1 - is een geïntegreerd systeem met meerdere was-stappen. Luchtwassers vangen fijnstof af uit de ventilatielucht door deze lucht in contact te brengen met waswater. Het fijnstof wordt opgenomen in de stroom waswater. In biologische luchtwassers zijn bacteriën aanwezig in het waswater, op het waspakket en in de waswaterput. Deze zijn verantwoordelijk voor de omzetting van opgelost ammoniak (ammonium) naar nitriet en vervolgens naar nitraat en voor het omzetten van geurcomponenten. De afgevangen stikstof in de vorm van ammonium en nitraat wordt periodiek afgevoerd als spuiwater.

Om veel ammoniak in het waswater vast te kunnen leggen, wordt in een biologische luchtwassers gebruik gemaakt van het microbiologische proces nitrificatie. Dit proces is weergegeven in onderstaande formules (Tabel 1). Tijdens nitrificatie wordt een deel van de afgevangen ammoniak in een andere stikstofvorm omgezet, nitriet en nitraat. Dit zijn beiden zouten, die goed oplosbaar zijn in water. Door het omzetten van ammoniak in deze zouten kan de totale hoeveelheid stikstof in het waswater worden verhoogd voordat de oplosbaarheid van ammoniak afneemt. Hierdoor kan meer stikstof worden vastgelegd per liter water en is het totale waterverbruik lager in vergelijking met een luchtwasser waarbij geen nitrificatie zou plaats vinden in het water.

[4] https://www.wur.nl/nl/artikel/Luchtwassers-geur-en-ammoniak.htm en https://iplo.nl/thema/toepassing-regels-praktijk/veehouderijen/stalsystemen-aanvullende-technieken/luchtwassers/




***Figuur 2.1*** *Schematische weergave biologische combi-luchtwasser en legenda van onderdelen daarin.*

| Nr. | Onderdeel | Nr. | Onderdeel |
|---|---|---|---|
| 1 | Druppelvangers | 9 | Zuur- en loogdosering |
| 2 | Waspakket | 10 | Waswaterput |
| 3 | Sproeiers | 11 | Niveaumeting waswater |
| 4 | Opslag spuiwater | 12 | Afvoer spui |
| 5 | Procescomputer | 13 | Aanvoer schoon water |
| 6 | Sensoren: pH, EC, druk, etc. | 14 | Drukkamer |
| 7 | Waswaterpomp | 15 | Voorwas |
| 8 | Filter waswater | | |

***Tabel 1*** *Het proces van het oplossen van ammoniak uit stallucht in waswater (stap 1) gevolgd door de nitrificatie van ammonium in nitraat (stappen 2 en 3) met bijbehorende reactievergelijkingen.*

| | |
|---|---|
| Stap I: ammoniak lost op in water, vormt ammonia en vervolgens ammonium | $NH_3$ (g) + $H_2O$ (l) ←→ $NH_3$ (aq) + $H_2O$ (l) ←→ $NH_4^+$ (aq) + $OH^-$ (aq) |
| Stap II: ammoniak wordt omgezet in nitriet | $NH_4^+$ (aq) + 1,5 $O_2$ (aq) → $NO_2^-$ + $H_2O$ (l) + 2 $H^+$ (aq) |
| Stap III: nitriet wordt omgezet in nitraat | $NO_2^-$ + 0,5 $O_2$ (aq) → $NO_3^-$ (aq) |

Het oplossen van 1 molecuul ammoniak uit de lucht in het waswater consumeert 1 molecuul zuur ($H^+$) (stap I, Tabel 1).
Nitrificatie, de omzetting van 1 molecuul ammonium naar 1 molecuul nitraat, produceert 2 moleculen zuur ($H^+$) (stap II en III)
Als de hoeveelheid nitraat in het waswater stijgt, neemt ook de geleidbaarheid (EC) van het waswater voor elektrische stroom toe. Zodra de geleidbaarheid de ingestelde maximale waarde bereikt, voert de luchtwasser een deel van het waswater af (spuien) naar een externe opslag. De maximale EC-waarde is in de huidige regelgeving voor biologische combi-luchtwassers vastgelegd op 20 mS/cm. Na het spuien neemt de luchtwasser schoon water in om het peil in de waswaterput op gewenst niveau te houden.

Netto produceert de afvangst ammoniak uit de ventilatielucht van de stallen in het waswater en vervolgens de omzetting door nitrificatie in nitraat in totaal 1 molecuul zuur ($H^+$) per molecuul ammoniak. Zonder aanvoer van schoonwater of een base zal het waswater in een biologische combi-luchtwassers zuur (pH<6,5) worden als gevolg van het nitrificatieproces. Door het afvoeren van spuiwater wordt een deel van het gevormde (nitriet en) nitraat en ook een deel van het zuur en de bacteriën afgevoerd. Daarna wordt het waswater aangevuld met schoon water met een neutrale tot basische pH tot ingesteld niveau. Deze cyclus draagt bij aan het reguleren van de pH en het waswater behoudt zo een goed oplossend vermogen van ammoniak.
Om de pH stabiel te houden tussen de 6,5 en 7,5 is balans tussen drie processen nodig (Vergelijking 1).

Vergelijking 1:

$$pH\ verhogend\ \ (oplossen\ ammoniak + afvoer\ spui\ en\ toevoer\ schoon\ water) = pH\ verlagend\ (nitrificatie)$$

Op het moment dat één van deze drie processen verandert in hoeveelheid resp. frequentie resp. snelheid kan de pH veranderen. Voorbeelden hiervan zijn een toename in nitrificatie-activiteit door groei van de totale biomassa in de luchtwasser of een daling in het ammoniakvracht die de luchtwasser ingaat.

Als een biologische combi-luchtwasser verzuurt (pH waswater <6,5), veranderen de biologische processen in het waswater; dan worden in plaats van nitraat voornamelijk andere stikstofgassen geproduceerd. Het betreft de stikstofgassen lachgas ($N_2O$, een sterk broeikasgas) en/of stikstofoxiden ($NO_x$) en het onschadelijke $N_2$ (Maasdam et al., 2021). Zodra dit gebeurt, wordt in het waswater nauwelijks nog stikstof omgezet naar nitraat en zal bijgevolg de EC-waarde niet of weinig toenemen. De EC-grenswaarde voor spuien wordt niet meer bereikt – de luchtwasser zal geen spuiwater meer spuien en geen schoon water meer innemen; het proces dat de verzuring compenseert vindt niet meer plaats.

Als wordt voldaan aan de volgende uitgangspunten zullen de luchtwassers naar verwachting de verwachte rendementen continue halen:
- het schone water een pH-waarde heeft die ongeveer neutraal is (rond pH 7);
- de pH van het waswater binnen de gestelde bandbreedte (pH 6,5 -7,5) blijft door het afvoeren van spuiwater en de toevoer van schoon water;
- Het oplossend vermogend van het waswater voldoende groot blijft door bij een verhoogde EC een deel van het waswater af te voeren (spui) en schoon water toe te voegen.

## 2.3 Meetlocaties

In het project is onderzoek gedaan bij vier bedrijven (locaties 1 t/m 4), allen vleesvarkenshouderijen, die één of meerdere stallen hadden die uitgerust waren met een biologische combi-luchtwasser. Op locatie 2 en 4 waren meerdere stallen en luchtwassers aanwezig. Deze luchtwassers waren van hetzelfde type als de bemeten luchtwasser. Ze werden allen gezamenlijk aangestuurd door dezelfde procescomputer, hadden een gekoppeld watersysteem en een gezamenlijke waswaterput.

**Locatie 1**
In Tabel 2 zijn enkele kenmerken weergegeven van de luchtwasser en de stal op bedrijf 1, die in dit rapport verder met 'locatie 1' zijn aangeduid.

***Tabel 2*** *Locatie 1: Gegevens van de luchtwasser en van de stal waarvan de ventilatielucht door deze luchtwasser gaat.*

| Aspect | Locatie 1 |
|---|---|
| Type luchtwasser | Gecombineerde luchtwasser, bestaand uit een watergordijn en daarachter een biologische luchtwasser; BWL-2010-02-v5 (= eerdere versie van OW 2010.02.V1) |
| Voorgeschreven verwijderings-rendementen | Ammoniak: 85 procent<br>Geur: 45 procent<br>Fijnstof ($PM_{10}$): 80 procent |
| Voer | Droogvoer |
| Diercategorie | Vleesvarkens |
| Dierwisseling | De 24 afdelingen voor de luchtwasser bevatten varkens van verschillende leeftijden. |
| Reiniging van dierverblijven | Als inweekmiddelmiddel is in gebruik: MS TopFoam Power<br>Als desinfectiemiddel is in gebruik: MS MegaDes Oxy |
| Omvang waswaterput | 30 $m^3$ |
| Aantal dierplaatsen voor luchtwasser | 2.688 |
| Schoon water | Eigen bron, gekoppeld aan een ontijzeringsinstallatie, met pH waarde 7,5<br>Kraanwater met pH 8,0 |

**Locatie 2**
In Tabel 3 zijn enkele kenmerken weergegeven van de luchtwasser en de stal op bedrijf 2, die in dit rapport verder met 'locatie 2' zijn aangeduid.

***Tabel 3*** *Locatie 2: Gegevens van de luchtwasser en van de stal waarvan de ventilatielucht door deze luchtwasser gaat.*

| Aspect | Locatie 2 |
|---|---|
| Type luchtwasser | Gecombineerde luchtwasser, bestaand uit een watergordijn en daarachter een biologische luchtwasser BWL 2009.12.V3 (= eerdere versie van OW 2009.12) |
| Voorgeschreven verwijderings-rendementen | Ammoniak: 85 procent<br>Geur: 45 procent<br>Fijnstof ($PM_{10}$): 80 procent |
| Voer | Droogvoer |
| Diercategorie | Vleesvarkens |
| Dierwisseling | De 16 afdelingen voor de luchtwasser bevatten varkens van vergelijkbare leeftijden. |
| Schoonmaak | |
| Omvang waswaterput | Centrale waswaterput voor 5 luchtwassers – circa 23 m3 |
| Aantal dierplaatsen voor luchtwasser | 640 |
| Schoon water | Leidingwater met pH: 8,0 |

**Locatie 3**

In Tabel 4 zijn enkele kenmerken weergegeven van de luchtwasser en de stal op bedrijf 3, die in dit rapport verder met 'locatie 3' zijn aangeduid.

***Tabel** 4 Locatie 3: Gegevens van de luchtwasser en van de stal waarvan de ventilatielucht door deze luchtwasser gaat.*

| Aspect | Locatie 3 |
|---|---|
| Type luchtwasser | Gecombineerde luchtwasser, bestaand uit een watergordijn en daarachter een biologische luchtwasser BWL 2009.12.V4 |
| Voorgeschreven verwijderings-rendementen | Ammoniak: 85 procent<br>Geur: 45 procent<br>Fijnstof ($PM_{10}$): 80 procent |
| Voer | Brijvoer |
| Diercategorie | Vleesvarkens |
| Dierwisseling | All-in / all-out van vleesvarkens. |
| Reiniging van dierverblijven | Als inweekmiddel is in gebruik: MS TopFoam Power<br>en als desinfectiemiddel: MS MegaDes Oxy |
| Omvang waswaterput | Niet bekend |
| Aantal dierplaatsen voor luchtwasser | 2592 vleesvarkens + de voermengkeuken |
| Schoon water | Bronwater met pH 7,8 |

**Locatie 4**

In Tabel 5 zijn enkele kenmerken weergegeven van de luchtwasser en de stal op bedrijf 4, die in dit rapport verder met 'locatie 4' zijn aangeduid.

***Tabel 5** Locatie 4: Gegevens van de luchtwasser en van de stal waarvan de ventilatielucht door deze luchtwasser gaat.*

| Aspect | Locatie 4 |
|---|---|
| Type luchtwasser | Gecombineerde luchtwasser, bestaand uit een watergordijn en daarachter een biologische luchtwasser BWL 2009.12.V3 / OW 2009.12 |
| Voorgeschreven verwijderings-rendementen | Ammoniak: 85 procent<br>Geur: 45 procent<br>Fijnstof ($PM_{10}$): 80 procent |
| Voer | Brijvoer |
| Diercategorie | Vleesvarkens |
| Dierwisseling | In 2 weken tijd volledige wissel van dieren. |
| Reiniging van dierverblijven | Water |
| Omvang waswaterput | 125 $m^3$ |
| Aantal dierplaatsen voor luchtwasser | 800 vleesvarkens |
| Schoon water | Osmosewater uit mestscheider, met pH 9,5<br>Bronwater, met pH 5,9<br>Kraanwater, met pH 6,8 |

## 2.4 Meetstrategie en -methoden

Alle metingen zijn gedaan in de periode tussen september 2023 en februari 2025. Dit tijdvak is verdeeld in 4 tot 6 meetperiodes van ongeveer 3 maanden, waarbij het aantal meetperiodes verschilde per locatie. Hierbij is de volgende strategie toegepast:

- In de eerste meetperiode van iedere locatie zijn geen aanpassingen gedaan aan de biologische combi-luchtwasser. Deze periode was bedoeld om de werking van de luchtwasser in de uitgangssituatie te beoordelen (nulmeting).
- Vervolgens zijn 1 of 2 meetperiodes besteed om de luchtwasser in technische zin goed te laten werken.
- In de resterende tijd zijn per meetperiode 1 of 2 maatregelen voorgesteld om de werking van de luchtwasser verder te verbeteren.
- Vervolgens is het effect van de maatregelen beoordeeld aan de hand van de metingen binnen de lopende periode of in de opvolgende meetperiode. De maatregelen per locatie zijn beschreven in het hoofdstuk Resultaten.

### 2.4.1 Elektronisch logboek luchtwasser

Alle luchtwassers moeten volgens huidige regelgeving een groot aantal gegevens over het systeem bijhouden in het elektronisch logboek. Alle luchtwassers moeten minimaal eens per uur loggen:

- De zuurgraad (pH, [-]) van het waswater (moet bij biologische luchtwasser tussen de 6,5 en 7,5 zijn),
- De geleidbaarheid (EC, [mS/cm]) van het waswater (moet bij biologische luchtwasser onder de 20 mS/cm zijn),
- de drukval [Pa] over het waspakket van de luchtwasser,
- de totale spuiwaterproductie [$m^3$] en
- het energieverbruik (kWh) van de waswaterpomp.

Zie de systeembeschrijvingen[5] van de luchtwassers voor een schets. De meetgegevens uit het elektronisch logboek zijn gebruikt voor het beoordelen van de werking van de luchtwassers op de locaties.

### 2.4.2 Ammoniakmetingen

Op elk bedrijf zijn ammoniaksensoren (Dräger A500, DOL 51) geïnstalleerd voor continue monitoring van de luchtwasser. Eén sensor is geplaatst in de drukkamer, waar de ingaande luchtstroom wordt gemeten, en een identieke sensor is bevestigd in een koker bovenop het pakket druppelvangers om de uitgaande luchtstroom te monitoren. De datalogging van de sensoren is opgenomen in het elektronisch logboek van de luchtwasser. De concentratiemeting van ammoniak kent een dubbele kwaliteitsborging:

1. In het laboratorium is met de Drägers A500 een kalibratie uitgevoerd met gecertificeerde kalibratiegassen inclusief kwaliteitscriterium (gouden standaard). Met behulp van een verdunningsapparaat zijn daarmee verschillende concentraties aangemaakt en aan de meetinstrumenten aangeboden. Deze methode is nader omschreven in Mosquera et al (2021).
2. Op de resultaten in dit rapport is daarnaast een correctie uitgevoerd op basis van veld-/referentiemetingen voor de $NH_3$-sensor met de nat-chemische methode volgens Mosquera et al. (2019). Het resultaat van deze analyse is vergeleken met de gemiddelde gemeten concentratie door de ammoniaksensoren over dezelfde 24 uur periode de referentiemeting. De uitkomst geeft inzicht in de werking van de sensoren en laat eventuele afwijkingen zien. Op basis van deze veldmetingen (referentiemetingen) zijn de door de sensoren gemeten concentraties van ammoniak bijgesteld zoals beschreven in Mosquera et al, 2021. De in dit rapport getoonde waarden voor ammoniakconcentratie zijn de gecorrigeerde waarden (Bijlage 2). Uitzondering hierop is locatie 3, waar onvoldoende meetdata van de ammoniaksensoren beschikbaar was van de momenten waarop de referentiemetingen zijn uitgevoerd. Voor deze locatie zijn de ammoniakconcentratie alleen gecorrigeerd aan de hand van de lab-kalibraties.

Tijdens de eerste maanden van de metingen is een softwarefout in de ammoniaksensoren geconstateerd. Bij concentraties onder het meetbereik (< 1 ppm) werd de data opgeslagen als hogere waardes (> 10 ppm). Deze softwarefout werd niet eerder geconstateerd omdat bij kalibraties in het lab niet onder het meetbereik is getest. Deze softwarefout is op alle locaties verholpen in november 2023.

[5] Te vinden op: https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/dierenverblijven/systeembeschrijvingen-stallen/

Het verwijderingsrendement dat de luchtwasser realiseert is berekend als:

$$\frac{(\textit{ingaande concentratie - uitgaande concentratie})}{\textit{ingaande concentratie}} * 100\%$$



***Figuur 2.2*** *Ammoniaksensoren in de ingaande ventilatielucht in de drukkamer voor de luchtwasser (links) en in de uitgaande lucht in een koker op het druppelvangpakket (rechts). Naast de sensoren zijn de PTFE-leidingen voor de luchtbemonsteringen te zien; 2 leidingen die voor de geurmetingen en 2 leidingen die voor referentiemetingen werden gebruikt. Rechts is ook een Kitagawa gasdetector te zien.*

### 2.4.3 Geurmetingen

In dit onderzoek naar de productie en verwijdering van geur door de biologische combi-luchtwassers zijn twee analysemethoden gebruikt: de conventionele olfactometrische methode en een chemisch-analytische methode, die nog in ontwikkeling was (Mumm et al., 2025). Met beide onderzoeksmethoden is in iedere meetperiode op één dag een meting uitgevoerd gebaseerd op monsters, verzameld met een monsternameduur van 2 uur. De geurmonsters zijn iedere meetperiode veelal 2-3 weken voor het kwartaaloverleg op betreffende locaties genomen, op de dag waarop ook de referentiemetingen voor ammoniakconcentraties zijn uitgevoerd.

De hoeveelheid geur of geurconcentratie wordt uitgedrukt in Europese odour units per $m^3$ lucht ($OU_E/m^3$). Odour units - vanuit de conventionele methode - en SumOAV – vanuit de chemisch-analytische methode - zijn beide een maat voor de geurconcentratie. De absolute waarden van die beide zijn niet rechtstreeks met elkaar te vergelijken vanwege het verschil in berekeningsmethode. Het is wel mogelijk om relatieve vergelijkingen te maken, bijvoorbeeld bij het beoordelen van het verwijderingsrendement.

*Conventionele geurmethode*
Voor de geuranalyses zijn telkens gelijktijdig twee monsters van de ingaande lucht (dus in duplo) en twee monsters van de uitgaande lucht (eveneens in duplo) genomen en opgeslagen in nalofaanzakken. De monsternameduur bedroeg telkens 120 minuten, conform het meetprotocol voor geuremissie (Ogink, 2011). De monsternamepunten waren in de directe omgeving waar de ammoniaksensoren waren geplaatst (Figuur 2.2).De gebruikte methode is conform de geurnorm NEN-EN 13725:CEN 2003. De hoeveelheid geur is gerapporteerd in Europese geureenheden ($OU_E/m^3$) (CEN, 2003). De gevoeligheid van de panelleden is voor de metingen getest met n-butanol, conform NEN-EN 13725. Het geurlaboratorium van Buro Blauw Luchtkwaliteit werkt binnen de geurnorm volgens de bij Nederlandse laboratoria gangbare 'gedwongen keuze' analysemethode. De eerste meetronde zijn de luchtmonsterzakken eerst volgens de conventionele methode geanalyseerd en daarna met de chemisch-analytische methode (hieronder beschreven), de andere meetrondes was de volgorde andersom. De analyses volgens beide methoden zijn binnen een periode van 24 uur uitgevoerd op dezelfde geurmonsterzakken.

*Chemisch-analytisch geurmethode*

Binnen dit project is samengewerkt met het project "Anders meten geur" dat door WLR en Wageningen Plant Research werd uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Binnen dat project werd een alternatieve geurmethode ontwikkeld die geur analyseert door middel van gaschromatografie (GC). Deze GC is gekoppeld aan twee verschillende detectiemethodes, namelijk een Sulfur Chemiluminescence Detector (GC-SCD) voor zwavelcomponenten en massaspectrometrie (GC-MS) voor overige componenten. Met deze op GC gebaseerde methode is vast te stellen welke geurstoffen aanwezig zijn in de lucht, zowel voor als na de luchtwasser. Dit maakt het mogelijk om te bepalen welke geurstoffen een luchtwasser wel, gedeeltelijk of niet kan verwijderen. De meetmethodiek is in detail beschreven in de rapportage van Mumm en Ogink (2025). Luchtmonsters zijn in triplo geanalyseerd op de GC-MS en GC-SCD. Er zijn uit de gedetecteerde stoffen middels referentiestandaarden 17 stoffen gekwantificeerd waarvan in eerder onderzoek was aangetoond dat deze een bijdrage leveren aan varkensgeur (Hansen et al. 2019). Aan elk van deze 17 stoffen is een geuractiviteitswaarde (odour activity value, OAV) toegekend. Daarnaast zijn de OAV waardes voor ammoniak berekend. Hiervoor is gebruik gemaakt van de gegevens die met behulp van de sensoren zoals onder 2.4.2 beschreven zijn verkregen. De toepassing van de OAV op basis van gemeten concentraties en geurdrempelwaarden (odour threshold values, OTV) van de individuele geurcomponenten is een methode die rekening houdt met de bijdragen van de individuele geurstoffen om de geurintensiteit van een mengsel te bepalen. De OAV van een geurcomponent wordt berekend als de gemeten concentratie van een component gedeeld door diens geurdrempelwaarde (OTV), waarbij de betreffende drempelwaarde is afgeleid uit literatuurbronnen. De som van de geuractiviteitswaarden (SumOAV) in een geurmonster, gedefinieerd als de optelling van de individuele concentratie/geurdrempelverhoudingen, wordt vaak gebruikt om concentraties van geurstoffen om te zetten in een theoretische geurconcentratie. Het voordeel van deze methode is dat het lijkt op dynamische olfactometrie in de zin dat olfactometrie de detectiedrempel voor het gehele luchtmonster schat en de OTV de detectiedrempel voor de individuele geurstoffen is. Deze benadering veronderstelt dat de OAV voor de individuele geurstoffen in een mengsel op te tellen is. Een recente laboratoriumstudie (Hansen et al. 2021) met betrekking tot geurstoffen in varkensstallen heeft aangetoond dat de veronderstelling van additiviteit redelijk is, maar de kracht van de methode bepaald wordt door de nauwkeurigheid van de gebruikte OTV waardes.
Voor de chemisch-analytische methode met GC-MS/-SCD zijn triplo metingen per luchtzakmonster uitgevoerd. De gemiddelde concentratie en de standard deviatie van de triplo metingen zijn per geurstof berekend. Daarnaast is de relatieve standaarddeviatie (RSD, variatiecoëfficiënt) middels 100*sd/gemiddelde per geurstof berekend. Het verwijderingsrendement van de luchtwasser is gebaseerd op de OAV per geurstof berekend en vergelijkbaar de berekening voor verwijdering van ammoniak (zie paragraaf 2.4.2). Het totale OAV rendement is berekend op basis van eindgemiddeldes van SumOAV.

### 2.4.4 Lachgas

De concentratie lachgas ($N_2O$) in de uitgaande lucht uit de luchtwasser is op sommige bedrijven incidenteel gemeten met Kitagawa gasdetectiebuisjes of door analyse van luchtmonsters. Deze analyse is gedaan in het WLR-lab met een gaschromatograaf (Trace 1300, Thermo Scientific; kolom: Hayesep Q ($CO_2$, $CH_4$ en $N_2O$); detector: FID ($CH_4$), ECD ($N_2O$) en HWD ($CO_2$)).
Metingen met Kitagawa gasdetectiebuisjes zijn momentopnames; ze geven een beeld van de actuele concentratie van de bemeten stof – in dit geval lachgas. De techniek is niet geschikt voor het vaststellen van emissiefactoren op basis van erkende meetmethode en werd in dit project enkel gebruikt als een indicatieve meting om vast te stellen of en hoeveel lachgas werd gevormd in de luchtwasser.

### 2.4.5 Stikstofoxiden

De actuele concentratie stikstofoxiden ($NO_x$) in de uitgaande lucht uit de luchtwassers van alle locaties is eveneens incidenteel gemeten als een indicatieve meting voor $NO_x$ productie. Hiervoor zijn Kitagawa gasdetectiebuisjes gebruikt. $NO_x$ is de optelsom van de componenten NO en $NO_2$.

### 2.4.6 Ventilatiedebiet

De effectiviteit van luchtwassers is in de regelgeving uitgedrukt als reductiepercentage of verwijderingsrendement. Het meten van ingaande en uitgaande concentraties geeft inzicht in het

gerealiseerde verwijderingspercentage. Voor het vaststellen van oorzaken van onregelmatigheden in de werking van de luchtwasser is vooral de totale vracht aan componenten van belang (naast incidenten, storingen, bedrijfsomstandigheden). Debiet maal concentratie geeft de vracht. Dat is de totale hoeveelheid in absolute eenheden(ammoniak, stof, geur) die de luchtwasser moet verwerken.
Om de ammoniakvracht te bepalen is op de locaties daarom ook het ventilatiedebiet gelogd met behulp van het aanwezige klimaatsysteem in de stallen/afdelingen voor de luchtwasser. Dit is in de loop van het project gerealiseerd, waardoor deze data niet vanaf het startpunt van het project per locatie beschikbaar was.
Cumulatie van de uitgaande vracht over een heel jaar zou het mogelijk maken om na te gaan of de vergunde emissie (kg/jaar) niet overschreden wordt.

# 3 Resultaten

In dit hoofdstuk zijn per locatie eerst per meetperiode de resultaten van gemeten en gelogde parameters weergegeven. Daarnaast is kort beschreven welke maatregelen genomen zijn in de volgende periode, aan de hand van de resultaten in de gepasseerde meetperiode. Daarna volgt per locatie een paragraaf waarin de resultaten, waarnemingen en deelconclusies over de hele meetperiode per locatie zijn weergegeven en geanalyseerd.

## 3.1 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 1

### 3.1.1 Meetperiode 1

Meetperiode 1 (nulmeting) besloeg de periode van augustus 2023 tot en met halverwege november 2023. De enige modificaties rond de luchtwasser in deze periode was het plaatsen van ammoniaksensoren in de drukkamer voor de luchtwasser en in de uittredende luchtstroom van de luchtwasser. Deze zijn aangesloten op het besturings- en dataloggingssysteem van de luchtwasser. Zoals vermeld in paragraaf 2.4.2 was sprake van een softwarefout in de ammoniaksensoren bij lage concentraties (< 1 ppm). Onrealistische waardes in deze meetperiode voor de uitgaande ammoniakconcentratie (1,5 keer zo hoog als de ingaande concentratie) zijn verwijderd en handmatig als 0 ppm ingevoerd (Figuur 3.2, Figuur 3.3). Er zijn periodes waarin hoge en lage concentraties elkaar in zeer korte tijd (enkele uren) afwisselden, zoals in de eerste 2 weken van oktober. Dan is geen onderscheid te maken tussen correcte opgeslagen meetdata en onjuiste waarden door de softwarefout, waarbij lage concentraties worden opgeslagen als hoge metingen. Het is niet duidelijk of in deze periode de hogere geregistreerde concentraties het gevolg zijn van de software fout of daadwerkelijk een tijdelijke hoge ammoniakconcentratie in de uitgaande luchtstroom.

Tijdens meetperiode 1 zijn grote schommelingen in pH geconstateerd (Figuur 3.1). Hierbij verzuurde het waswater in de luchtwasser drie maal tot een pH minder dan 4. De veehouder heeft de luchtwasser handmatig uitgezet op het moment dat de pH van het waswater zo laag was. De verzuring had geen duidelijke negatieve doorwerking op de ammoniakverwijdering (Figuur 3.3); deze bleef in meetperiode 1 gemiddeld 88% wat voldoende is volgens de voorschriften voor de luchtwasser. Op 11 oktober is de $NO_x$ concentratie gemeten. In de uitgaande lucht bleek ongeveer 1-2 ppm $NO_x$ aanwezig te zijn. Ervan uitgaande dat de ammoniak in de ingaande lucht de bron is voor deze $NO_x$ betekent dit dat 10-20% van alle afgevangen ammoniak wordt omgezet in $NO_x$. Deze observatie komt overeen met eerdere metingen in het voorgaande onderzoek in 2020 (Maasdam et al., 2021). Ook toen is gezien dat ammoniak bij lage pH goed oplost in het waswater, maar in de luchtwasser wordt omgezet in onder andere (milieuschadelijke) stikstofgassen $NO_x$ en $N_2O$. De verzuring van het waswater is mogelijk het gevolg van een (te) actieve werking van de biologie in de luchtwasser. Bij een goed werkende biologische luchtwasser is de vorming van zuur als gevolg van nitrificatie in balans met de aanvoer van ammoniak - dat fungeert als een zwak base - en de toevoer van schoon water. Bij schommelingen in de te verwerken ammoniakvracht of een te hoge biologische activiteit kan het voorkomen dat de nitrificatie hoger is dan de aanvoer van ammoniak. Hierdoor zal verzuring van het waswater plaats vinden. Zodra de pH onder de 6,5 daalt, zal de ammoniak, in plaats van omzetting in nitriet en nitraat, worden omgezet in andere stikstofgassen zoals $N_2O$ en $NO_x$. Dan wordt geen stikstof meer vastgelegd in het waswater als (nitriet en) nitraat, waardoor de EC niet meer stijgt en de luchtwasser geen waswater als spuiwater afvoert. De pH zal zich niet meer herstellen omdat er geen zuur wordt afgevoerd en schoon water wordt aangevoerd. Tijdens meetperiode 1 is op deze locatie geen spuiwater geproduceerd omdat de EC-waarde nooit de waarde van 20 mS/cm heeft bereikt. Het is aannemelijk dat in meetperiode 1 de biologische activiteit dusdanig hoog is dat alle afgevangen ammoniak meteen werd omgezet via nitrificatie, waardoor de pH daalde en de biologische processen veranderden, voordat de EC-waarde werd bereikt die tot afvoer van spuiwater en inname van schoon water zou leiden.

Observaties:

- Verzuring van waswater onder de toegestane waarde van 6,5 vond meermaals plaats.
- In een zure omgeving in het waswater (pH < 6,5) worden door microbiologische processen in het waswater - naast nitraat - ook (milieuschadelijke) stikstofgassen gevormd.
  Te snelle nitrificatie is een mogelijke oorzaak van de verzuring.

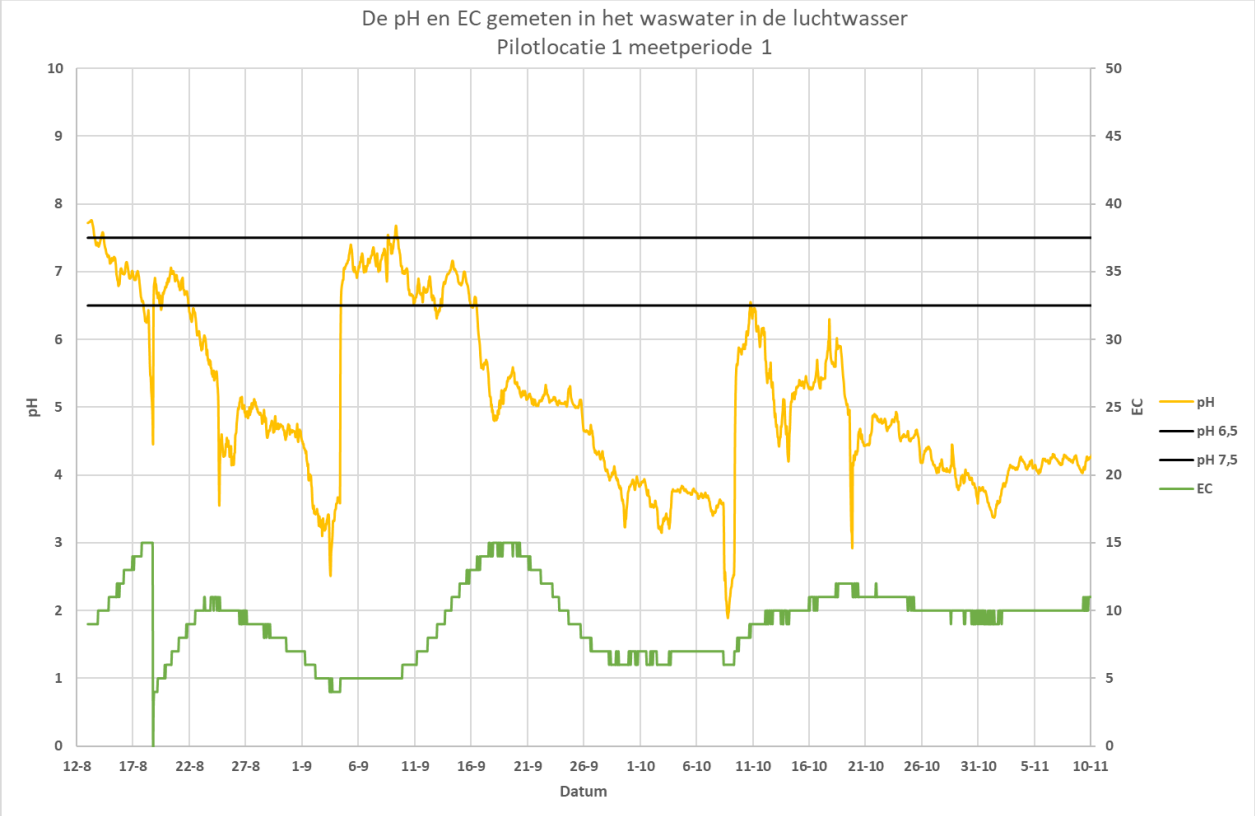
Voorgestelde maatregelen:

- Herstarten van de luchtwasser door het leeg maken van de gehele waswaterput en deze vullen met schoon water waardoor de nitrificatie-activiteit wordt verminderd als gevolg van het afsterven van een deel van de biomassa.
- Als na herstart opnieuw verzuring optreedt: bepalen of welke hoeveelheid afvoer van spuiwater, en toevoer van schoon water, voldoende is om verzuring van het waswater tot onder pH 6,5 te voorkomen.

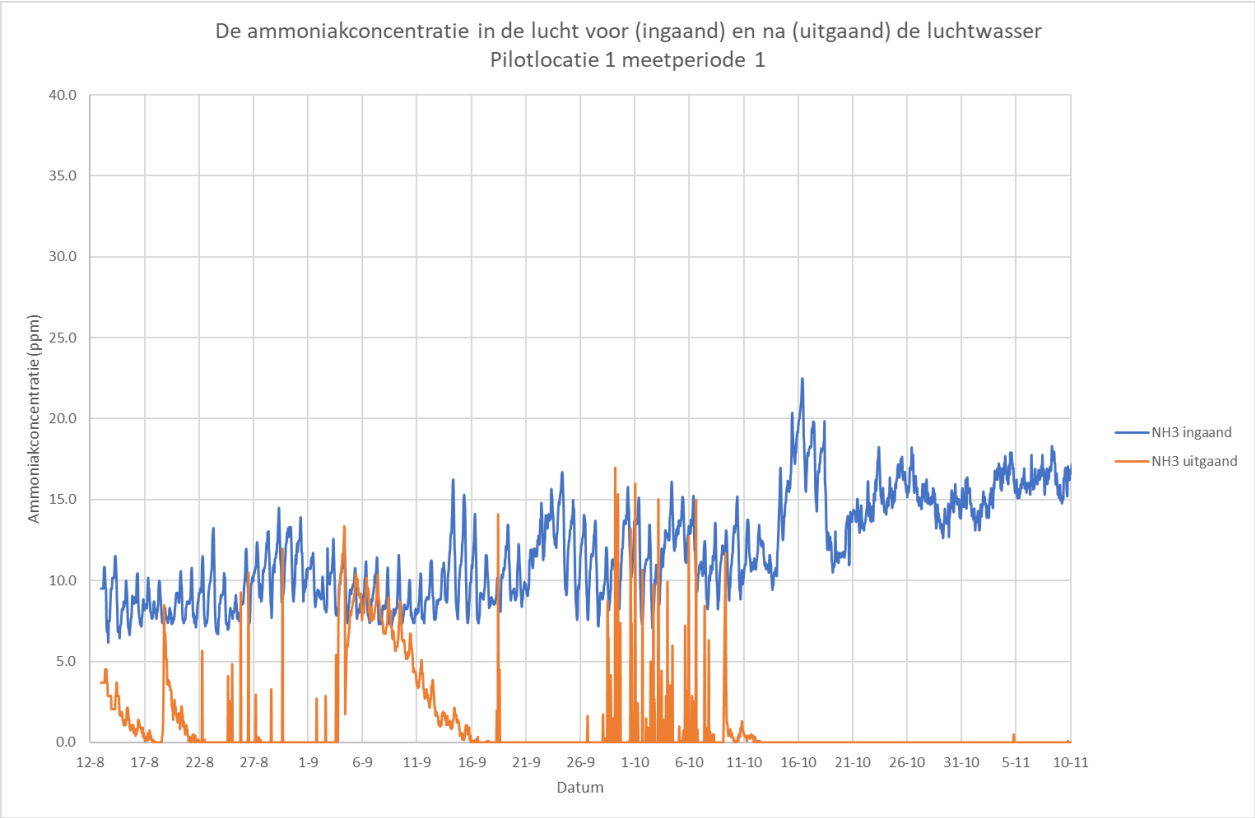
In deze meetperiode zijn de geurmonsters alleen met de conventionele methode geanalyseerd, niet met de chemisch-analytische methode.

***Tabel 6*** *Resultaten van de conventionele analyse van geurmonsters; locatie 1, periode 1.*

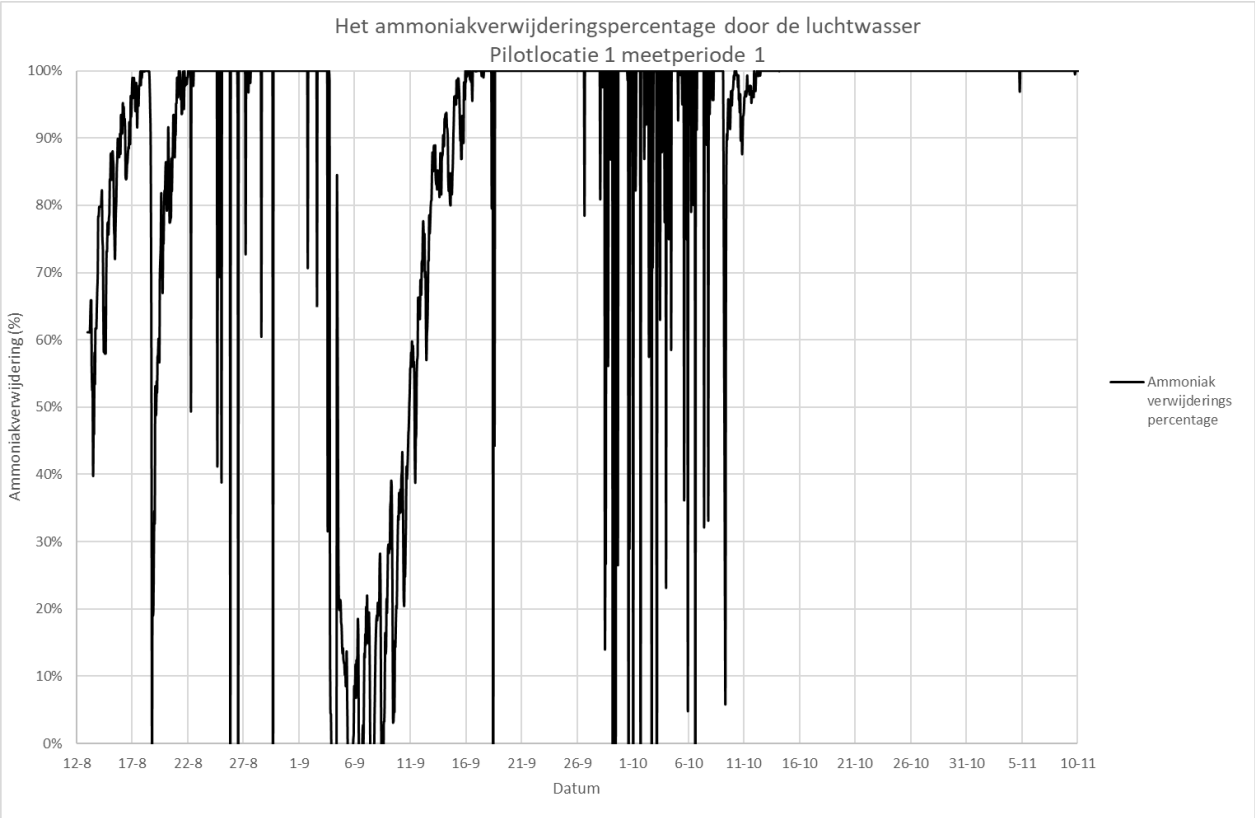
| Aspect | Monster 1 | Monster 2 | Gemiddeld |
|---|---|---|---|
| Ingaande lucht naar luchtwasser | 2632 | 4025 | 3329 |
| Uitgaande lucht uit luchtwasser | 2632 | 3397 | 3015 |
| Gemiddeld verwijderings-rendement geur | | | 9% |




***Figuur 3.1*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 1. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.2*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 1.*




***Figuur 3.3*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 1.*

### 3.1.2 Meetperiode 2

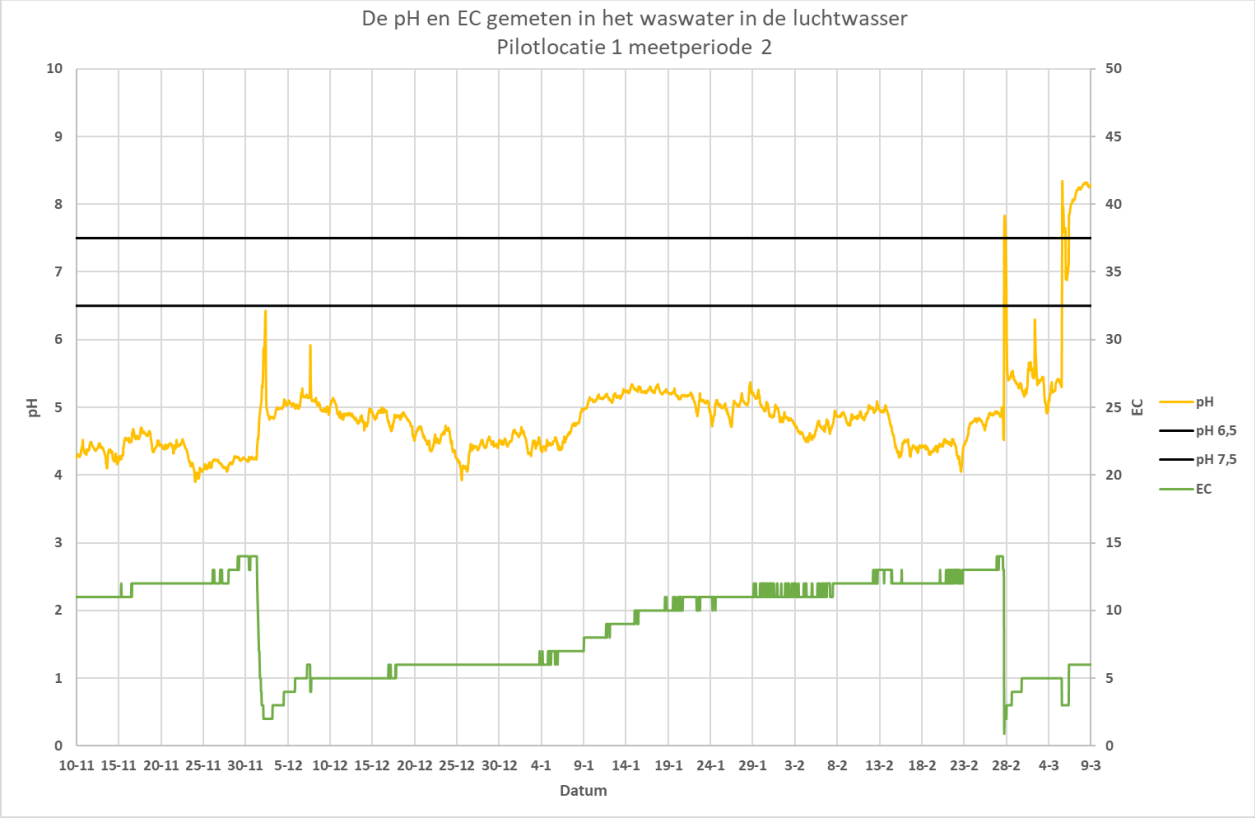
Meetperiode 2 besloeg de periode van halverwege november 2023 tot en met februari 2024. In meetperiode 2 was gedurende de gehele periode sprake van te zuur waswater (een pH-waarde lager dan 6,5) (Figuur 3.4). Door logistieke vertragingen (moeilijke afvoer van spuiwater door natte periode rond de start van het uitrijdseizoen van mest) is de voorgestelde maatregel van periode 1 om de waswaterput te legen en schoon te spoelen pas begin maart doorgevoerd. Dit is ook te zien in de scherpe toename van de pH eind februari toen al het waswater is vervangen met schoon water met een basische pH-waarde (pH-waarde hoger dan 7,5). Het schoonmaken van de waswaterput duurde enkele dagen waardoor ammoniakverwijdering in die tijd al afnam omdat de luchtwasser toen uit stond. De gemiddelde ammoniakverwijdering was 95% gedurende meetperiode 2. De pH-waarde van het waswater was bijna de volledige meetperiode lager dan pH 6,5. De afgevangen ammoniak is waarschijnlijk niet omgezet in nitraat, maar in andere stikstofgassen. Deze hypothese wordt ondersteunt door de gelogde EC-waarde, deze nam gedurende meetperiode 2 minder dan 10 mS/cm toe. Er is ook geen spuiwaterproductie geregistreerd gedurende meetperiode 2. Deze observaties doen vermoeden dat de stikstof in de ammoniak niet wordt vastgelegd als nitriet of nitraat, maar wordt geëmitteerd als een ander stikstofgas. Hierdoor neemt de EC-waarde niet toe, gaat de luchtwasser geen waswater spuien en schoon water innemen, wat de pH-waarde zou doen stijgen. Bij gevolg blijft de pH-waarde (te) laag.
De luchtmonsters voor geuranalyses zijn tegen het einde van de meetperiode, op 21 februari verzameld en geanalyseerd. De resultaten van beide analysemethodes zijn in Tabel 7 weergegeven.

Observaties:

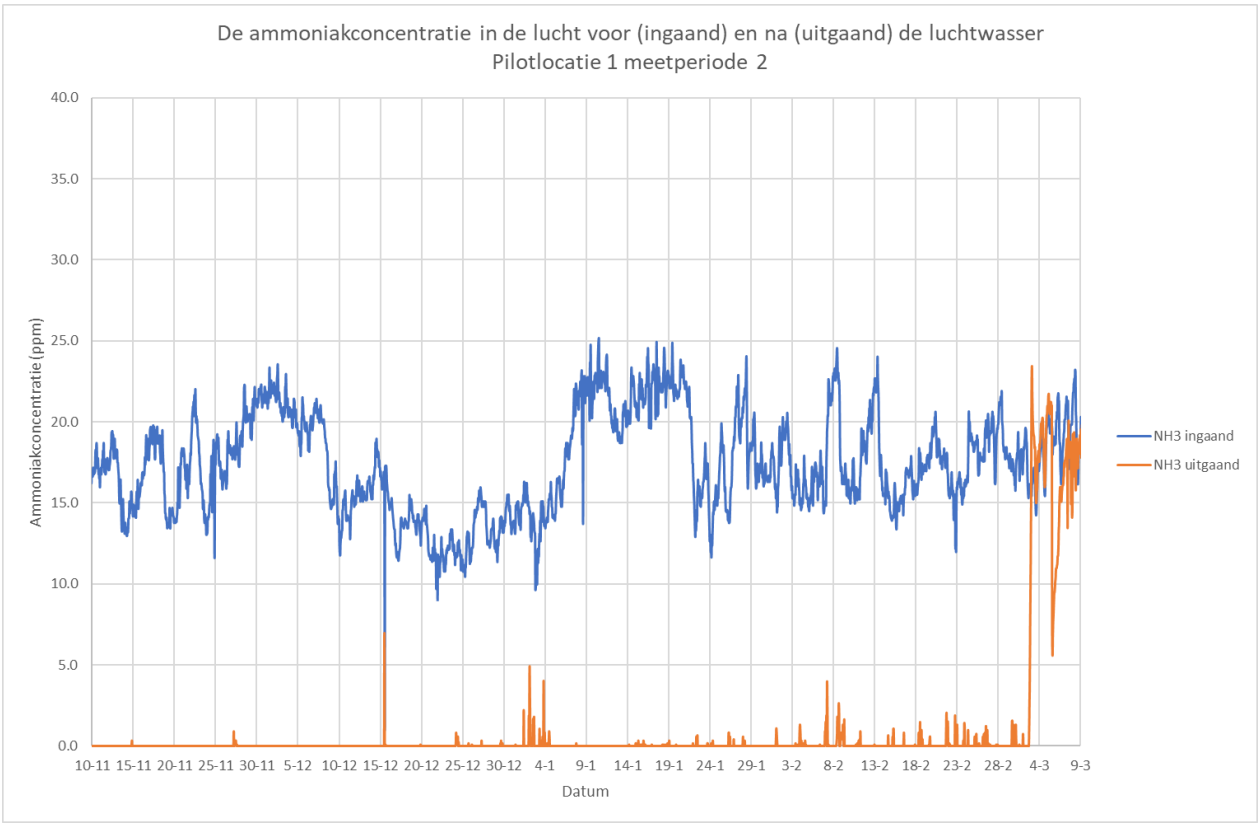
- De pH was gedurende gehele periode lager dan 6,5 en dus te laag. De ammoniakverwijdering is over deze periode gemiddeld 95% (Figuur 3.6). Uit de meting van de ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht blijkt dat (nagenoeg) alle ammoniak is afgevangen (Figuur 3.5). De EC neemt echter weinig toe. Door de te lage pH in het waswater wordt de afgevangen ammoniak omgezet in andere stikstofgassen en wordt de stikstof alsnog uitgestoten naar de omgeving. Dit eerder aangetoond in Maasdam et al. (2021) en in dit rapport (par. 3.1.1, par. 3.2.4).
- Na het schoonmaken van de waswaterput en het vullen met schoonwater begin maart is een sterke stijging van de pH tot boven pH 8 gezien. Bij deze hoge pH is sprake van geringe ammoniakverwijdering door de lage oplosbaarheid van ammoniak bij pH boven de 7,5.
- Het berekende verwijderingsrendement voor geur van de luchtwasser was gemiddeld 88% volgens de olfactometrische methode en 72 % volgens de chemisch-analytische methode (Tabel 7). Deze laatste waarde is gebaseerd op de totale geuractiviteitswaarde (SumOAV) van 18 geurstoffen. De rendementen van beide methoden komen redelijk goed overeen. Opvallend is dat bij bepaalde geurstoffen, zoals de vetzuren, na de luchtwasser soms hogere geurwaarden waargenomen zijn dan ervoor (negatief rendement).

Maatregelen voorstel:

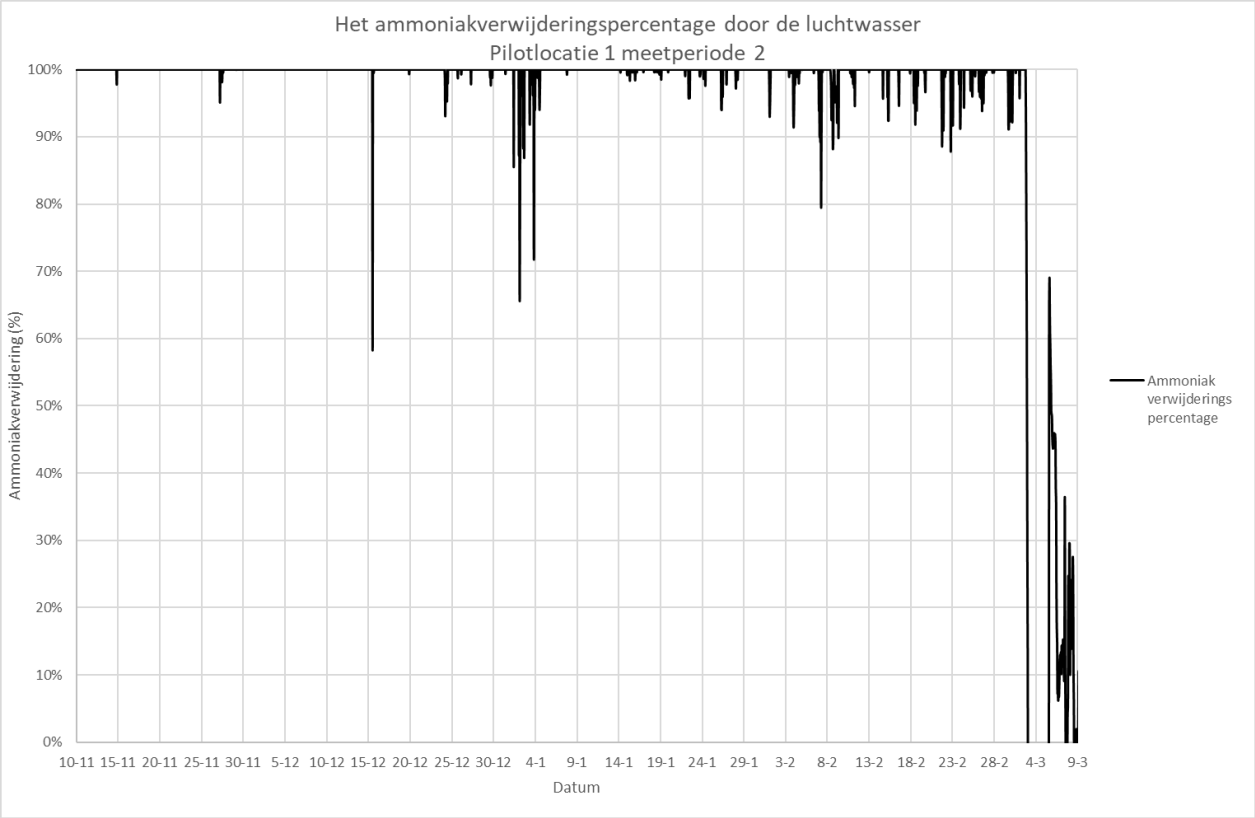
- Effect volgen van herstart van luchtwasser zoals voorgesteld in meetperiode 1. Vaststellen of en wanneer het waswater in de luchtwasser verzuurt.
- Benodigde hoeveelheid spuiwater en schoon water berekenen die nodig is om de verzuring te vermijden aan de hand van de snelheid waarmee de pH daalt tijdens verzuring.




***Figuur 3.4*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 1. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.5*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 1.*




***Figuur 3.6*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 1.*

***Tabel 7*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 1. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 32 | | | 230 | | | 255 | | | 268 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 10.5 | 0.9 | 8.3 | 7.8 | 0.6 | 7.9 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 8.6 | 8.1 | 94.0 | 15.6 | 10.1 | 64.4 | 27.0 | 1.5 | 5.6 | 33.6 | 8.0 | 23.9 | *-151%* |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.2 | 0.1 | 44.9 | 0.2 | 0.1 | 51.7 | 0.4 | 0.0 | 4.3 | 0.5 | 0.1 | 13.2 | *-167%* |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 1.1 | 0.5 | 39.1 | 1.9 | 1.5 | 80.2 | 4.1 | 1.1 | 25.6 | 13.0 | 9.3 | 71.8 | *-467%* |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.1 | 17.2 | 0.9 | 0.1 | 6.0 | *-739%* |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.4 | 0.2 | 38.3 | 0.5 | 0.3 | 50.7 | 0.9 | 0.2 | 23.5 | 1.0 | 0.2 | 20.3 | *-102%* |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 63.1 | 0.0 | 0.0 | 28.8 | 0.0 | 0.0 | 25.2 | 0.0 | 0.0 | 43.4 | *-50%* |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 41.4 | 0.0 | 0.0 | 13.2 | 0.0 | 0.0 | 23.6 | 0.1 | 0.0 | 12.2 | *-80%* |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 94.0 | 25.9 | 27.6 | 62.2 | 5.9 | 9.4 | 0.5 | 0.2 | 33.2 | 0.9 | 0.7 | 81.1 | 99% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.5 | 0.0 | 0.0 | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 2.5 | 0.9 | 35.9 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1177.1 | 19.9 | 1.7 | 1388.7 | 43.5 | 3.1 | 333.0 | 9.7 | 2.9 | 346.4 | 9.9 | 2.9 | 74% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 182.3 | 9.3 | 5.1 | 201.0 | 14.5 | 7.2 | 56.9 | 5.0 | 8.8 | 53.3 | 3.2 | 6.0 | 71% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.8 | 0.2 | 24.7 | 1.0 | 0.2 | 24.1 | 0.7 | 0.0 | 6.5 | 0.8 | 0.1 | 12.7 | 19% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 9.6 | 0.3 | 2.9 | 9.6 | 0.3 | 2.9 | 0.4 | 0.3 | 65.5 | 0.4 | 0.3 | 65.5 | 96% |
| | SumOAV | 1487 | | 35.33 | 1690 | | 26.21 | 424 | | 16.05 | 451 | | 24.5 | 72% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 5462 | | | 4055 | | | 593 | | | 553 | | | 88% |

### 3.1.3 Meetperiode 3

Meetperiode 3 besloeg de periode van maart 2024 tot en met mei 2024. In het begin van meetperiode 3 was de pH van het waswater te hoog als gevolg van de maatregel uit meetperiode 1: een herstart van de luchtwasser door het waswater in de waswaterput te vervangen door schoon water. Ook gedurende de maand april is de pH boven de bovengrens van pH 7,5. Deze periodes van hoge pH komen overeen met periodes met slechte ammoniakverwijdering (Figuur 3.7, Figuur 3.9). Aan het einde van de meetperiode verzuurt het waswater, net zoals is geobserveerd in meetperiode 1. Tot en met meetperiode 3 is de hoeveelheid spuiwater die het systeem per keer kan spuien ingesteld op 2,5 $m^3$ per keer. Uit een berekening aan de afname in pH van begin mei blijkt dat de benodigde hoeveelheid spuiwater en toevoer van schoon water ongeveer twee keer groter moet zijn om genoeg zuur ($H^+$) af te voeren en de pH boven de ondergrens van pH 6,5 te houden.
De geurmetingen zijn tegen het einde van de meetperiode op 6 mei geanalyseerd. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 8 weergegeven.

Observaties:

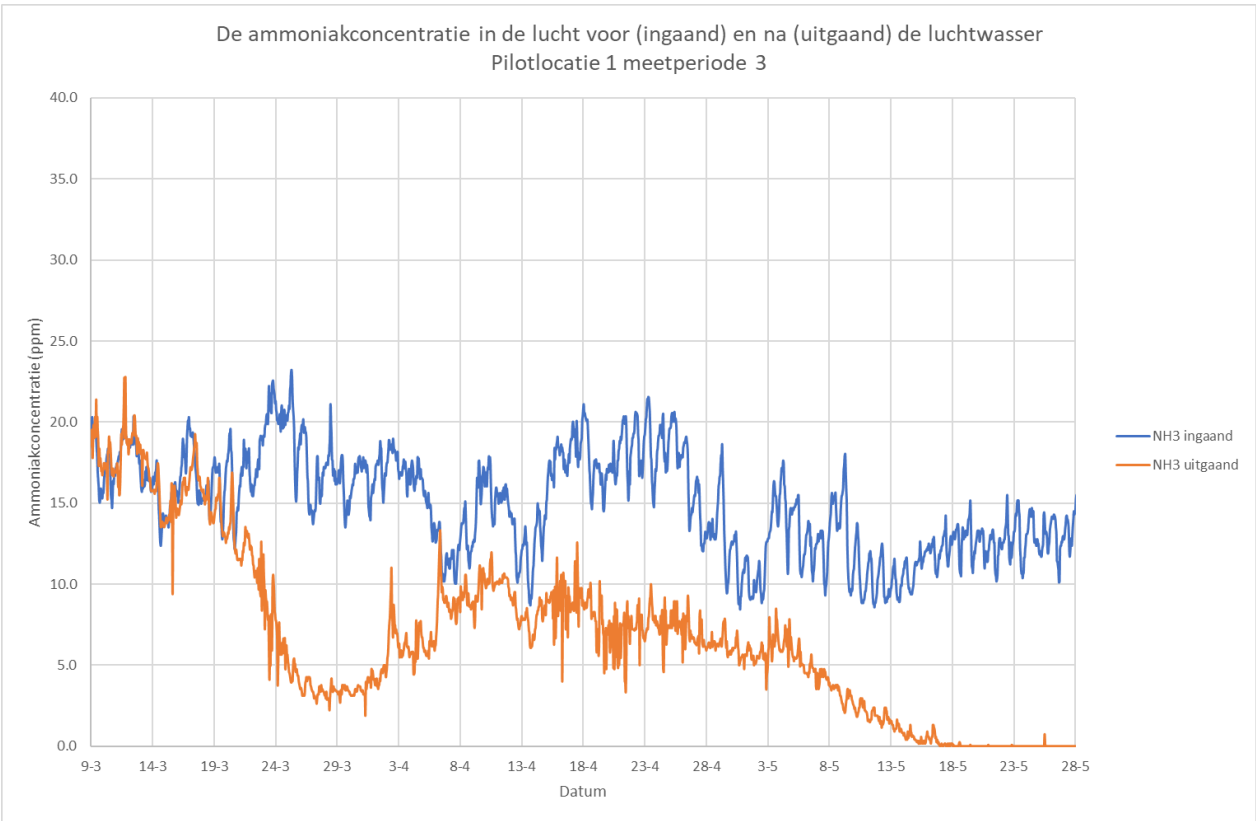
- De bovengrens van de pH-bandbreedte is pH 7,5. Vanaf die pH-waarde daalt de efficiëntie van ammoniakverwijdering doordat ammoniak niet tot nauwelijks oplost in het waswater.
- Verzuring van deze luchtwasser vindt plaats na ongeveer 2 maanden met stabiele werking.
- Uit een berekening van de zuurproductie tijdens deze periode blijkt dat de instellingen voor spuiwaterproductie (en dus toevoer van schoon water) ongeveer een factor 2 lager zijn dan nodig is.
- Het berekende verwijderingsrendement voor geur van de luchtwasser was gemiddeld 51 % volgens de chemisch-analytische methode (SumOAV) en -2% volgens de sensorische methode, dat wil zeggen: volgens deze methode is er geen geur verwijderd (Tabel 8). De spreiding tussen duplo samples was aanzienlijk bij de sensorische methode. Opvallend was dat minder dan 30% van de zwavelcomponenten zoals waterstofsulfide ($H_2S$) en methylmercaptaan verwijderd werden door de luchtwasser.

Maatregelen voorstel:

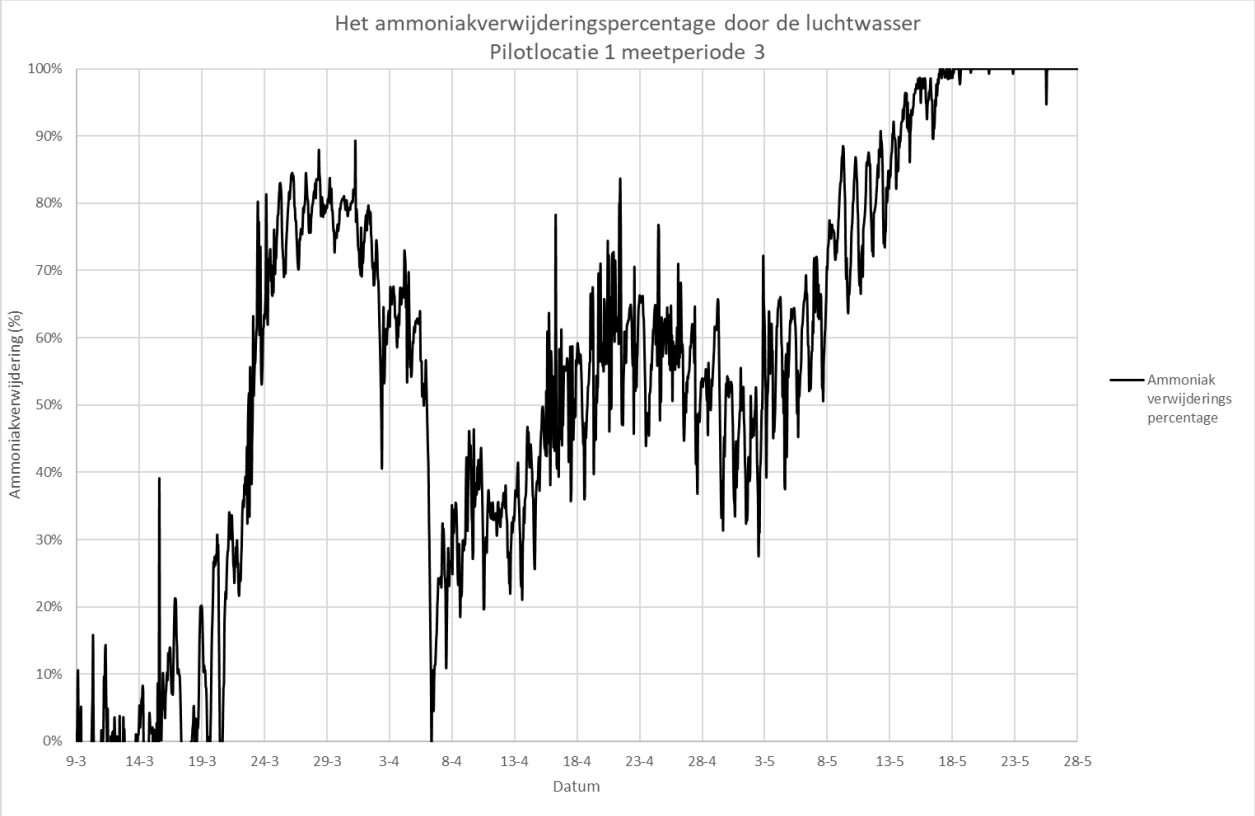
- Verhogen van de hoeveelheid spuiwater per keer van 2,5 $m^3$ naar 5 $m^3$ voor:
  a) voldoende afvoer van zuur en bacteriën met spuien en
  b) extra toevoer van schoon water, wat de pH verhoogt.
- Test om de pH van het waswater handmatig te corrigeren en terug te brengen tussen de bandbreedte (pH 6,5 – 7,5) door te spuien bij een EC-waarde lager dan 20 mS/cm. Als de luchtwasser vaker spuiwater afvoert, wordt ook meer schoon water toegevoegd, waardoor de pH naar verwachting zal stijgen. Deze maatregel zou een alternatief kunnen zijn voor het tijdelijk uitzetten van de luchtwasser om de pH bij verzuring in de pH-bandbreedte terug te brengen.



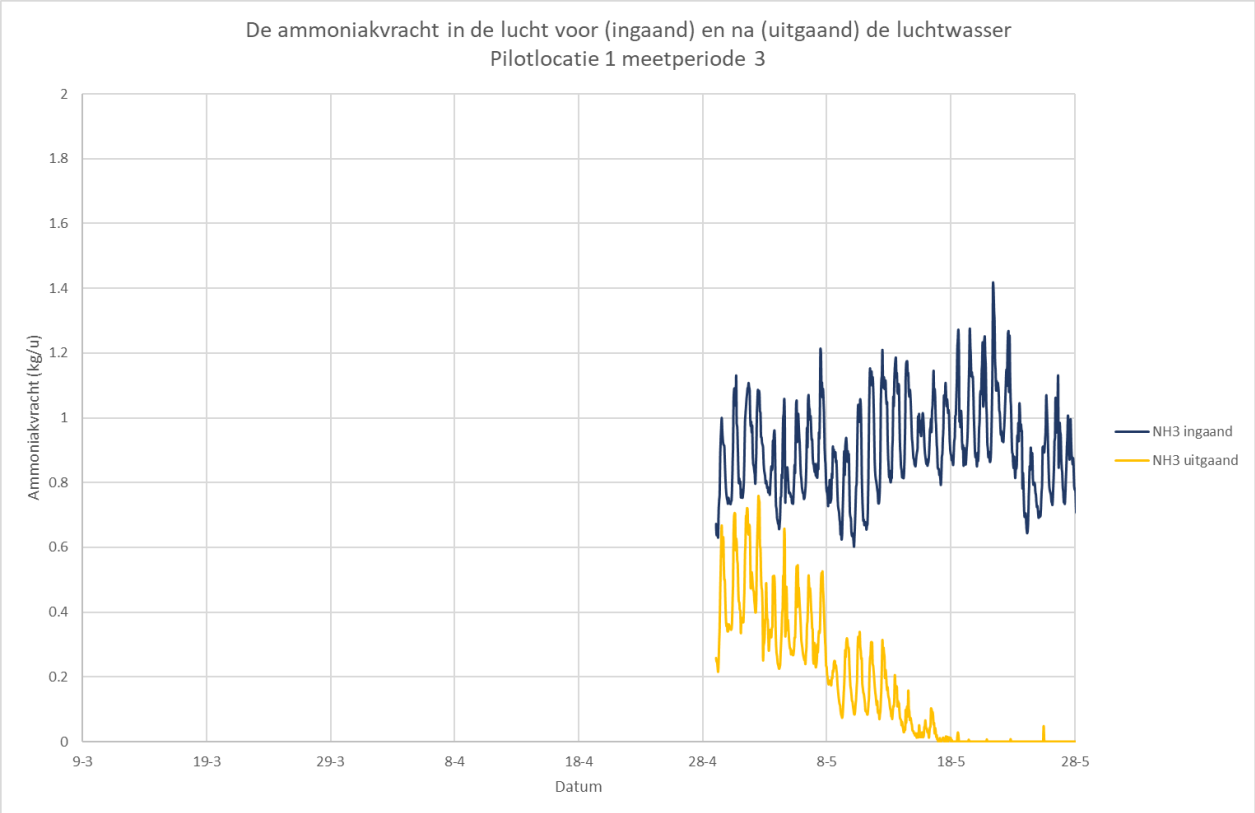

***Figuur 3.7*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 1. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.8*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 1.*




***Figuur 3.9*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 1.*




***Figuur 3.10*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 1. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

***Tabel 8*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 1. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 216 | | | 280 | | | 197 | | | 298 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 17.84 | 2.5 | 13.82 | 13.75 | 0.1 | 0.85 | 17.53 | 3.0 | 16.9 | 17.71 | 3.1 | 17.25 | *-12%* |
| 64-19-7 | Acetic acid | 59.63 | 10.3 | 17.31 | 63.2 | 0.8 | 1.18 | 7.36 | 4.7 | 63.56 | 6.1 | 1.9 | 30.52 | 89% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 10.6 | 1.1 | 9.96 | 11.09 | 0.6 | 5.03 | 0.18 | 0.1 | 44.42 | 0.29 | 0.2 | 52.93 | 98% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 2.39 | 0.3 | 13.21 | 2.71 | 0.2 | 8.25 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 299.01 | 23.5 | 7.85 | 284 | 5.1 | 1.78 | 2.3 | 0.5 | 22.37 | 3.72 | 2.2 | 59.68 | 99% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 121.98 | 8.9 | 7.32 | 112.77 | 1.2 | 1.09 | NK | NK | NK | 0.34 | 0.0 | 0 | 100% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 28.2 | 0.8 | 2.93 | 21.62 | 0.6 | 2.93 | 0.43 | 0.2 | 34.51 | 0.85 | 0.4 | 46.89 | 97% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.04 | 0.0 | 7.29 | 0.03 | 0.0 | 4.53 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 41.67 | 100% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | 0.01 | 0.0 | 1.72 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.05 | 0.0 | 7.93 | 0.06 | 0.0 | 19.55 | 0.01 | 0.0 | 28.29 | 0.01 | 0.0 | 2.67 | 82% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 149.48 | 6.2 | 4.17 | 174.19 | 15.4 | 8.86 | 4.35 | 0.5 | 11.1 | 2.97 | 0.2 | 7.01 | 98% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1211.7 | 20.9 | 1.7 | 1213.8 | 19.0 | 1.6 | 874.1 | 8.3 | 1.0 | 828.7 | 34.0 | 3.9 | 30% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 168.6 | 26.5 | 15.7 | 140.8 | 5.4 | 3.9 | 120.5 | 11.2 | 9.3 | 125.0 | 7.5 | 6.0 | 21% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.5 | 0.9 | 59.0 | 0.8 | 0.0 | 3.7 | 1.1 | 0.5 | 48.4 | 0.9 | 0.1 | 9.7 | 13% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 5.70 | | 7.90 | 5.70 | | 7.90 | 2.40 | | 4.80 | 2.40 | | 4.80 | 58% |
| | SumOAV | 2077 | | 12.6 | 2044 | | 4.9 | 1030 | | 23.7 | 989 | | 21.8 | 51% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 2414 | | | 3328 | | | 3335 | | | 2543 | | | *-2%* |

### 3.1.4 Meetperiode 4

Meetperiode 4 besloeg de periode van juni 2024 tot en met augustus 2024. Gedurende de maand juni is getest om handmatig de maximale EC-waarde voor spuien bij te stellen en hierdoor meer spuiwater te produceren en schoonwater toe te voeren. Het doel is om middels het verhogen van spuiwaterproductie en coherent de toevoer van schoon water de pH weer terug te brengen binnen de bandbreedte van 6,5 tot 7,5 zonder daarbij de luchtwasser tijdelijk uit te zetten (waarbij helemaal geen ammoniak afvangst plaats vindt). Gedurende de maand juni is deze instelling dagelijks handmatig uitgevoerd door de veehouder. Dit heeft tot een lichte stijging in zuurgraad geleid van pH 3,6 naar 5,3 in 12 dagen tijd. Hieruit blijkt dat het mogelijk is om door handmatig te spuien de pH te verhogen na verzuring, zonder de luchtwasser stil te hoeven leggen. De stijging was echter onvoldoende om de pH binnen een redelijke termijn binnen de bandbreedte te brengen. De instellingen voor spuiwaterproductie zijn nog niet aangepast waardoor maximaal slechts 2,5 $m^3$ per dag wordt gespuid. In overleg is besloten om de luchtwasser alsnog tijdelijk uit te zetten, waardoor de pH snel steeg. Vervolgens is de instelling voor spuien aangepast: een dubbele hoeveelheid spuiwater per keer (5 $m^3$ i.p.v. 2,5 $m^3$ per keer) in combinatie met de originele instelling voor de maximale EC-waarde van 20 mS/cm. Na herstart van de luchtwasser is een stijging van de pH waarneembaar; deze nam halverwege juli weer af tot een pH van 4. Er vond nog geen spuiwaterproductie plaats doordat de EC-waarde niet de 20 mS/cm heeft bereikt na de herstart, waardoor geen afvoer van zuur heeft plaats gevonden.
De geurmetingen en -analyses zijn tegen einde van de meetperiode rond 12 augustus uitgevoerd. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 9 weergegeven.

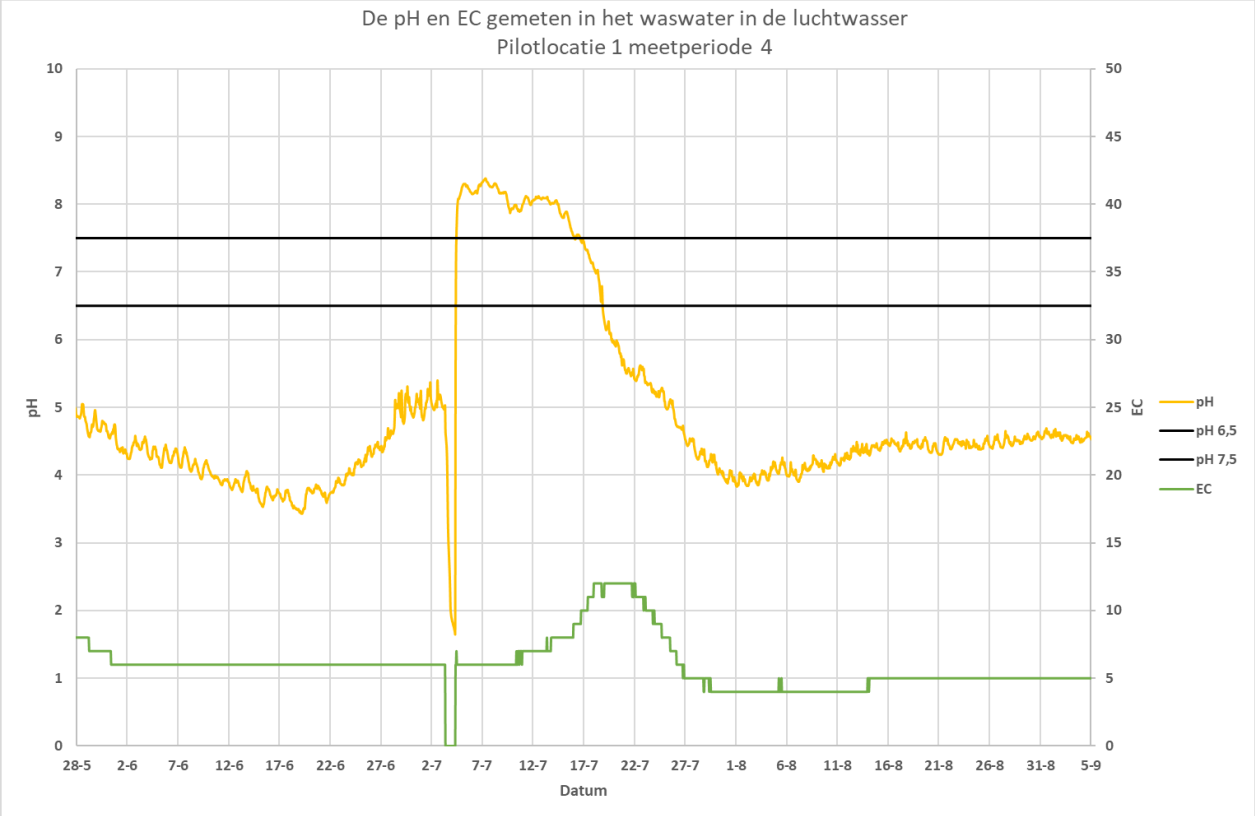
Observaties:

- Het is mogelijk de luchtwasser vanuit verzuurde toestand bijsturen d.m.v. handmatig aanpassen EC-grenswaarde, maar het is een zeer traag proces; na 2 weken is de pH nog steeds lager dan de ondergrenswaarde pH 6,5. Dit is het gevolg van een (te) laag spuivolume per keer (2,5$m^3$); voor een snelle bijsturing van de pH in het waswater zou een grotere hoeveelheid per keer gespuid moeten worden.
- Sterke verzuring na herstart doordat geen spuiwaterproductie plaats vond, omdat de EC-grenswaarde van 20 mS/cm niet werd bereikt.

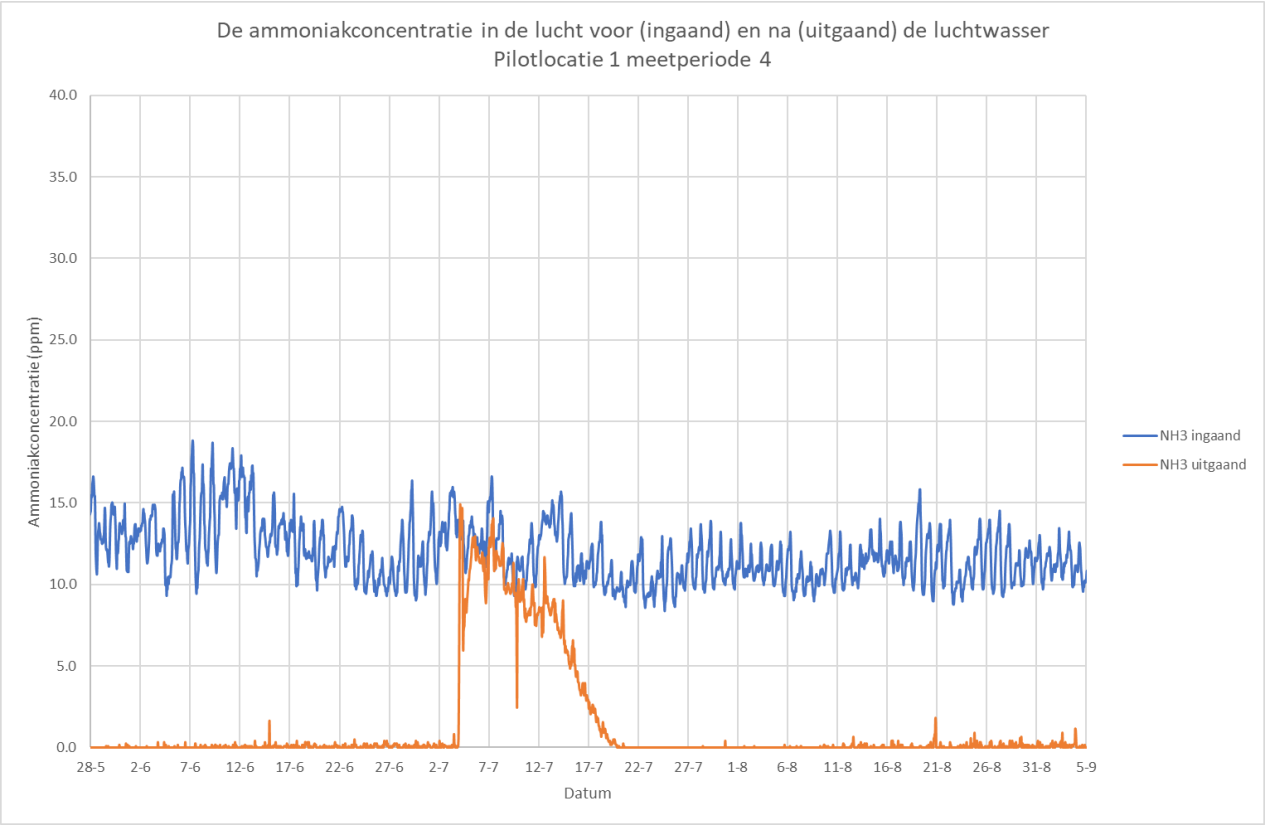
- Het geurverwijderingsrendement van de luchtwasser was matig met gemiddeld 39% volgens de chemisch-analytische methode en 62% volgens de sensorische methode (Tabel 7). De spreiding tussen duplo samples was soms aanzienlijk bij de olfactometrische methode. Net zoals in meetperiode 2 werden in meetperiode 3 zwavelcomponenten zoals hydrogeensulfide ($H_2S$) en methylmercaptaan het slechtst verwijderd door de luchtwasser.

Maatregelen voorstel:

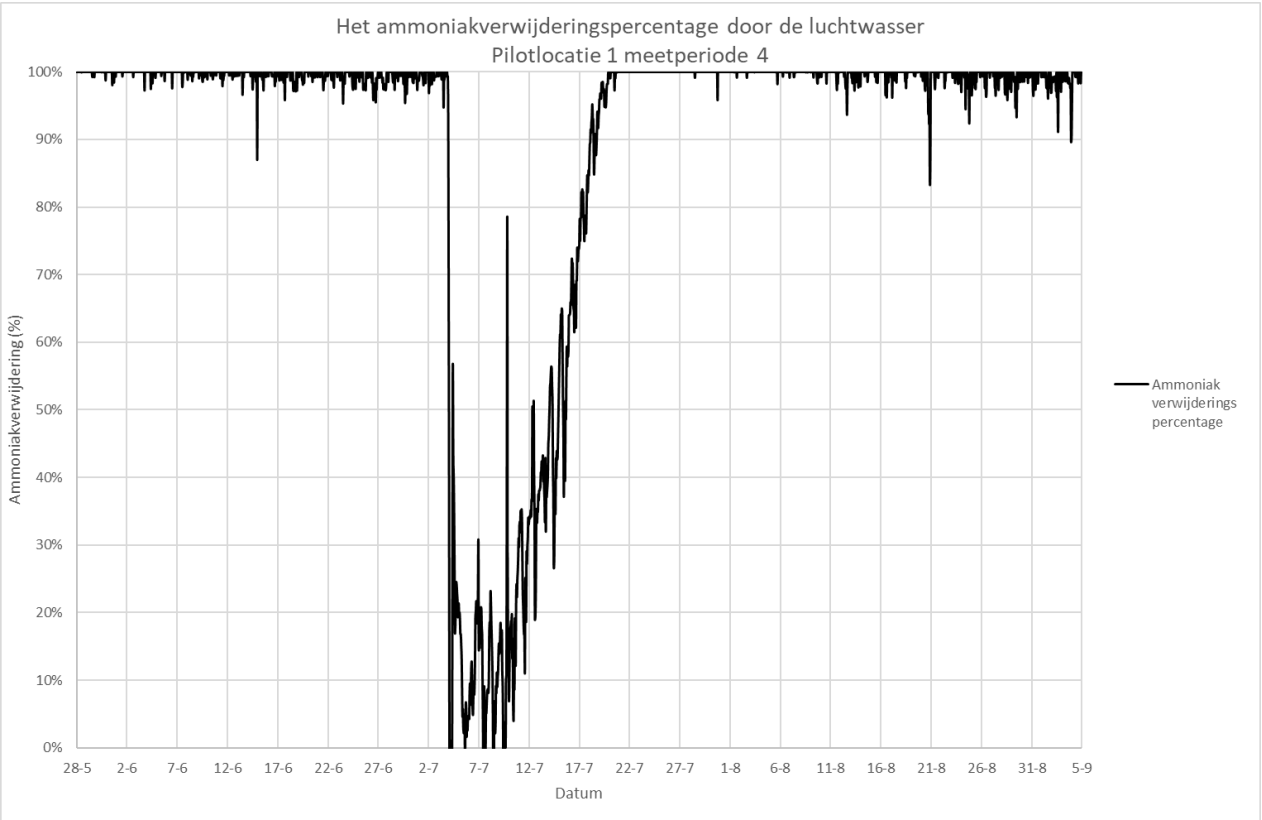
- Herstarten van de luchtwasser door het halfleeg maken van de waswaterput en bij te deze vullen met schoon water. In verband met de afloop van het project is de waswaterput slecht half leeg gemaakt om biomassa te behouden (en dus nitrificatie-activiteit) om de werking van de nieuwe instellingen voor spuien sneller te kunnen beoordelen.
- pH te stabiliseren met een aanpaste aansturing, een adaptieve regeling met twee verschillende maatregelen:
  1) Stapsgewijs verhogen van de frequentie van spuien of de spuiwaterhoeveelheid per spuimoment als de pH binnen de bandbreedte daalt. Als de pH onder 6,7 daalt, gaat de luchtwasser frequent spuien, ook als de EC nog lager dan 20 mS/cm is. Doel: het geproduceerde zuur eerder afvoeren en meer schoon water toevoegen en zo de pH reguleren, ook bij EC-waarden lager als20 mS/cm.
  2) Verlagen debiet naar de sproeiers over het pakket – als pH lager wordt dan 7,0 gaat de pomp minder waswater over het waspakket pompen. Bij pH 6,5 is het laagste debiet bereikt, waarbij het waspakket nog steeds volledig besproeid wordt. Het doel hierbij is om te testen of hierdoor minder ammoniak wordt opgenomen, en er dus ook minder snel nitrificatie zal plaats vinden, terwijl wel nog volledige dekking van het pakket plaats vindt en minstens 85% van de ammoniak wordt afgevangen.



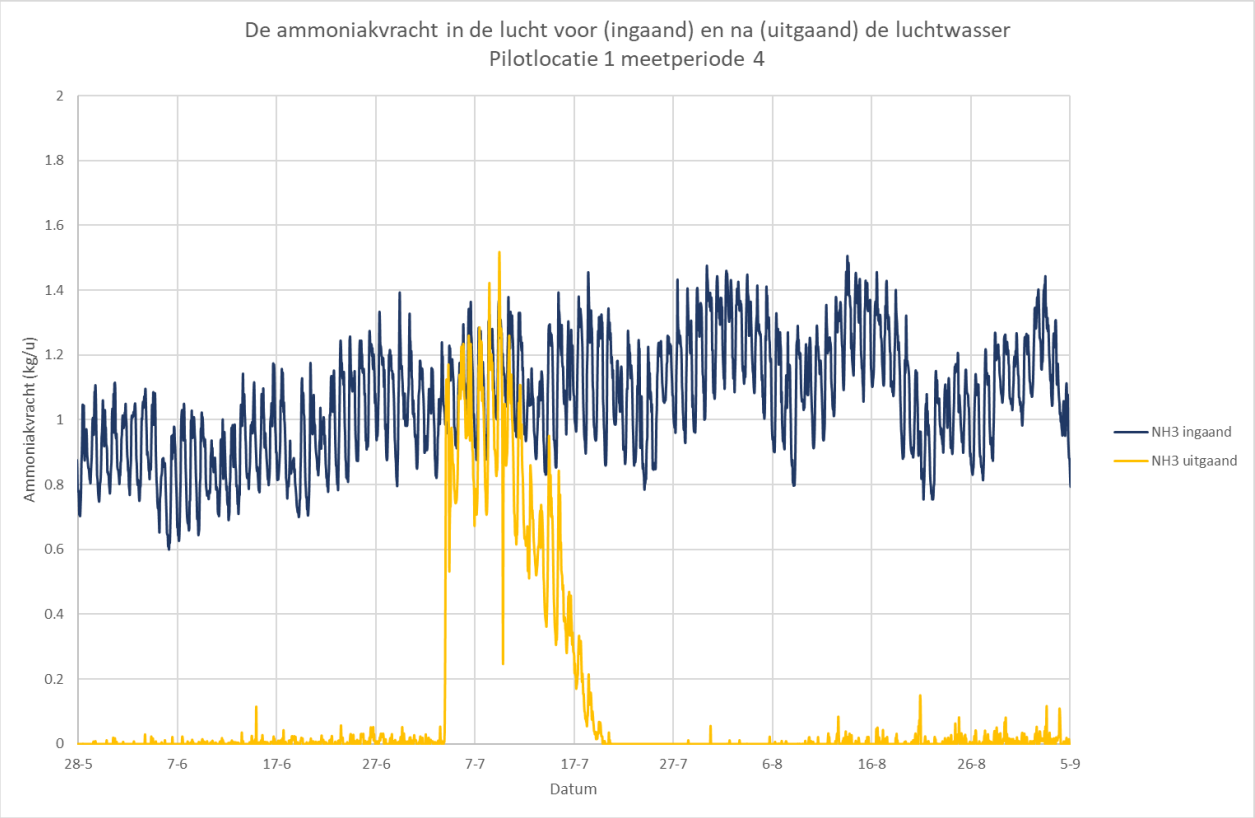

***Figuur 3.11*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 1. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.12*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 1.*




***Figuur 3.13*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 1.*




***Figuur 3.14*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 1. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

***Tabel 9*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 1. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 145 | | | 174 | | | 277 | | | 266 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 5.32 | 0.4 | 7.61 | 4.65 | 1.94 | 41.68 | 0.27 | 0 | 0 | 1.04 | 0 | 0 | 87% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 50.98 | 1.29 | 2.52 | 47.7 | 1.81 | 3.8 | 45.94 | 4.47 | 9.72 | 31.75 | 4.01 | 12.62 | 21% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 8.36 | 0.09 | 1.05 | 8.46 | 0.1 | 1.21 | 2.92 | 0.07 | 2.32 | 0.77 | 0.3 | 38.92 | 78% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 1.09 | 0.08 | 7.67 | 0.99 | 0.05 | 5.53 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 229.1 | 14.71 | 6.42 | 230.97 | 17.34 | 7.51 | 67.97 | 1.82 | 2.68 | 12.01 | 5.19 | 43.24 | 83% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 94.44 | 5.45 | 5.77 | 81.22 | 11.03 | 13.58 | 11.6 | 0.72 | 6.17 | 2.76 | 1.61 | 58.31 | 92% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 25.67 | 1.52 | 5.9 | 22.73 | 0.87 | 3.81 | 4.8 | 0.17 | 3.6 | 1.33 | 0.41 | 30.45 | 87% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.04 | 0.01 | 14.4 | 0.03 | 0 | 6.55 | 0.02 | 0 | 20.55 | 0.01 | 0.01 | 57.23 | 57% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0 | 0 | 0 | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.02 | 0 | 6.78 | 0.02 | 0 | 16.23 | 0.02 | 0 | 3.34 | 0.03 | 0 | 10.57 | -25% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 124.83 | 6.57 | 5.26 | 162.93 | 24.33 | 14.93 | 3.08 | 0.45 | 14.55 | 2.3 | 0 | 0 | 98% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.26 | 0 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 2.06 | 0.25 | 11.98 | 5.05 | 3.2 | 63.34 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 862.07 | 3.84 | 0.45 | 760.73 | 10.59 | 1.39 | 708.98 | 1.04 | 0.15 | 742.68 | 13.12 | 1.77 | 11% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 117.67 | 34.53 | 29.34 | 89.58 | 10.54 | 11.77 | 84.83 | 12.19 | 14.37 | 67.67 | 2.01 | 2.98 | 26% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.23 | 0.87 | 70.24 | 0.55 | 0.05 | 8.42 | 0.90 | 0.45 | 50.32 | 0.78 | 0.29 | 36.49 | 6% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 5.10 | 0.20 | 3.40 | 5.10 | 0.20 | 3.40 | 0.19 | 0.07 | 38.57 | 0.19 | 0.07 | 38.57 | 96% |
| | SumOAV | 1528 | | 11.17 | 1421 | | 12.70 | 932 | | 11.88 | 863 | | 25.47 | 39% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 1021 | | | 1642 | | | 493 | | | 521 | | | 62% |

### 3.1.5 Meetperiode 5

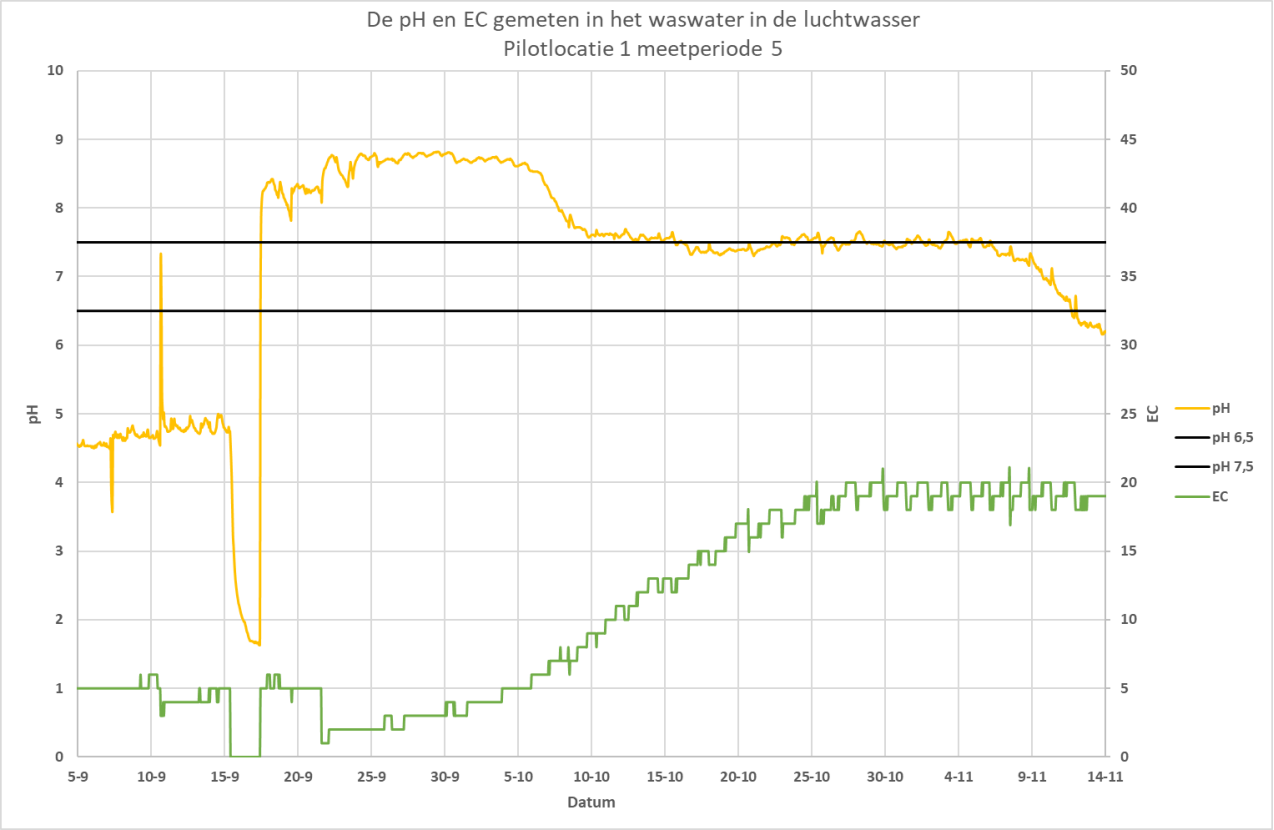
Meetperiode 5 besloeg de periode van september 2024 tot en met half november 2024. Begin meetperiode 5 is de waswaterbak deels geleegd; deze keer slechts voor de helft om biomassa te behouden in de luchtwasser en sneller te kunnen oordelen of de nieuwe spuiwaterinstellingen tot stabielere werking leiden. Het programmeren van een adaptieve regeling zoals voorgesteld in de maatregelen van meetperiode 4 is niet gerealiseerd in meetperiode 5. Na het legen is de pH gedurende een korte periode te hoog; de ammoniakverwijdering is gering. Zodra de pH daalt, stabiliseert het systeem rond een pH van 7,5 tot begin november. Rond begin november daalt de pH snel tot onder de 6,5. Deze daling in pH valt samen met een daling in het ammoniakaanbod (verlaging in vracht, zie Figuur 3.18). Waarschijnlijk heeft de daling van de ammoniakvracht met ongeveer 30% de verzuring versnelt. Ammoniak zelf is een zwakke base die een deel van het gevormde zuur kan binden om zo de pH neutraal te houden. Bij een daling in het ammoniakaanbod verschuift het evenwicht van ammoniakopname (base) en zuurvorming (door nitrificatie) en verandert ook de pH, in dit geval een daling van de pH. De ammoniakvracht daalde aan het einde van de meetperiode maar de concentratie bleef stabiel (Figuur 3.16 en Figuur 3.18). Dit toont aan dat alleen ammoniakconcentratie meten niet voldoende is om te kunnen beoordelen wat het aanbod aan ammoniak is dat de luchtwasser ingaat. Een mogelijke oplossing om de pH stabieler te houden bij schommelingen in ammoniakaanbod: bij daling in de ammoniakvracht de EC-grenswaarde voor spuien (tijdelijk) aan passen. De ammoniakvracht en -concentratie veranderen als gevolg van temperatuurwisseling, verandering in aantal aanwezige dieren en het gemiddeld diergewicht, waardoor schommelingen in het ventilatieniveau ontstaan. Schommelingen in deze variabelen (als gevolg van seizoensinvloeden of het groeitraject van dieren) hebben dus direct invloed op de ammoniakvracht. Bij grote variëteit in de te verwerken ammoniakvracht zal het adaptief aanpassen van instellingen voor o.a. EC-waarde voor spuien, schoon water toevoer en spuifrequentie en -hoeveelheid waarschijnlijk tot een stabielere pH van het waswater leiden, vergeleken met jaarrond hanteren van dezelfde instellingen. Het handmatig aanpassen van instellingen, gebaseerd op de hierboven genoemde parameters, vergt echter zeer gespecialiseerde kennis van zowel bedrijfsmatige processen binnen het varkensbedrijf als ook van het werkingsprincipe van de luchtwasser.
De geurmetingen zijn halverwege de meetperiode op 22 oktober geanalyseerd in een periode waarin de pH stabiel rond 7,5 was. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 10 weergegeven.

Observaties:

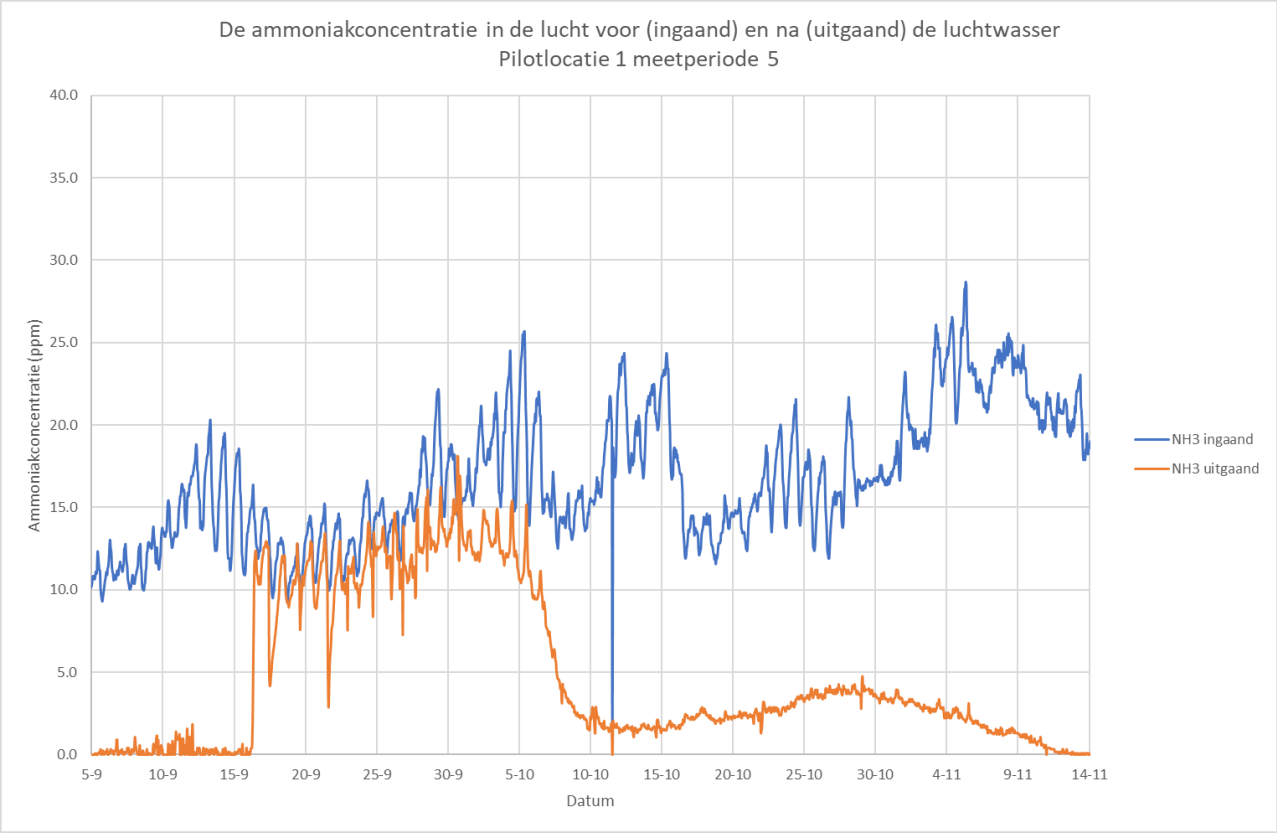
- Versnelde verzuring onder de 6,5 bij daling in ammoniakvracht rond 11 november. De aanpassing van spui-instellingen was onvoldoende effectief om verzuring te voorkomen.
- Ammoniakvracht daalt, ondanks vergelijkbare ammoniakconcentratie.
- De geurconcentraties lagen volgens beide methodes deze periode hoger dan eerdere periodes. Er werden vooral hogere concentraties van 2,3-butadione en $H_2S$ gedetecteerd. Het rendement was met gemiddeld 53 % volgens de chemisch-analytische methode en 67% volgens de sensorische methode en lag, ondanks de grote duplo-spreiding in de sensorische methode, dichter bij elkaar (Tabel 10). Weer werden zwavelcomponenten ten opzichte van andere stoffen minder efficiënt verwijderd.

Maatregel:

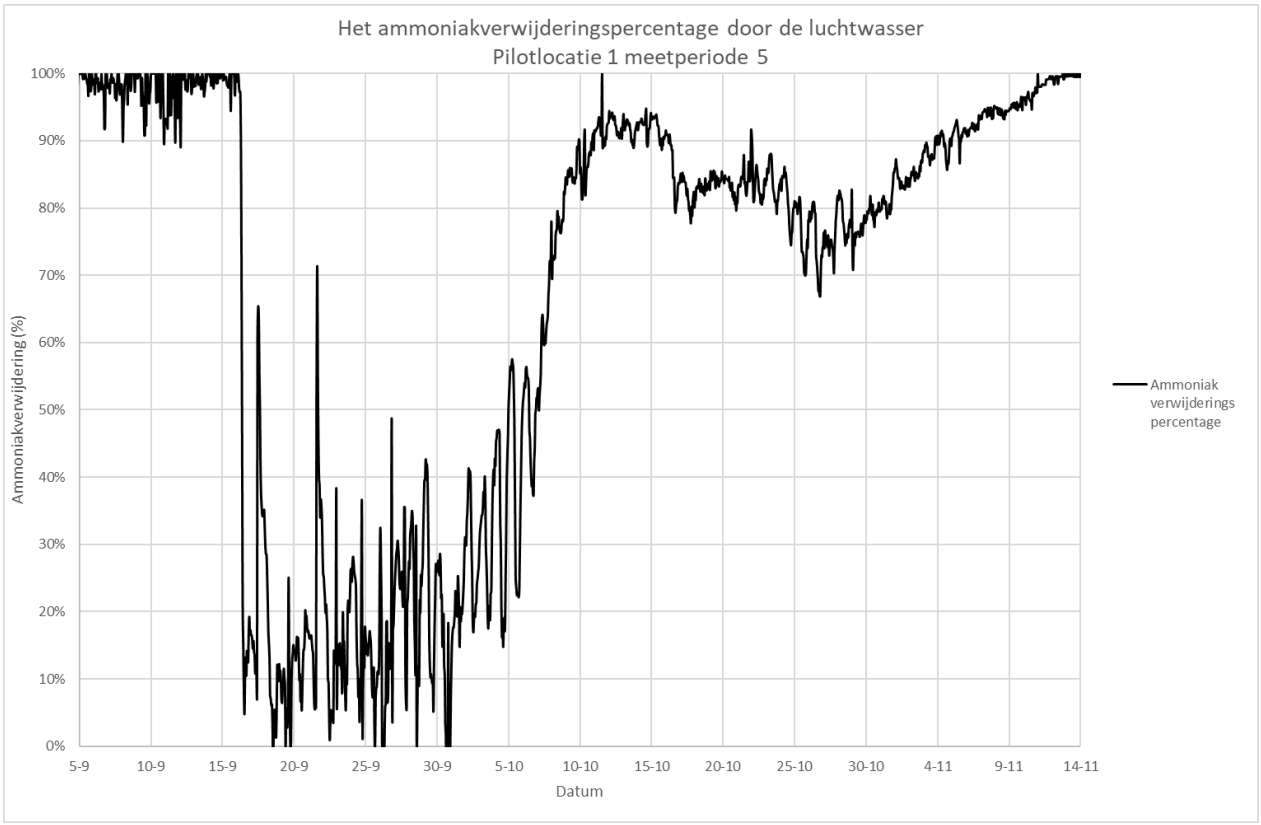
- Aangepaste, semi-adaptieve regeling alsnog programmeren en implementeren. Bij snelle realisatie is het effect in periode 6 nog deels waar te nemen.
    - Adaptieve regelingen die reageren op veranderingen over tijd, zoals de daling in ammoniakvracht, hebben de potentie om verzuring beter te kunnen vermijden dan een statische set instellingen zoals nu gangbaar in biologisch combi-luchtwassers.



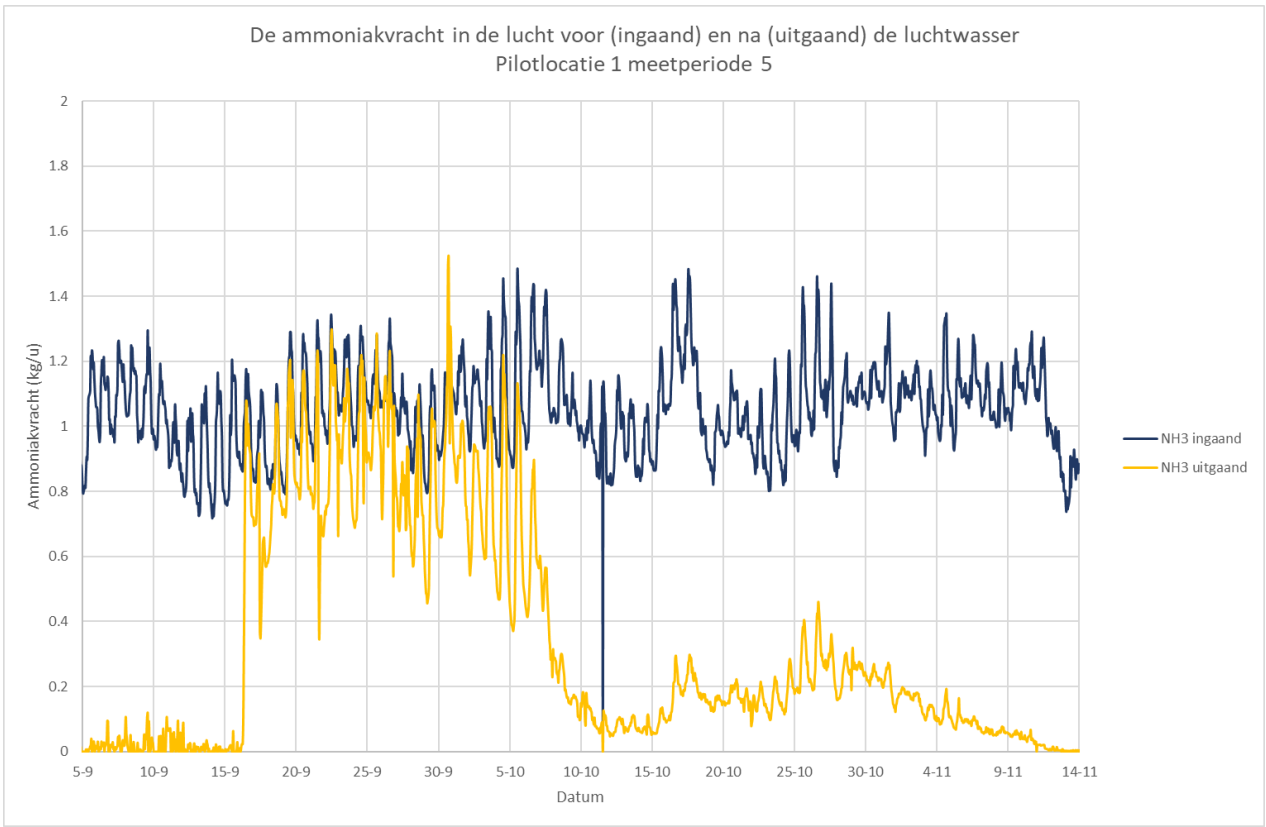

***Figuur 3.15*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 1. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.16*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 1.*




***Figuur 3.17*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 1.*




***Figuur 3.18*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 1. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

***Tabel 10*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 1. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 284 | | | 002 | | | 111 | | | 228 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 623.3 | 27.7 | 4.5 | 751.5 | 31.7 | 4.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 25.9 | 17.9 | 69.2 | 97.5 | 18.5 | 18.9 | 5.7 | 1.6 | 27.2 | 4.4 | 1.3 | 29.3 | 92% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 6.2 | 4.5 | 73.4 | 16.6 | 3.5 | 21.4 | 0.3 | 0.1 | 19.0 | 0.3 | 0.2 | 58.0 | 97% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 2.8 | 1.5 | 53.6 | 6.6 | 1.1 | 17.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 115.0 | 35.1 | 30.6 | 215.0 | 23.6 | 11.0 | 4.4 | 0.3 | 7.5 | 7.2 | 5.2 | 72.6 | 96% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 6.9 | 2.1 | 29.7 | 11.3 | 1.4 | 12.5 | 0.5 | 0.2 | 44.6 | 1.1 | 1.2 | 104.8 | 91% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 20.5 | 0.0 | 0.0 | 15.1 | 75% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 171.4 | 5.1 | 3.0 | 188.9 | 12.8 | 6.8 | 0.8 | 0.5 | 59.5 | 5.5 | 0.8 | 14.4 | 98% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.5 | 0.0 | 4.5 | 0.6 | 0.0 | 7.4 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 19.4 | 1.7 | 8.7 | 25.1 | 5.2 | 20.7 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 2970.7 | 42.2 | 1.4 | 3133.6 | 20.6 | 0.7 | 1935.0 | 20.6 | 1.1 | 1787.8 | 0.0 | 0.9 | 39% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 225.2 | 66.7 | 29.6 | 187.0 | 14.0 | 7.5 | 200.3 | 28.2 | 14.1 | 158.1 | 0.0 | 0.0 | 13% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.4 | 0.9 | 63.9 | 1.0 | 0.4 | 45.5 | 1.2 | 0.7 | 60.4 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 16% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 8.5 | | | 8.5 | | | 1.3 | | | 1.3 | | | 85% |
| | SumOAV | 4177 | | 28.79 | 4643 | | 13.56 | 2150 | | 28.20 | 1967 | | 32.79 | 53% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 8641 | | | 5163 | | | 2577 | | | 1928 | | | 67% |

### 3.1.6 Meetperiode 6

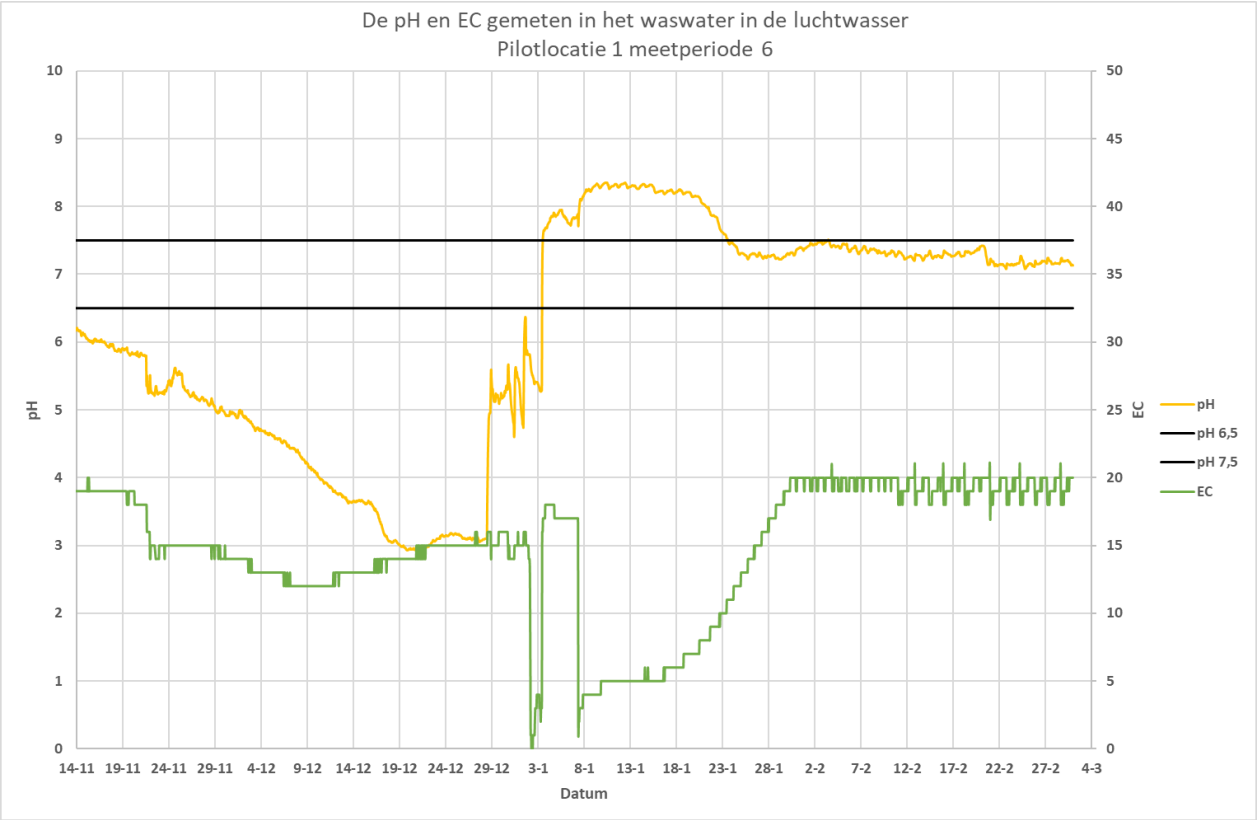
Meetperiode 6 besloeg de periode van half november 2024 tot en met februari 2025. Begin meetperiode 5 is de waswaterbak geleegd; echter bleef een deel van de bezinklaag in de waswaterput achter doordat de waswaterbak slechts voor de helft is geleegd. Gedurende meetperiode 5 en 6 ondervond de veehouder veel verstoppingen van de sproeiers. Begin januari is nogmaals de gehele waswaterput geleegd om de bezinklaag te verwijderen en zo verstopping van de sproeiers te voorkomen. Op 19 februari zijn de ammoniaksensoren verwijderd voor controle en onderhoud.

Tijdens meetperiode 6 heeft de verzuring die is geobserveerd in de laatste 2 weken van meetperiode 5 doorgezet (Figuur 3.19). Door het dalen van de EC-waarde vanaf eind november is geen spuiwater afgevoerd en is de verzuring niet gecorrigeerd, totdat de gehele waswaterbak in begin januari nogmaals is geleegd. Ondanks de goede ammoniakverwijdering gedurende de periode november en december, kan op basis van de daling in EC-waarde worden aangenomen dat de meeste afgevangen ammoniak als een ander stikstofgas is vervluchtigd (Figuur 3.21). Na het opnieuw vullen van de waswaterput begin januari is de pH van het waswater boven de 7,5. Dit correleert met een lage ammoniakverwijdering. Vanaf 23 januari daalt de pH onder de 7,5 en neemt de ammoniakverwijdering toe tot rond de 85%. Vanaf half februari is te zien aan het verloop van de EC dat de regeling de spui-afvoer aanpast aan de actuele pH. Als de pH lager dan pH 7,3 wordt, is de spui-afvoer verhoogt. Rond 20 februari is een bijsturing door de regeling te zien na een wat grotere daling in pH.

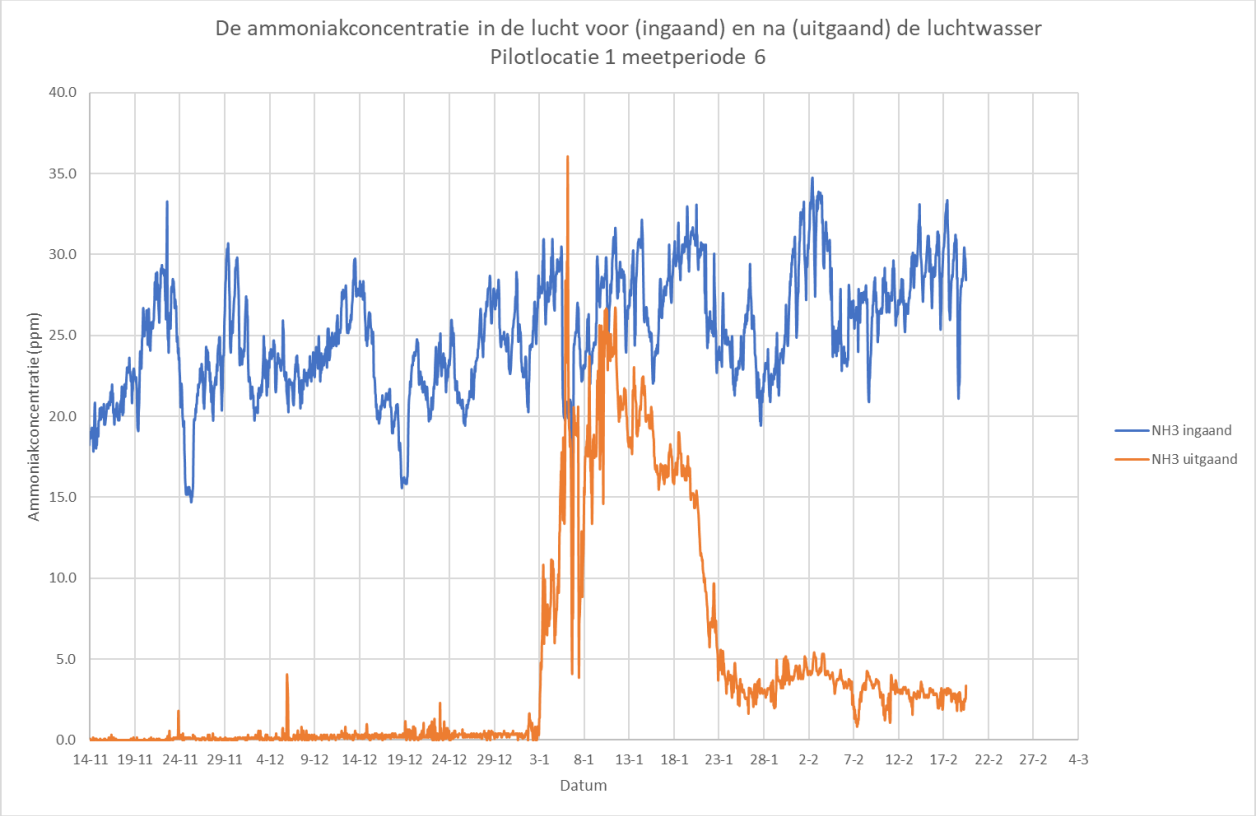
Begin januari is de semi-adaptieve regeling geprogrammeerd en geïnstalleerd in de wasser. Vanaf begin februari zijn de waarden van EC en pH zodanig dat de regeling de hoeveelheid spuiwaterafvoer aanpast aan actuele pH-waarde.

Observaties:

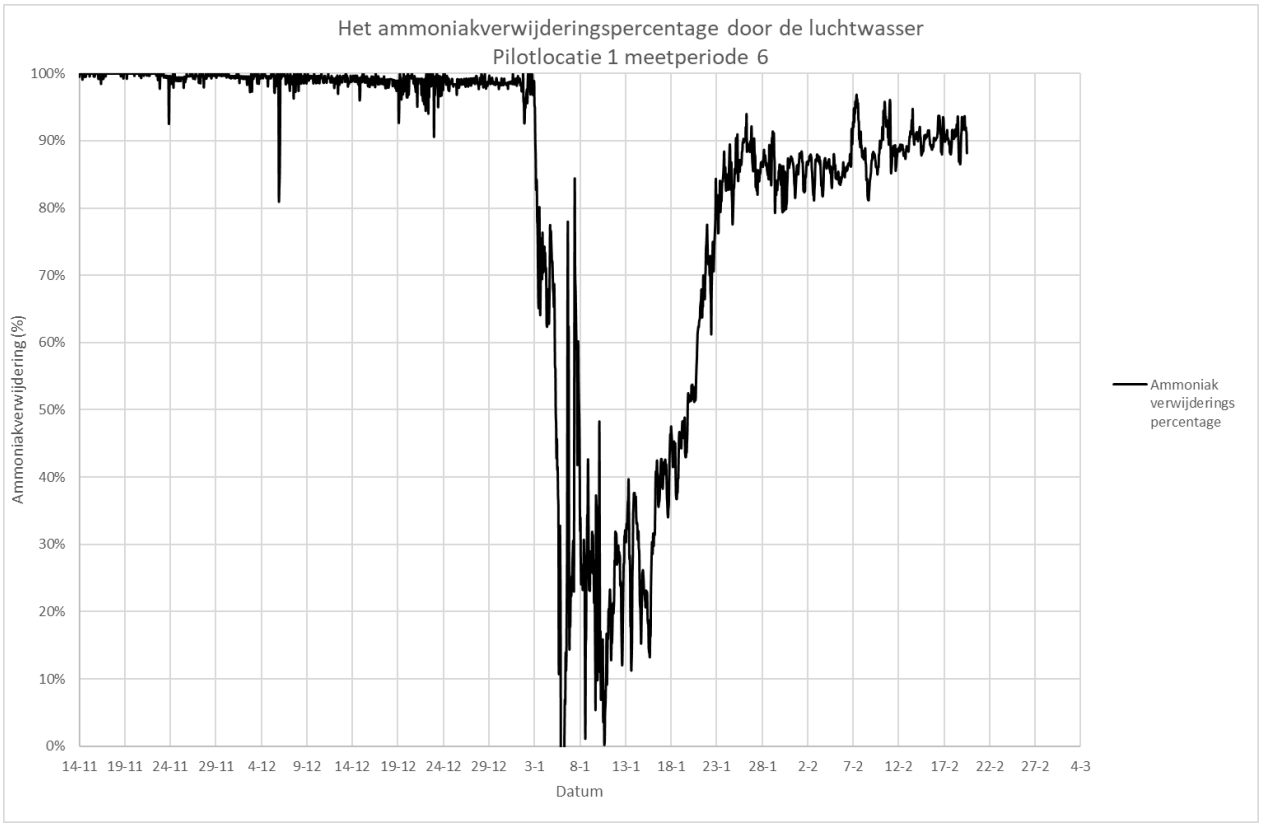
- Voor een stabiele verwijdering van ammoniak door de luchtwasser, zonder ongewenste neveneffecten, moet de pH binnen de bandbreedte pH 6,5 – 7,5 blijven. Boven de 7,5 is de ammoniakverwijdering laag. Onder de 6,5 wordt de ammoniak niet omgezet naar nitriet en nitraat maar in andere stikstofgassen (Maasdam et al., 2021, en par. 3.1.1, par. 3.2.5). Hierdoor neemt de EC niet toe en wordt er niet gespuid. Bijgevolg wordt ook geen schoon water toegevoegd om de pH te compenseren.
- Door de te hoge pH (pH>7,5) tijdens de eerste drie weken van januari is de opnamen van ammoniak laag, en bijgevolg ook de nitrificatie. Er wordt weinig zuur gevormd, dat de pH omlaag zou brengen. Een zuurdosering zou de pH snel binnen de bandbreedte (pH 7,5-6,5) kunnen brengen.
- De semi-adaptieve regeling past de spui-afvoer aan de actuele pH aan. Sinds vanaf half februari is de luchtwasser in bedrijf binnen de pH-bandbreedte en met tenminste het vereiste verwijderingsrendement voor ammoniak (Figuur 3.21).



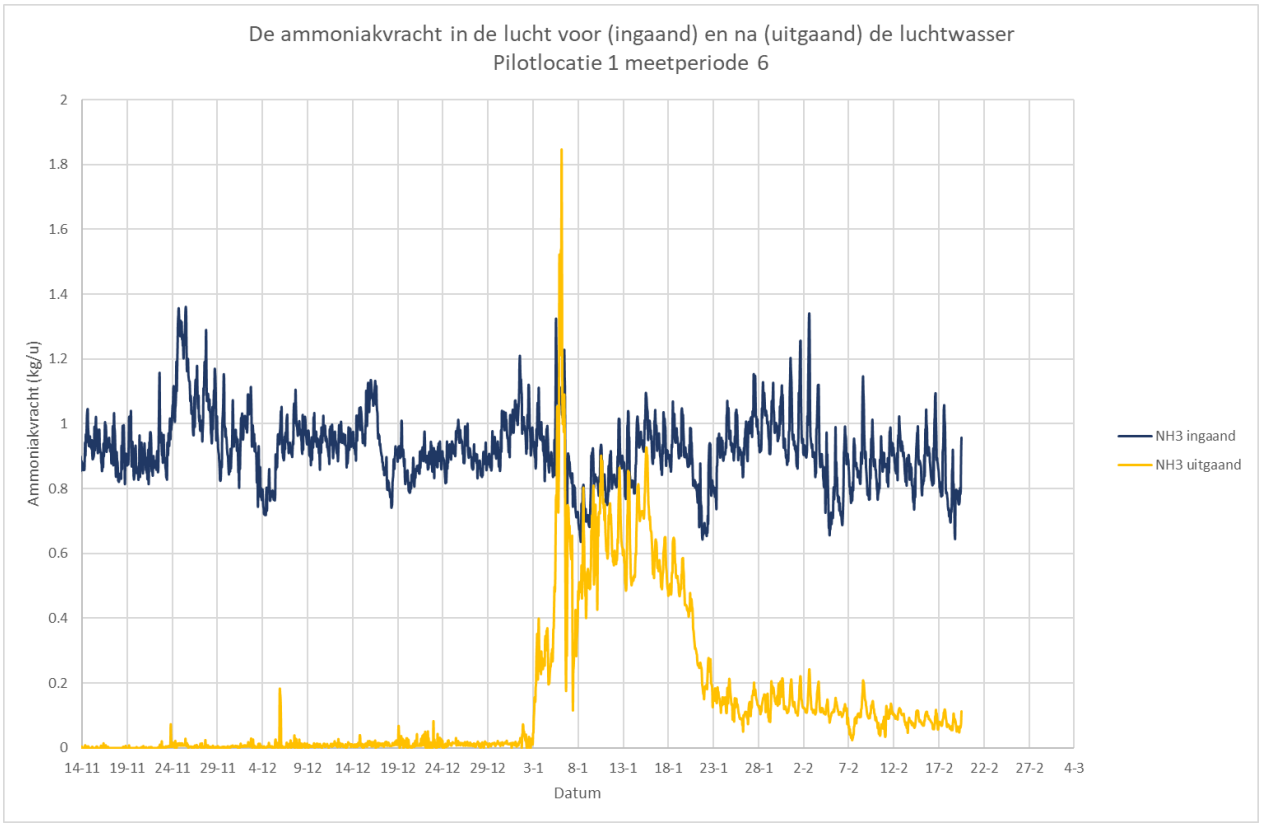

***Figuur 3.19*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 6 op locatie 1. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.20*** *Gemeten ammoniakconcentraties (NH3) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 6 op locatie 1.*




***Figuur 3.21*** *Het ammoniakverwijderingsrendement (NH3) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 6 op locatie 1.*




***Figuur 3.22*** *Berekende ammoniakvrachten (NH3) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 6 op locatie 1. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

### 3.1.7 Integrale observaties en analyse - Locatie 1

#### 3.1.7.1 Ammoniakverwijdering

Bij deze locatie is het lastig gebleken om te komen tot een goede, stabiele werking van de luchtwasser. De pH van het waswater daalde – ondanks maatregelen –onder de ondergrens (pH 6,5) van de toegestane bandbreedte in alle meetperiodes (Tabel 11). Het waswater in de biologische luchtwasser verzuurt meerdere keren als gevolg van:

a. nitrificatie door microbiologie (productie van zuur),
b. schommelingen in ammoniakaanbod in de ingaande luchtstroom (= veranderingen in de toevoer van zwak base).

In de meetresultaten van periode 1 is te zien dat verzuring meerdere keren plaatsvind na een herstart van de luchtwasser. Om te bepalen of dit het gevolg is van te hoge nitrificatie-activiteit is als maatregel voorgesteld om al het waswater te vervangen door schoon water. In meetperiode 2 is de pH van het waswater tijdens de hele periode te laag. In zowel meetperiode 1 als 2 is voert de luchtwasser geen spuiwater af. Als gevolg van het zure waswater is waarschijnlijk alle afgevangen ammoniak omgezet in andere stikstofgassen, die uit het waswater vervluchtigen. Als gevolg neemt de EC-waarde niet toe, bereikt niet de ingestelde maximale waarde en gaat de luchtwasser geen spuiwater afvoeren. De te lage pH zorgt zo voor een lock-in; het beoogde mechanisme om de pH te reguleren (afvoer spuiwater, aanvoer schoon water) wordt niet geactiveerd bij een aansturing op basis van alleen de EC. Na verversing van het waswater, eind meetperiode 2, is de pH van het waswater in meetperiode 3 tijdelijk hoger dan 7,5. Zolang de pH hoger dan 7,5 is, is de ammoniakverwijdering slecht. Na een daling in pH onder de 7,5 neemt de ammoniakverwijdering toe tot boven de 85%. De pH blijft echter dalen; vlak voor het einde van meetperiode 3 is de pH van het waswater weer onder de ondergrens van de toegestane bandbreedte (pH < 6,5).
In meetperiode 4 is geprobeerd om de pH, vanuit de verzuurde situatie, weer terug te brengen binnen de juiste bandbreedte door handmatig extra afvoeren van spuiwater, zonder de luchtwasser uit te zetten. Daarvoor is dagelijks handmatig de maximale EC-waarde aangepast naar de actuele EC-waarde van het waswater. Als gevolg van de lager ingestelde EC-grenswaarde initieert de luchtwasser extra spui-momenten. De luchtwasser gaat daarna met schoon water (met neutrale pH) de waswaterput bijvullen, waardoor de pH stijgt. Deze aanpak lijkt effect te hebben maar vereist wel een lange periode van herstel; in deze pilot was de pH na meerdere weken wel gestegen, maar nog steeds te laag. De maatregel om de pH te verhogen door het sneller verversen van het waswater zonder het systeem uit te zetten, lijkt te werken. Wel is nog optimalisatie van deze maatregel nodig om snel genoeg het gewenste resultaat te bereiken. Dit is het beste te realiseren door aanpassing van de software/besturing van de luchtwasser. Deze kan extra spui-momenten initiëren als de pH van het waswater tot onder de ondergrens van de pH bandbreedte daalt. Dit is robuuster dan dagelijks handmatig instellingen wijzigen.

Om verzuring te vermijden is ook de instelling voor de hoeveelheid spuiwater per spui-moment verhoogd in meetperiode 4. Deze maatregel bleek in periode 5 voldoende om de pH tijdelijk binnen de bandbreedte te houden, bij een relatief stabiel ammoniakaanbod. Deze aangepaste instelling bleek echter niet voldoende om bij een fluctuatie in ammoniakaanbod (vermindering van 30%) de pH binnen de bandbreedte te houden. Dit is een indicatie dat bij veranderingen in ammoniakaanbod mogelijk andere instellingen nodig zijn voor de hoeveelheid spuiwater per spui-moment, eventueel in combinatie met een gewijzigde EC grenswaarde. Met meerdere sets instellingen is de toevoer van schoon water te reguleren, en daarmee de pH. Het veranderen van instellingen vereist kennis van de werking en besturing van de luchtwasser en van de invloeden die veranderingen in ammoniakvracht teweeg brengen.
Binnen dit project is niet verder onderzocht hoe biologische combi-luchtwassers schommelingen in ammoniakvracht beter kunnen opvangen met vooraf gedefinieerde andere combinaties van parameters dan nu opgenomen in de besturing. Regulering van de pH lijkt mogelijk door het gebruik van variërende sets van instellingen. Daarbij past de eigenaar/beheerder in de besturing de instellingen aan naar de huidige omstandigheden (aanbod ammoniakvracht) of kiest uit enkele voorgeprogrammeerde sets instellingen. Dit is een uitbreiding in de besturing vergeleken met de huidige situatie waarin luchtwassers jaarrond dezelfde instellingen hebben voor spuihoeveelheid en -frequentie en de ingestelde EC-waarde die spuien initieert.

Gewenste en mogelijke vervolgstap: het aanpassen van instellingen automatiseren. De software van de luchtwasser past zelf de instellingen voor spuien aan op basis van gemeten waarden (pH, EC, evt. in- en uitgaande ammoniakconcentraties en -vracht).
Een eerste versie van dergelijke software is begin januari 2025 bij locatie 1 geïnstalleerd (midden meetperiode 6). Na het instellen van deze software blijft de pH binnen de bandbreedte gedurende de rest van meetperiode 6. Deze maatregel(en) heeft nog verdere praktijktesten nodig om de juiste respons op gemeten waarden te bepalen. Naar verwachting is het mogelijk om op deze manier een stabielere werking van de luchtwasser teweeg te brengen waarbij de productie en afvoer van zuur in balans zijn en daardoor de vorming van andere stikstofgassen die vormen bij lage pH in het waswater kan worden voorkomen.

Regulering van de pH kan ook direct met een zuur- en loogdosering. Het is een vorm van chemische sturing van biologische processen en is in feite symptoombestrijding. Zo'n doseerinstallatie borgt dat pH altijd binnen de juiste bandbreedtes blijft. Dit zal in de praktijk altijd werken, maar lost de achterliggende oorzaak van de onbalans in productie en afvoer van zuur niet op. Het kan leiden tot het gebruik van grote hoeveelheden zuur en/of loog, wat ongewenst is en waarschijnlijk ook niet nodig bij een adaptieve aansturing, die bij onbalans in productie en afvoer van zuur voorkomt.

***Tabel 11*** *Overzicht van gemeten waardes per meetperiode bij locatie 1. Hierin is weergeven: het aantal dagen in de meetperiode, het gemiddelde gemeten ammoniakrendement over deze meetperiode verkregen met continue metingen, de standaard afwijking van het rendement over de periode, percentage van de tijd waarin de pH binnen de voorgeschreven bandbreedte was, percentage van de tijd dat de pH onder de 6,5 was, percentage van de tijd waarin de pH boven de 7,5 was, de vastgelegde hoeveelheid spuiwater in de meetperiode en de berekende spuiwaterproductie per dierplaats per jaar gebaseerd op de spuihoeveelheid in die meetperiode.*

| | **Periode 1** | **Periode 2** | **Periode 3** | **Periode 4** | **periode 5** | **Periode 6** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Periodeduur (dagen)** | 90 | 119 | 81 | 99 | 71 | 85 |
| Gemiddeld ammoniakrendement | 88% | 95% | 57% | 90% | 70% | 83% |
| St Dev ammoniakrendement | 28% | 21% | 32% | 25% | 32% | 27% |
| Percentage tijd pH in bandbreedte (≥ 6,5 - ≤ 7,5) | 20% | 0% | 43% | 2% | 28% | 18% |
| Percentage tijd pH < 6,5 | 78% | 97% | 20% | 85% | 22% | 58% |
| Percentage tijd pH > 7,5 | 1% | 3% | 38% | 12% | 50% | 24% |
| Absolute spuiwaterproductie ($m^3$) | 0 | 0 | 77.17 | 38.41 | 182.55 | 84.56 |
| Berekende spuiwaterproductie ($m^3$/dpl/jaar) | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.05 | 0.35 | 0.14 |

### 3.1.7.2 Geurresultaten

De geurmetingen zijn momentopnames en geen continue metingen. Het beoordelen van geurrendementen per meetperiode (= 1 meting) levert beperkt inzichten op. Daarom zijn de geurresultaten ook over het gehele project samen beoordeeld.

In Tabel 12 zijn de resultaten weergeven van zowel de conventionele methode (panel) als de chemisch-analytische methode. De absolute waarden voor de geurconcentratie (geuractiviteit) van de conventionele methode (uitgedrukt in $OU_E/m^3$) en de chemisch analytische methode (uitgedrukt in SumOAV) zijn niet op dezelfde schaal en dienen niet rechtstreeks met elkaar vergeleken te worden. Relatieve vergelijkingen, bijvoorbeeld de beoordeling van het verwijderingsrendementen van de luchtwasser zijn wel mogelijk.

Uit de chemisch analytische methode blijkt dat gedurende het jaar, $H_2S$ en methylmercaptaan de belangrijkste geurcomponenten te zijn. In sommige perioden verandert te samenstelling van de geur richting hogere concentraties van vetzuren en fenolen/indolen ten opzichte van de zwavelcomponenten, wat kan duiden op verhoogde fermentatieprocessen in de mest.
De geurverwijderingsrendementen van de luchtwasser laten op de 5 meetmomenten over het jaar heen verdeeld een wisselend beeld zien. De verschillen zijn bij de conventionele methode groter, onder meer soms

veroorzaakt door een grote spreiding tussen de duplometingen. Het voorgeschreven verwijderingsrendement voor geur van 45% wordt volgens de conventionele meetmethode op drie van de vijf meetmomenten gehaald. Volgens de chemisch analytische methode waren de rendementen op alle momenten rond of boven de 45%.
Vergelijking van de data uit het elektronisch logboek en de ventilatievracht door de luchtwasser geven geen duidelijke verklaring voor de grote verschillen in de efficiëntie van geurverwijdering.

***Tabel 12*** *Geurresultaten conventioneel (panel) + chemisch-analytisch, uitgevoerd op een monster verkregen uit de ingaande en uitgaande luchtstroom uit de luchtwasser op locatie 1. Ventilatievracht van de ingaande lucht en de pH van het waswater in de luchtwasser op het moment van monstername zijn ook weergeven.*

| **Datum** | **11 okt 2023 (periode 1)** | **26 feb 2024 (periode 2)** | **6 mei 2024 (periode 3)** | **12 aug 2024 (periode 4)** | **22 okt 2024 (periode 5)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Ventilatievracht ($m^3$/u) | Niet bekend | Niet bekend | 103000 | 182500 | 88000 |
| pH | 6,2 | 4,9 | 7,3 | 4,4 | 7,5 |
| | | | | | |
| **Conventionele methode** | | | | | |
| Ingaand conc geur ($OU_E/m^3$) | 3329 | 4759 | 2871 | 1332 | 6902 |
| Uitgaand conc geur ($OU_E/m^3$) | 3015 | 573 | 2949 | 507 | 2253 |
| Verwijderings-rendement geur (%) | 9% | 88% | -3% | 62% | 67% |
| | | | | | |
| **Chemisch analytische methode** | | | | | |
| Ingaand conc geur (SumOAV) | n.b. | 1589 | 2061 | 2949 | 4410 |
| Uitgaand conc geur (SumOAV) | n.b. | 438 | 1010 | 898 | 2059 |
| Verwijderings-rendement geur (%) | n.v.t. | 72% | 51% | 39% | 53% |

#### 3.1.7.3 Deelconclusies

De metingen leveren de volgende conclusies op:

- Verzuring van waswater in deze biologische combi-luchtwasser ontstaat als:
    a. de nitrificatiesnelheid te hoog is (mogelijk als gevolg van teveel biomassa);
    b. het ammoniakaanbod in de ingaande lucht (flink) afneemt;
    c. de hoeveelheid afgevoerde spuiwater niet in balans is met de productie van zuur (instellingen).
- Als de pH van het waswater te laag is - lager dan 6,5 - wordt ammoniak niet langer in nitraat omgezet maar in andere stikstofgassen zoals $N_2O$, $NO_x$ en $N_2$. De gassen $N_2O$ en $NO_x$ zijn schadelijk in het milieu.
- Met handmatige aanpassingen van instellingen voor spuiwater hoeveelheid of EC grenswaarde is het mogelijk om de pH te corrigeren na verzuring van het waswater. Verder kan door het aanpassingen van instellingen de stabiliteit (voorkomen van verzuring) van pH worden verbeterd. Het vereist echter kennis van de biologische werking van de luchtwasser om dit goed te doen. Binnen deze locatie is het nog onvoldoende gelukt om zodanig te anticiperen op de veranderende ammoniakaanbod dat de pH binnen de bandbreedte bleef gedurende een lange periode. Meer praktijkervaring is nodig om hier algemene suggesties of instellingen voor te vinden.
- Het aanpassen van instellingen is te automatiseren; met aangepaste software van de luchtwasser kan deze de instellingen aanpassen op basis van gemeten parameters als pH, spui-frequentie, etc. Voor een goede vormgeving van zulke adaptieve software is verder onderzoek/testen nodig.
  De eerste resultaten van een semi-automatische regeling laten een goed resultaat zien.

- Voor geurverwijdering is het beeld erg variërend. De luchtwasser kan drie veelvoorkomende zwavelhoudende componenten niet of slecht verwijderen: methylmercaptaan, dimethylsulfide en waterstofsulfide ($H_2S$). Eerste inschatting volgens de chemisch analytische methode is dat deze stoffen tot wel 90% van alle geur veroorzaken in de lucht die nog uit de luchtwasser komt. Voor een lage geur-emissie uit de stal zijn maatregelen nodig om de vorming van deze componenten te voorkomen bijvoorbeeld door aanpassingen aan de voersamenstelling of stalmanagement. Andere groepen van geurstoffen (vetzuren, fenolen en indolen) lijken over het algemeen goed verwijderd te worden.

## 3.2 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 2

### 3.2.1 Meetperiode 1

Meetperiode 1 (nulmeting) besloeg de periode van augustus 2023 tot en met begin november 2023. In deze periode zijn de ammoniaksensoren in de drukkamer voor de luchtwasser en in de uittredende luchtstroom van de luchtwasser geplaatst. Bij plaatsing bleken enkele sproeiers niet werkend; deze zijn gedurende meetperiode 1 ook vervangen. De ammoniaksensoren zijn aangesloten op het besturings- en dataloggingssysteem van de luchtwasser. Zoals vermeld in 2.4.2 is er een software fout geconstateerd bij de sensoren bij lage concentraties (< 1 ppm). Onrealistische waardes in deze meetperiode voor de uitgaande ammoniakconcentratie (1,5 keer de ingaande concentratie) zijn verwijderd en handmatig als 0 ppm ingevoerd.

Tijdens meetperiode 1 zijn grote schommelingen in pH en EC geconstateerd (Figuur 3.23). Na overleg met de veehouder bleek dit een probleem met de pH- en EC-sensoren te zijn. Aan het einde van meetperiode 1, na onderhoud door de luchtwasserleverancier, is dit probleem (gedeeltelijk) verholpen. Van halverwege oktober tot begin november in meetperiode 1 is de pH van het waswater boven de 7,5. De ammoniakopname door de luchtwasser is laag bij deze hoge pH (Figuur 3.24).

Observaties:
- De data in het elektronisch logboek is niet betrouwbaar (sensoren voor pH en EC incorrect)
- Een te hoge pH (> 7,5) resulteert in lage ammoniakverwijdering; minder dan 10% verwijdering.

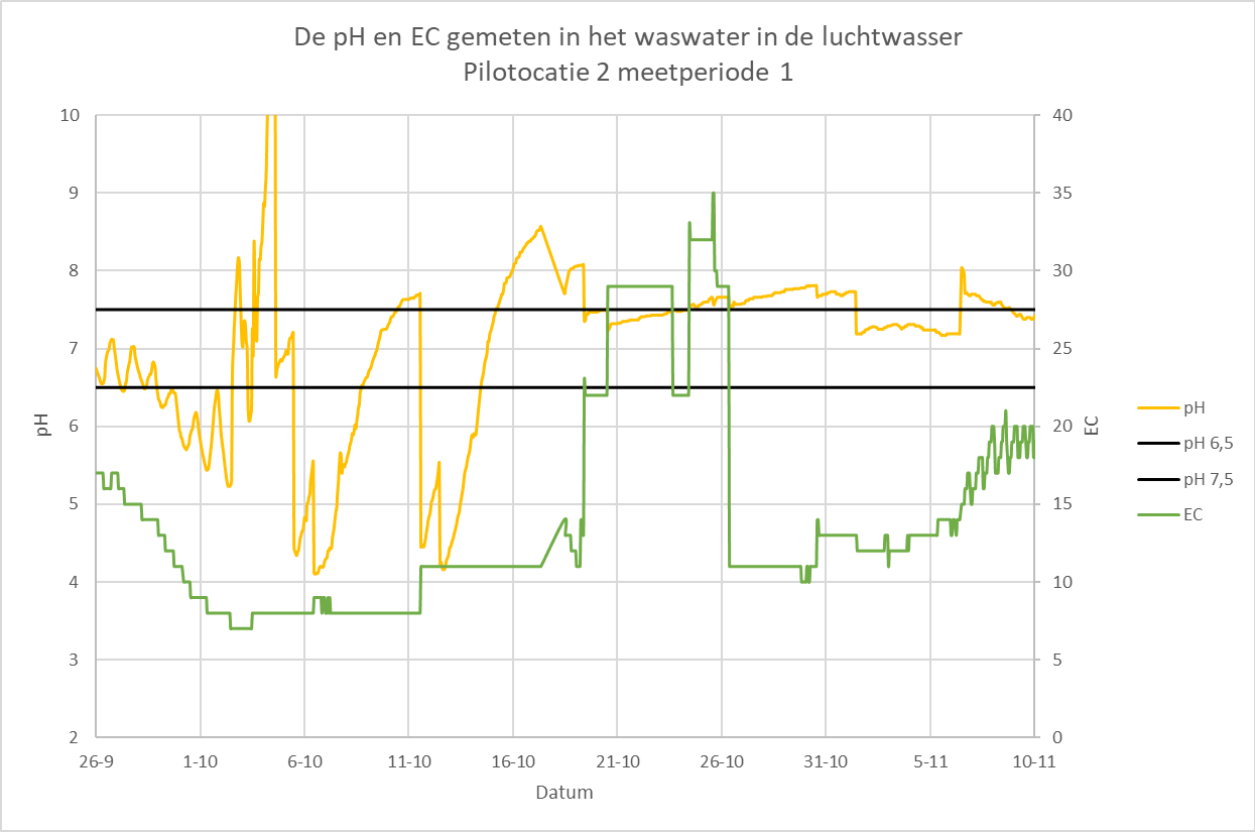
Maatregelen voorstel:
- Controle en onderhoud van wasser en sensoren door luchtwasserleverancier

In deze meetperiode zijn de geurmonsters alleen met de conventionele methode geanalyseerd, niet met de chemisch-analytische methode.

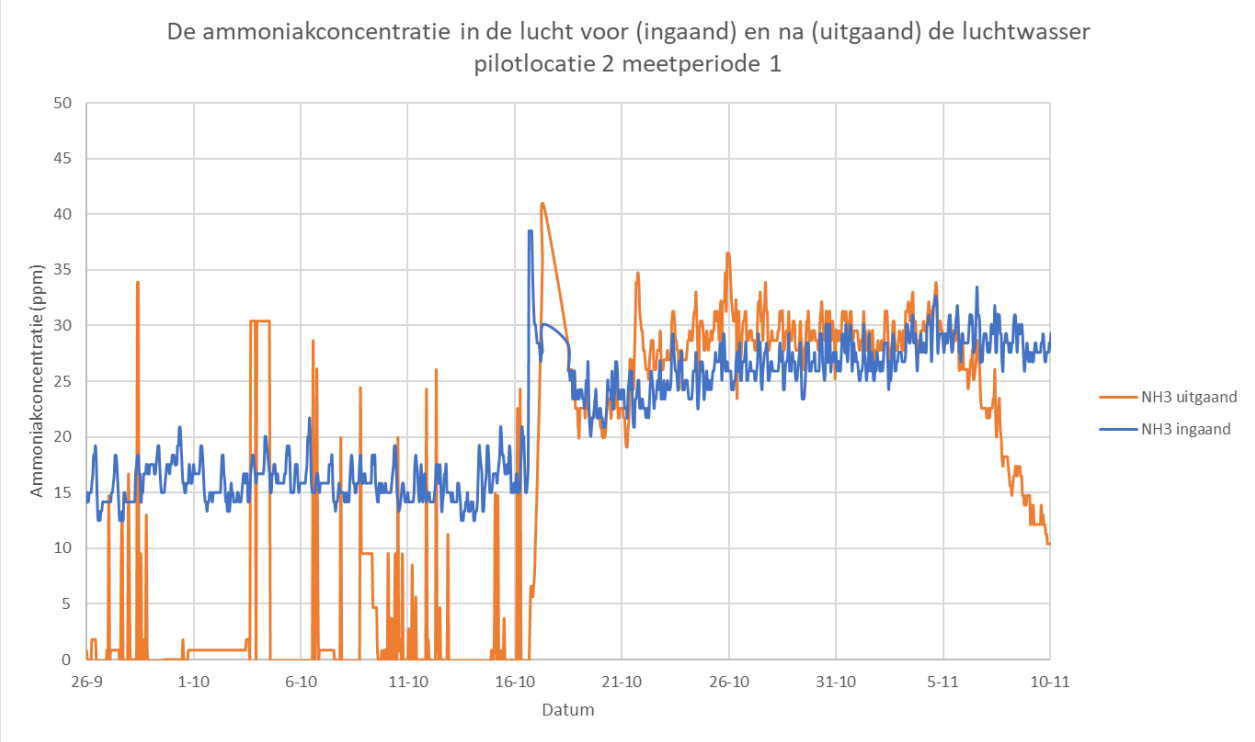
***Tabel 13*** *Resultaten van de conventionele analyse van geurmonsters; locatie 2, periode 1.*

| Aspect | Monster 1 | Monster 2 | Gemiddeld |
|---|---|---|---|
| Ingaande lucht naar luchtwasser | 1553 | 2930 | 2242 |
| Uitgaande lucht uit luchtwasser | 869 * | 908 | 889 |
| Gemiddeld verwijderings-rendement geur | | | 60% |

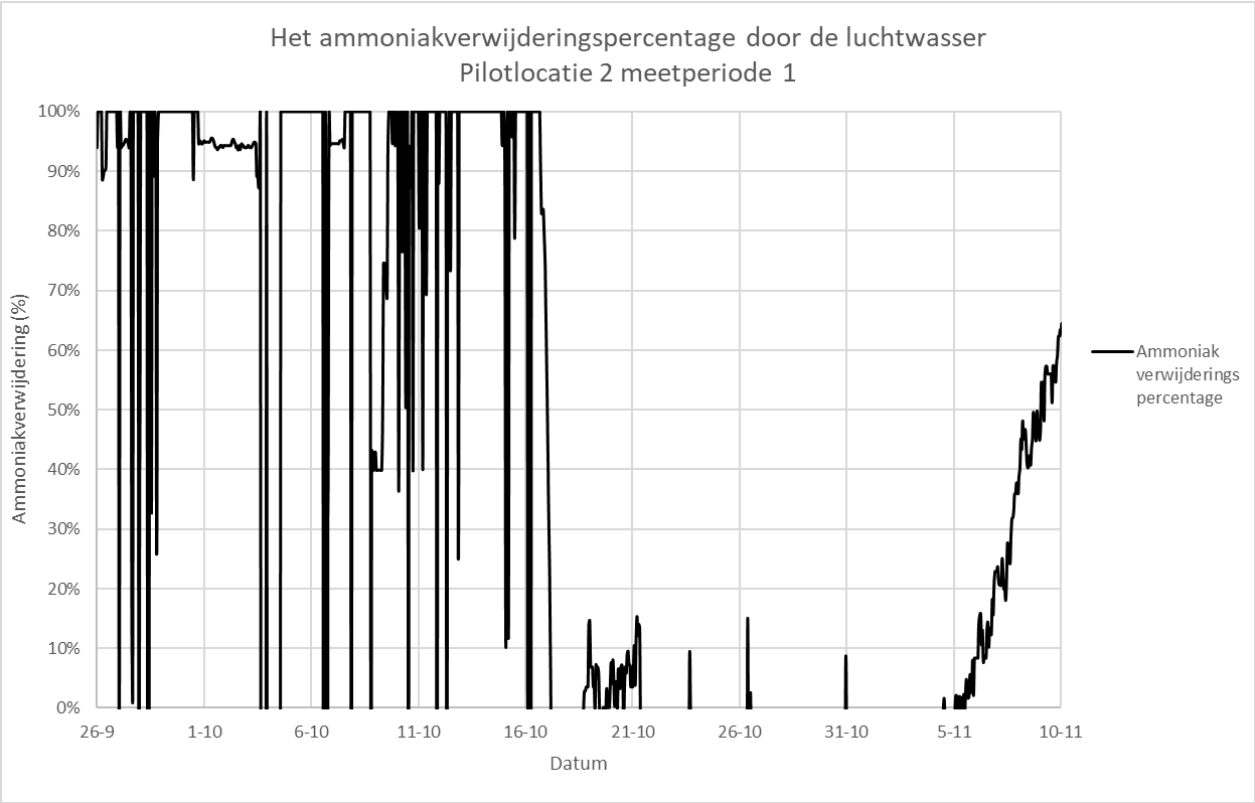
* Bij het bepalen van de geurconcentratie van dit monster kon de voorgeschreven werkwijze volgens protocol niet geheel worden gevolgd. De waarde is daarom alleen indicatief te gebruiken.




***Figuur 3.23*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 2. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.24*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 2.*



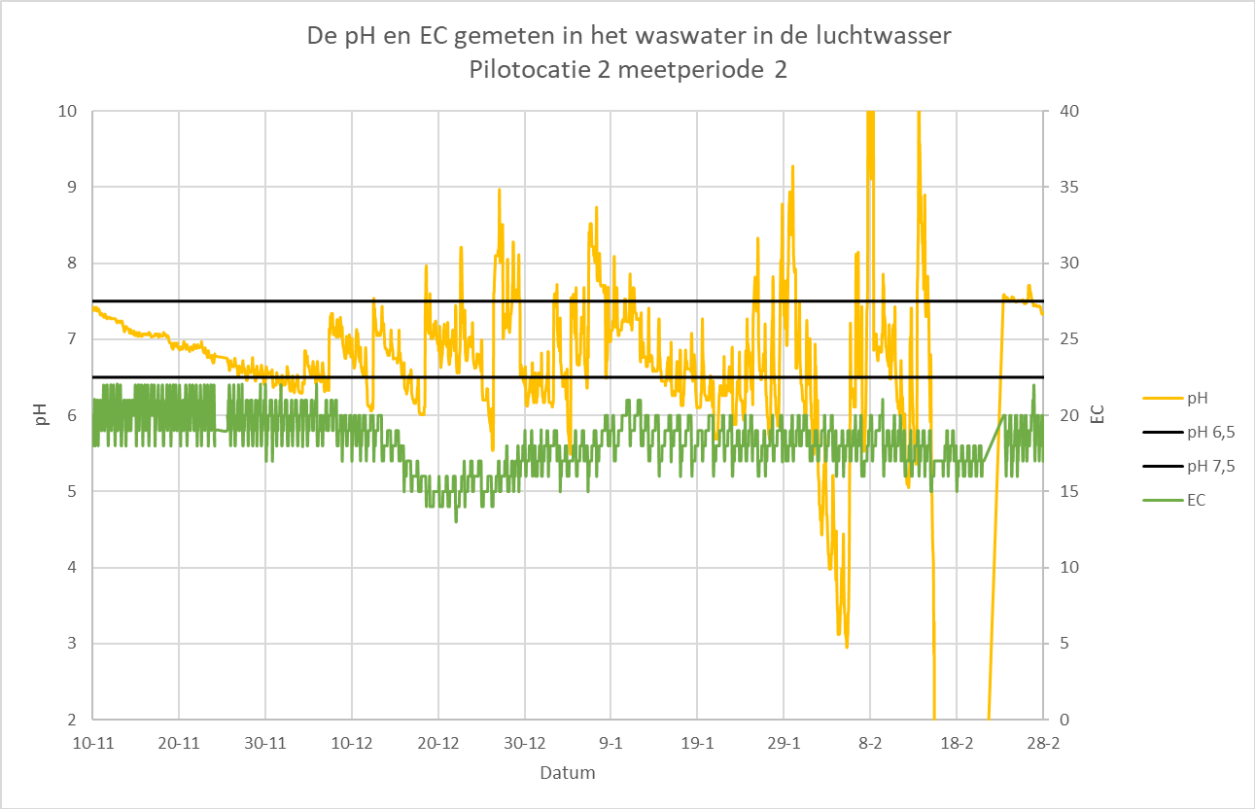

***Figuur 3.25*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 2.*

### 3.2.2 Meetperiode 2

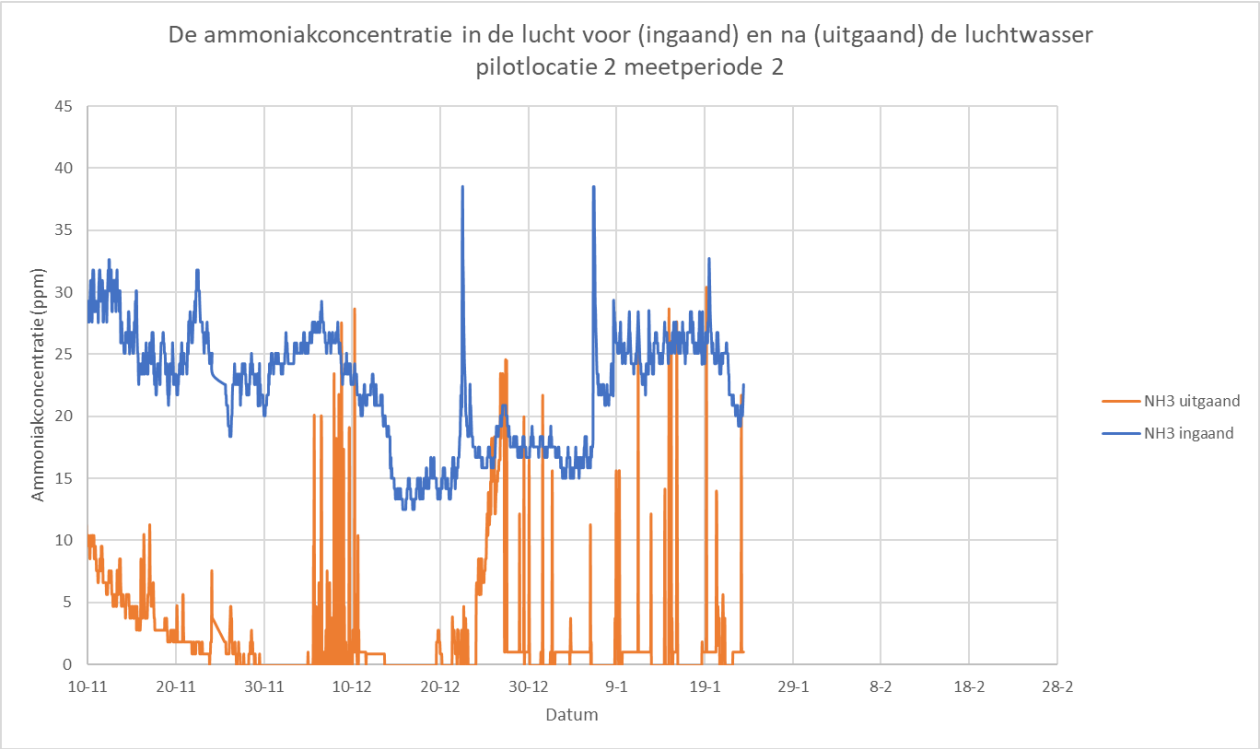
Meetperiode 2 besloeg de periode van halverwege november 2023 tot en met februari 2024. In meetperiode 2 is de pH-sensor nog steeds niet volledig correct in werking en geeft nog onjuiste waardes aan. Hierdoor is in de grafiek een grote schommeling te zien in de pH waardes (Figuur 3.26). De EC-waarde is wel correct, hierin is een schommeling tussen de 15 en 20 mS/cm waarneembaar. Dit zogeheten 'zaagtand' patroon is het gevolg van het spuien en vervolgens aanvullen met schoon water in de waswateropslag. Spuiwater met een hoge EC-waarde wordt afgevoerd en schoon water met een lage EC-waarde wordt bijgemengd, waardoor de totale EC-waarde van het waswater afneemt. Tijdens periode 2 is spui-afvoer geregistreerd in het logboek van de luchtwasser (data niet weergegeven). Tot 5 december is de spui-afvoer per week groter dan na 5 december. Dit komt door een wisseling van de dieren in de stal. Tot 5 december zijn er (grote) varkens in de stal en op 5 december komen de (kleine) biggen in de stal. De kleinere dieren produceren minder ammoniak, waardoor de ammoniakopname en -omzetting naar nitraat in de luchtwasser ook afneemt en dus is minder afvoer van spuiwater nodig. De ammoniaksensoren zelf werken nog niet helemaal correct. Dat geeft soms onrealistische waarden in de data; de sensoren zijn gedurende deze meetperiode vervangen. Hierdoor is er vanaf halverwege januari tijdelijk geen meetdata voor de ammoniakconcentraties.
Voor de geurmetingen zijn de luchtmonsters tegen het einde van de meetperiode op 28 februari geanalyseerd. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 14 weergegeven.

Observaties:
- De pH-sensor en ammoniaksensoren geven incorrecte data.
- Duidelijk patroonverandering in spuiwaterproductie bij verandering van ammoniakvracht ten gevolge van mutatie in gemiddeld diergewichten op 5 december.
- Mits de pH ook daadwerkelijk tussen de 6,5 en 7,5 is gedurende meetperiode 2 (niet te beoordelen door de incorrecte data van de pH sensor) lijkt de luchtwasser goed te werken tijdens meetperiode 2. Er is afvoer van spuiwater, te zien aan de hand van het "zaagtand patroon" van de EC-waarde tussen de 15 en 20 mS/cm.
- Op het moment van de geuranalyse was de pH net 'gestabiliseerd' rond de waarde 7,5 (mits de sensorwaardes betrouwbaar waren). De hoge geurconcentraties werden gedomineerd door de zwavelcomponenten die in hoge concentraties aanwezig waren. Het verwijderingsrendement was gemiddeld 78 % volgens de chemisch-analytische methode en 63% volgens de sensorische methode. Gegeven de hoge concentraties in de ingaande lucht waren de waardes in de uitgaande lucht nog steeds redelijk hoog (Tabel 14).

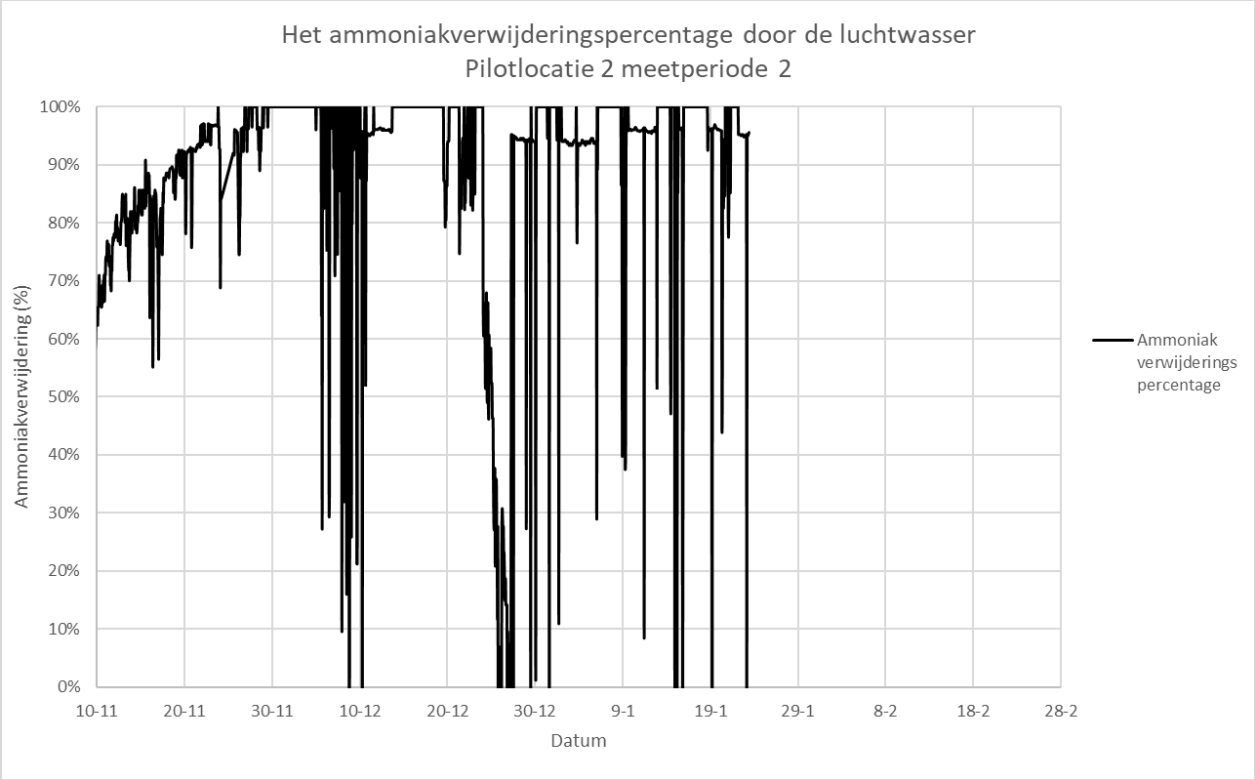
Maatregelen voorstel:
- Checken van pH-sensor door de luchtwasserleverancier.
- Vervangen van de ammoniaksensoren.




***Figuur 3.26*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 2. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.27*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 2.*




***Figuur 3.28*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 2.*

***Tabel 14*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 2. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 014 | | | 248 | | | 202 | | | 227 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 8.8 | 0.9 | 9.9 | 8.1 | 1.0 | 12.2 | 6.9 | 0.1 | 1.1 | 6.2 | 1.0 | 15.8 | 22.5% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 5.1 | 2.0 | 39.7 | 10.6 | 3.9 | 37.0 | 3.4 | 2.1 | 61.6 | 5.0 | 2.3 | 46.7 | 46.7% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.1 | 0.0 | 10.6 | 0.1 | 0.0 | 34.2 | 0.1 | 0.1 | 61.0 | 0.1 | 0.0 | 36.1 | *-10.0%* |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.8 | 0.1 | 7.3 | 1.3 | 0.9 | 74.6 | 0.8 | 0.3 | 38.8 | 0.8 | 0.1 | 13.6 | 23.8% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.2 | 0.0 | 6.4 | 0.3 | 0.2 | 66.7 | 0.2 | 0.0 | 7.3 | 0.2 | 0.0 | 4.2 | 31.5% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 61.8 | 0.0 | 0.0 | 47.2 | 0.0 | 0.0 | 58.4 | 0.0 | 0.0 | 81.0 | 0.0% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 13.3 | 9.8 | 73.5 | 15.1 | 0.0 | 0.0 | 14.0 | 11.1 | 78.8 | 12.8 | 12.4 | 97.6 | 5.7% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 1.4 | 0.2 | 13.0 | NK | NK | NK | 1.3 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 7773.5 | 119.0 | 1.5 | 7839.7 | 134.2 | 1.7 | 1695.5 | 45.9 | 2.7 | 1363.4 | 31.1 | 2.3 | 80.4% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 232.8 | 2.9 | 1.2 | 235.8 | 3.3 | 1.4 | 250.8 | 14.0 | 5.6 | 210.1 | 19.4 | 9.2 | 1.6% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.6 | 0.0 | 8.1 | 0.6 | 0.0 | 7.0 | 0.8 | 0.2 | 25.8 | 0.7 | 0.1 | 19.1 | *-23.1%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 8.2 | | | 8.2 | | | 3.6 | | | 3.6 | | | 56.1% |
| | SumOAV | 8045 | | 19.41 | 8120 | | 25.63 | 1977 | | 28.43 | 1603 | | 29.60 | 77.9% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 10637 | | | 10060 | | | 5157 | | | 2544 | | | 62.8% |

### 3.2.3 Meetperiode 3

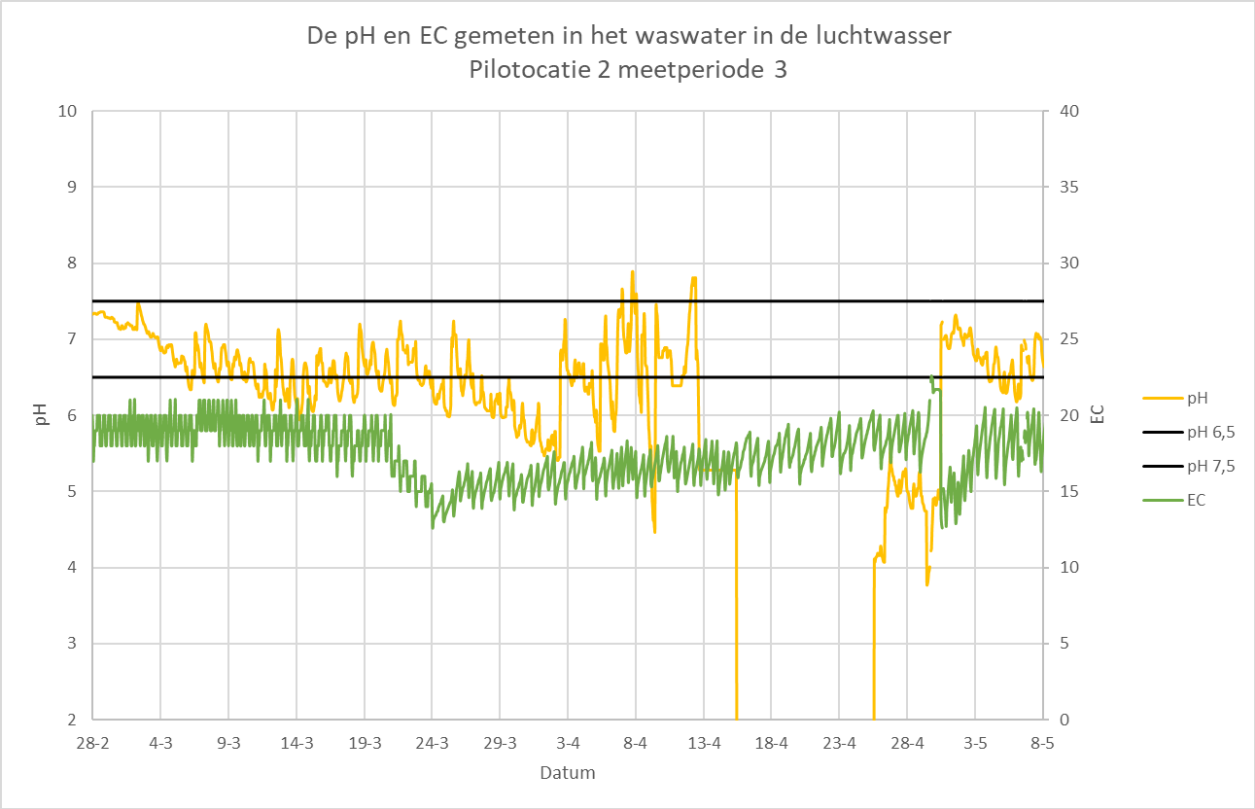
Meetperiode 3 besloeg de periode van maart 2024 tot en met mei 2024. Tijdens periode 3 daalt de pH de eerste weken langzaam tot lager dan pH 6,5. Vervolgens is in april de pH-sensor volledig vervangen en daarna is de pH tot boven de 6,5 gestegen als gevolg van het stil zetten van de luchtwasser tijdens de onderhoud.
Figuur 3.31 laat zien dat de verzuring in het begin van de periode geen effect heeft op de ammoniakverwijdering door de luchtwasser, echter in een zure omgeving (pH < 6,5) ontstaan door ongewenste microbiologische processen stikstofgassen die schadelijk zijn voor het milieu. Deze observatie is ook gedaan in het voorgaande onderzoek in 2020 (Maasdam, et al. (2021)). Tussen 24 maart en 28 april komt de EC-waarde niet bij de grenswaarde van 20 mS/cm waarbij normaalgesproken spuiwater afgevoerd wordt. Toch is een "zaagtand-patroon" zichtbaar dat spuiwaterafvoer, wat ook toevoer van schoon water suggereert. Dit is het gevolg van een instelling van deze specifieke luchtwasser. Omdat afvoer van spuiwater en toevoer van schoon water nodig zijn om verzuring van het waswater te voorkomen, heeft de leverancier ingesteld dat de luchtwasser per dag een minimale hoeveelheid spuiwater moet afvoeren en schoon water toevoegen.
Ondanks deze instelling verzuurt het waswater nog steeds vanaf 24 maart. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een daling in ammoniakvracht van meer dan 66% (Figuur 3.32). Om verzuring te voorkomen en stabiliteit van de pH van het waswater van de luchtwasser te vergroten is besloten om een zuur- en loogdosering te plaatsen. Deze maatregel is aanvullend op de huidige instelling waarbij dagelijks een minimale hoeveelheid spuiwater wordt afgevoerd.
Voor de geurmetingen zijn luchtmonsters tegen einde van de meetperiode op 6 mei geanalyseerd. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 15 weergegeven.

Observaties:

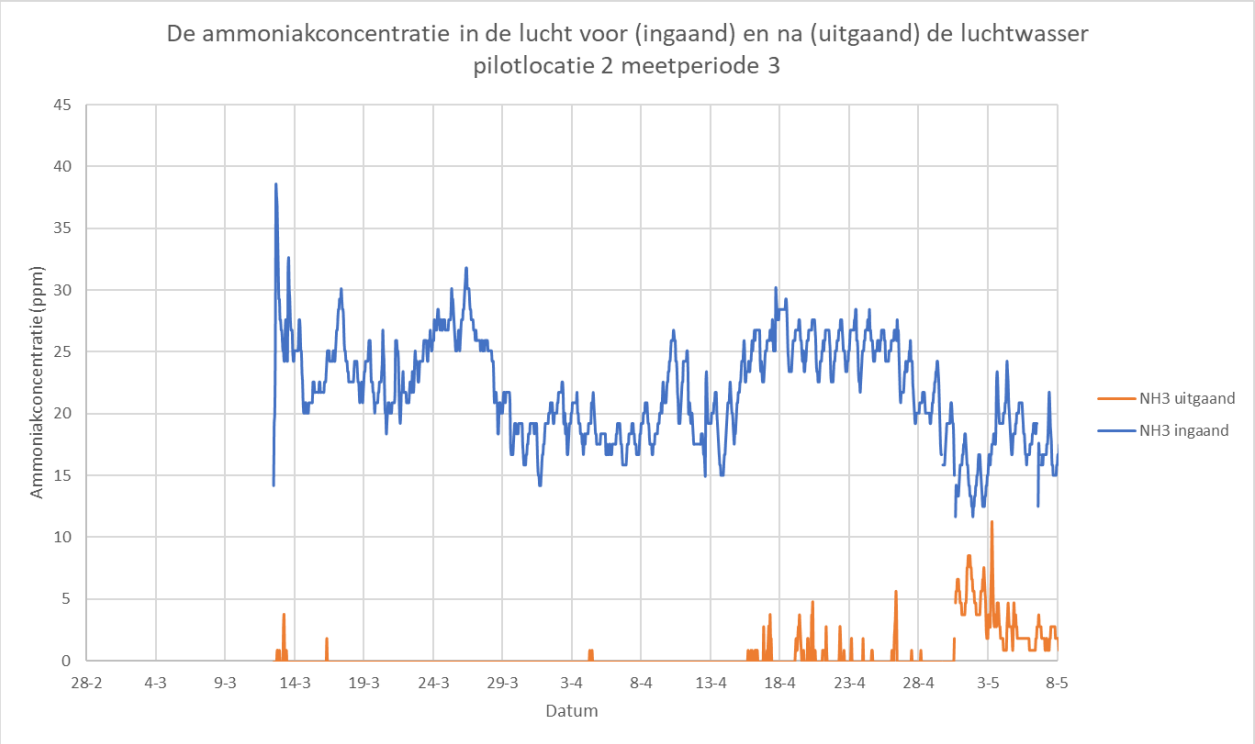
- Het waswater verzuurd, waarschijnlijk door een daling in ammoniakvracht en de pH daalt tot onder pH 6,5. Dit heeft geen effect op ammoniakverwijdering maar kan wel de vorming van ongewenste stikstofgassen veroorzaken. Tijdens deze periode is dit niet bemeten, maar de productie van stikstofgassen is wel eerder aangetoond (Maasdam et al., 2021). In de volgende meetperiode (4) is een meting uitgevoerd bij zuur waswater en bleek dat er inderdaad productie van lachgas plaatsvindt.
- Op het moment van de geuranalyse was de pH net 'gestabiliseerd' rond de 6,5. Net als in de vorige periode waren de geurconcentraties relatief hoog; naast de zwavelcomponenten was ook p-cresol duidelijk meer aanwezig in de ingaande lucht (Tabel 15).
- Het geurverwijderingsrendement was volgens de chemisch-analytische methode met gemiddeld 18% duidelijk lager dan in de tweede periode. Voornamelijk de zwavelcomponenten werden slechter verwijderd in meetperiode 3 ten opzichte van de meting in meetperiode 2. Daarnaast was de concentratie vetzuren in de uitgaande luchtstroom hoger dan in de ingaande luchtstroom, dit droeg echter maar een klein deel bij aan de totale SumOAV waarde voor de uitgaande luchtstroom. Volgens de sensorische methode was het geurverwijderingsrendement 45%, echter was de variatie tussen duplo 's in de uitgaande lucht groot.

Maatregelen voorstel:

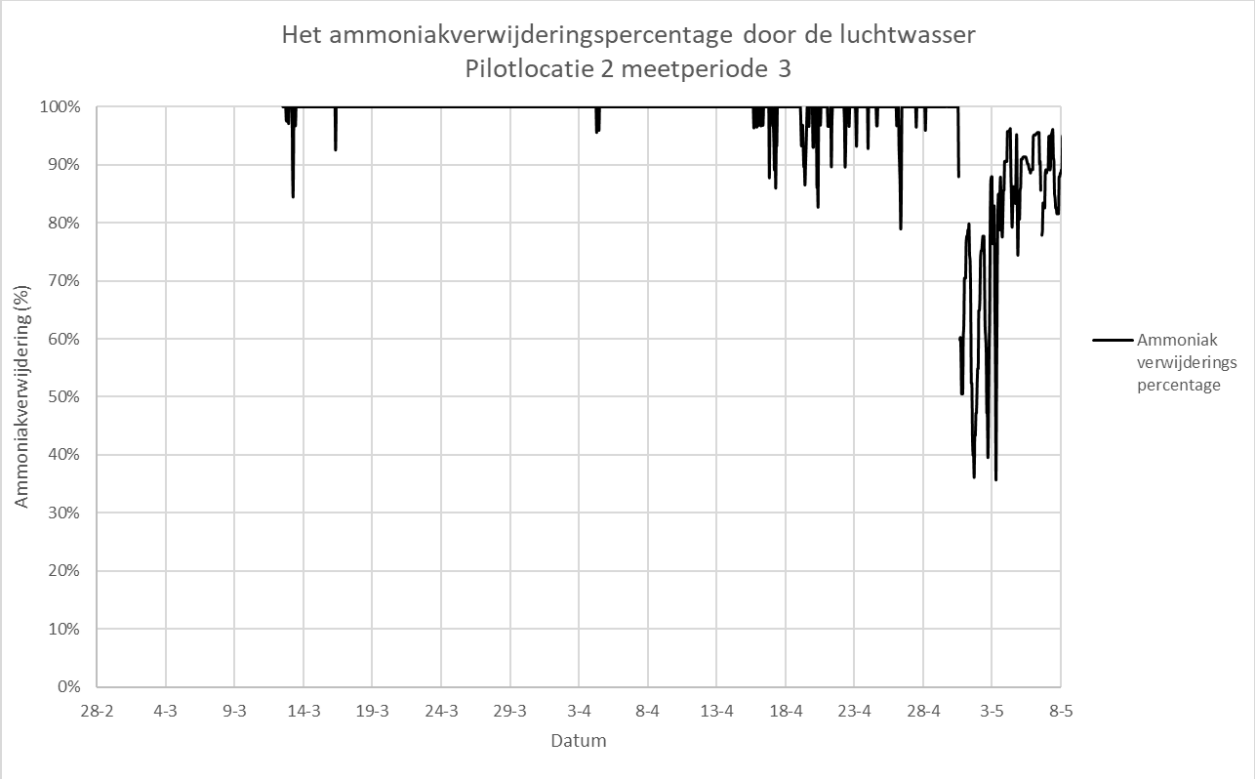
- Versterken van de pH-regulering door plaatsing van een zuur- en loogdosering.
- Zwavelcomponenten blijken de grootste bijdrage aan de geursamenstelling in de uitgaande luchtstroom te hebben. Om beter zicht te krijgen op de invloed van de pH op de verwijdering van deze geurcomponenten, worden twee geurmetingen gedaan, eenmaal bij een hoge pH (7,5) en eenmaal lage pH (6,5). Deze pH-waarden zijn te realiseren met instellingen van de zuur- en loogdosering. Hiermee wordt getest wat de potentie van verwijdering van de zwavelcomponenten door een biologische luchtwasser is.
- Meten vorming van stikstofgassen bij verzuurd waswater, pH waardes onder 6,5.



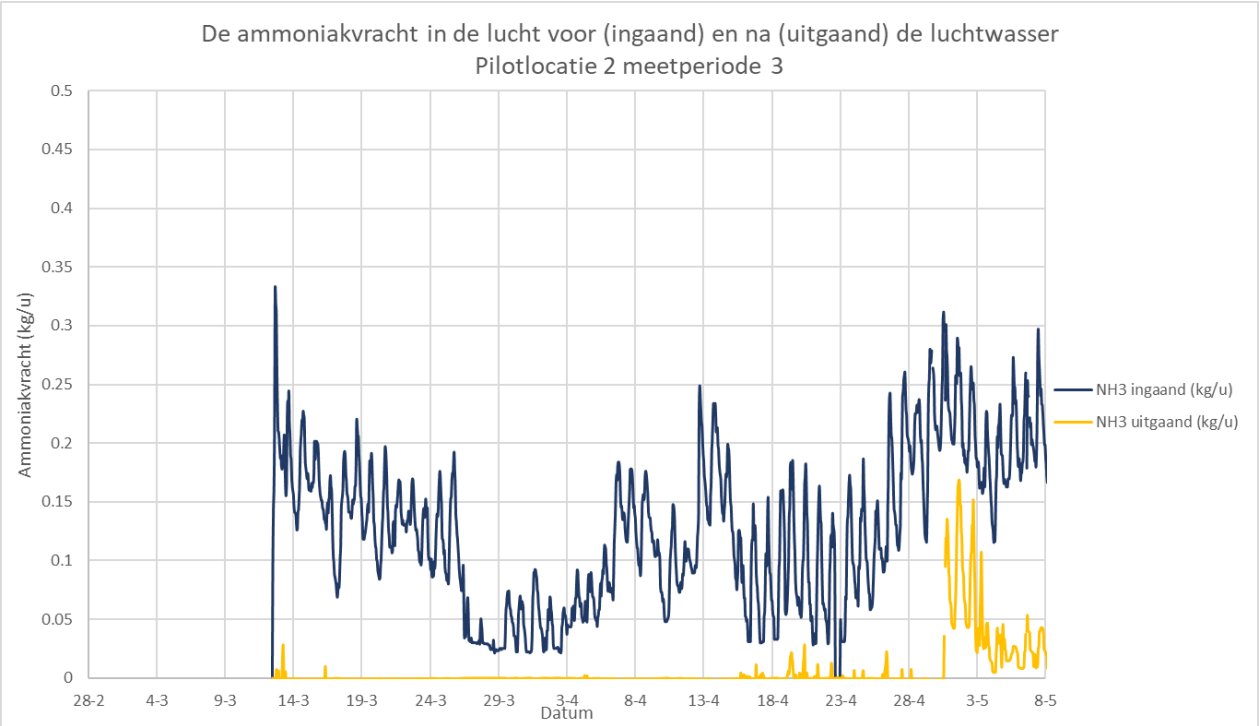

***Figuur 3.29*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 2. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.30*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 2.*




***Figuur 3.31*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 2.*




***Figuur 3.32*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 2. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

***Tabel 15*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 2. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 128 | | | 174 | | | 033 | | | 096 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 57.2 | 2.8 | 4.8 | 60.4 | 2.0 | 3.3 | 20.1 | 1.2 | 6.2 | 18.1 | 0.4 | 2.0 | 68% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 15.1 | 1.4 | 9.4 | 3.8 | 1.1 | 29.1 | 17.8 | 5.9 | 33.4 | 49.6 | 16.0 | 32.3 | *-257%* |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.5 | 0.1 | 12.0 | 0.2 | 0.1 | 30.5 | 0.6 | 0.2 | 28.7 | 1.7 | 1.3 | 78.7 | *-260%* |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 4.0 | 1.1 | 27.5 | 2.1 | 0.6 | 29.0 | 7.8 | 2.0 | 25.6 | 15.6 | 12.7 | 81.4 | *-282%* |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 0.1 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | 2.3 | 0.5 | 22.8 | 3.5 | 2.1 | 61.3 | *-3089%* |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.9 | 0.3 | 37.7 | 0.6 | 0.3 | 42.8 | 1.8 | 0.3 | 16.9 | 1.8 | 0.8 | 46.3 | *-144%* |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 53.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.6 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | *-300%* |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.0 | 1.4 | 0.1 | 0.0 | 3.5 | 0.0 | 0.0 | 18.8 | 0.0 | 0.0 | 19.0 | 75% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 397.7 | 8.1 | 2.0 | 446.6 | 28.8 | 6.5 | 6.1 | 0.5 | 7.8 | 8.2 | 5.0 | 60.8 | 98% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | 1.3 | 0.3 | 19.3 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 15.8 | 0.7 | 4.4 | 37.2 | 9.7 | 26.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 8217.0 | 167.5 | 0.5 | 8003.8 | 44.2 | 2.1 | 6867.1 | 21.8 | 0.3 | 6961.9 | 106.9 | 1.5 | 15% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 284.9 | 8.8 | 3.8 | 266.1 | 10.7 | 3.3 | 276.1 | 49.8 | 0.2 | 297.3 | 0.5 | 16.8 | *-4%* |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.8 | 0.3 | 15.2 | 0.8 | 0.1 | 37.4 | 0.7 | 0.8 | 3.8 | 1.3 | 0.0 | 65.1 | *-25%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 8.3 | | 19.0 | 8.3 | | 19.0 | 1.3 | | 15.7 | 1.3 | | 15.7 | 84% |
| | SumOAV | 9002 | | 13.6 | 8831 | | 18.0 | 7202 | | 15.2 | 7360 | | 37.3 | 18% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 6822 | | | 5169 | | | 1738 | | | 4885 | | | 45% |

### 3.2.4 Meetperiode 4

Meetperiode 4 besloeg de periode van juni 2024 tot en met augustus 2024. Na het uitzetten van de luchtwasser aan het begin van de meetperiode voor onderhoud is de pH een korte periode hoger dan 7,5. Vervolgens daalt de pH tot een waarde van 4 in juni. Halverwege periode 4 is de zuur- en loogdosering geïnstalleerd. Dit is ook te zien in Figuur 3.34 aan de toename in pH in juli. Hierin is tijdelijk een scherpe toename in pH waarneembaar, waarna deze langzaam daalt en rond pH 7,3 stabiliseert. Dit is slechts voor een korte periode en de pH daalt weer sterk na enkel dagen. Deze daling in pH is het gevolg van het feit dat de eerste voorraad van loog op was en midden augustus is vervangen. In beide periodes met dosering is te zien dat de instellingen voor dosering nog niet correct zijn ingesteld. De pH komt door dosering eerst boven de 7,5 uit, voordat deze later weer stabiliseert tussen de 6,5 en 7,5. In de laatst meetperiode was dit beter afgesteld en komt dit niet meer voor. Op 28 juni is een lachgasmeting gedaan en bleek er 1,5 ppm lachgas in de uitgaande luchtstroom aanwezig. Dat bedroeg ongeveer 13% van alle ingaande stikstof op dat moment. Deze meting was bij een waswater pH van 6. Bij een lage pH wordt een deel van de ammoniak omgezet in andere stikstofgassen, waaronder lachgas. Dit bevestigt nogmaals dat een te lage pH (<6,5) wel goede ammoniakverwijdering tot gevolg heeft, maar de stikstofbinding in de vorm van nitraat in het waswater geringer is door vorming van andere gasvormige stikstofcomponenten.

Voor de geurmetingen zijn luchtmonsters op 24 juli genomen en op 20 augustus, de pH van het waswater was op het moment van monstername voor de geurmeting respectievelijk 4,7 en 6,7 (Tabel 16 en Tabel 17). De verwijderingsrendementen voor geur bij de meting met pH 6,7 lagen met 48% chemisch-analytisch) en 46% (sensorisch) iets hoger dan bij een lagere pH (4,7) met telkens 31% (chemisch analytisch) en 27% (sensorisch). De verklaring hiervoor is waarschijnlijk de betere verwijdering van zwavelcomponenten bij pH 6,7. De verwachting is dat $H_2S$ een hogere oplosbaarheid heeft bij een pH boven de 5 doordat een deel van de opgeloste $H_2S$ dan ook voorkomt als het $HS^-$ ion (Figuur 3.33).

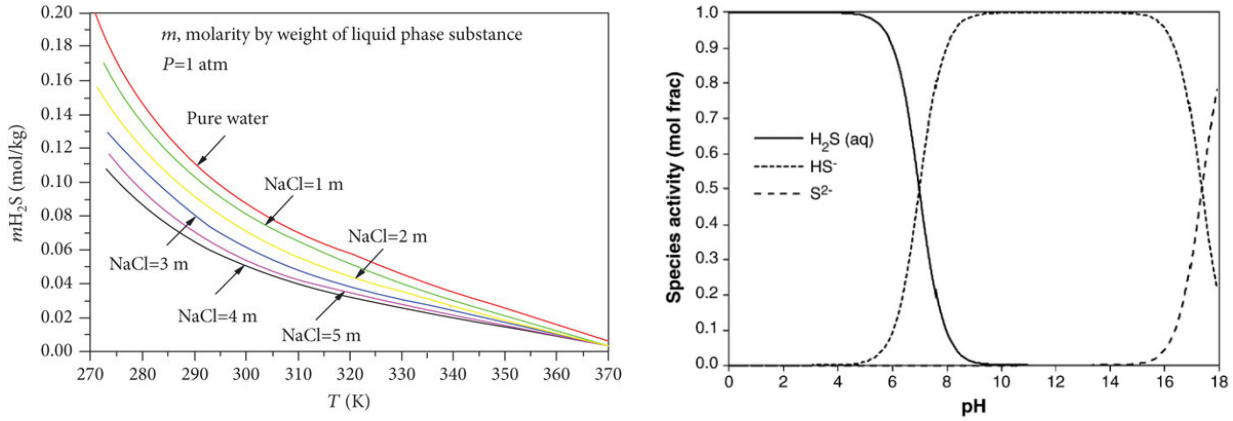
Observaties:

- pH stabilisatie door middel van inzet van zuur en loog dient goed ingesteld te worden om een te hoge pH (boven 7,5) te voorkomen. Bij een pH boven de 7,5 is sprake van een zeer slechte ammoniakverwijdering.
- Bij pH onder de 6,5 worden stikstofgassen (lachgas gemeten) geproduceerd.

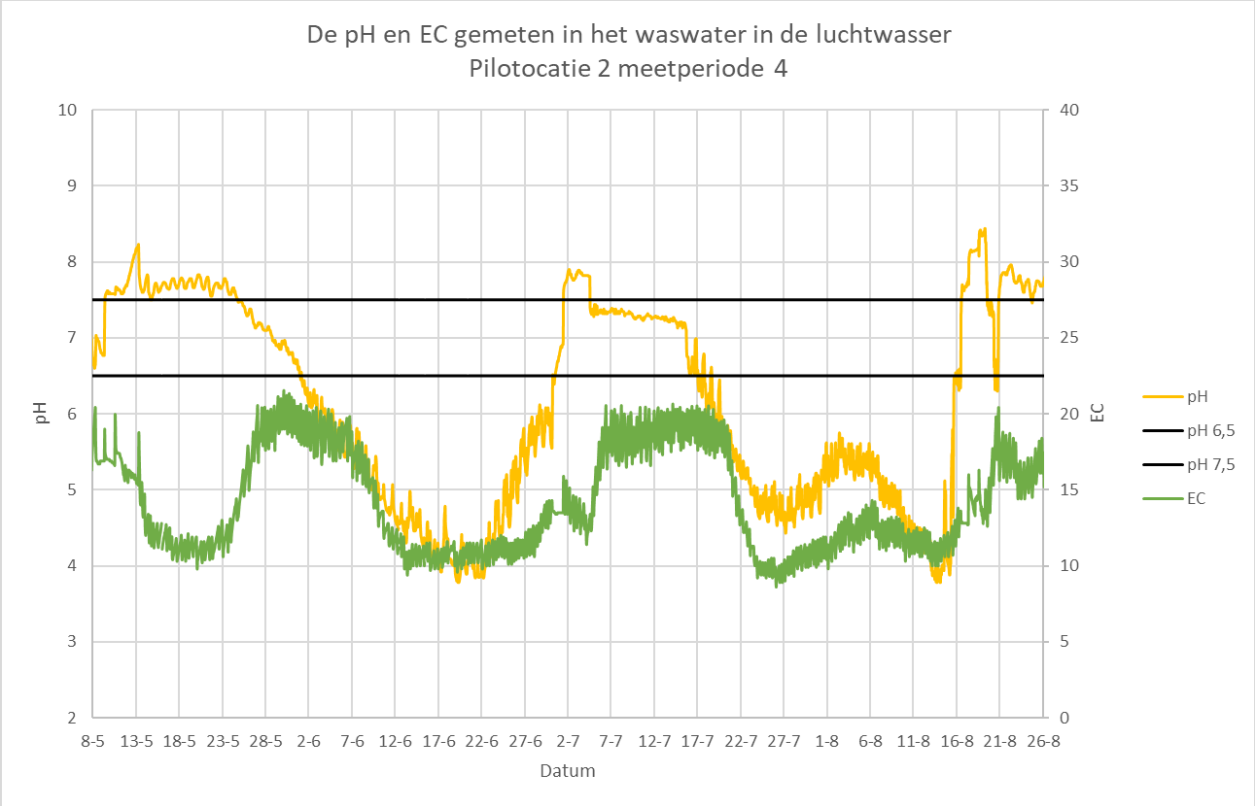
- Bij pH 4,7 is in de geurmeting van de uitgaande lucht minder vetzuren aangetroffen dan bij pH 6.7. Vetzuren worden bij pH 6,7 echter ook nog efficiënt verwijderd door luchtwasser. Er was geen groot verschil in verwijderingsrendement voor fenolen, indolen bij verschillende pH's.

Maatregelen voorstel:

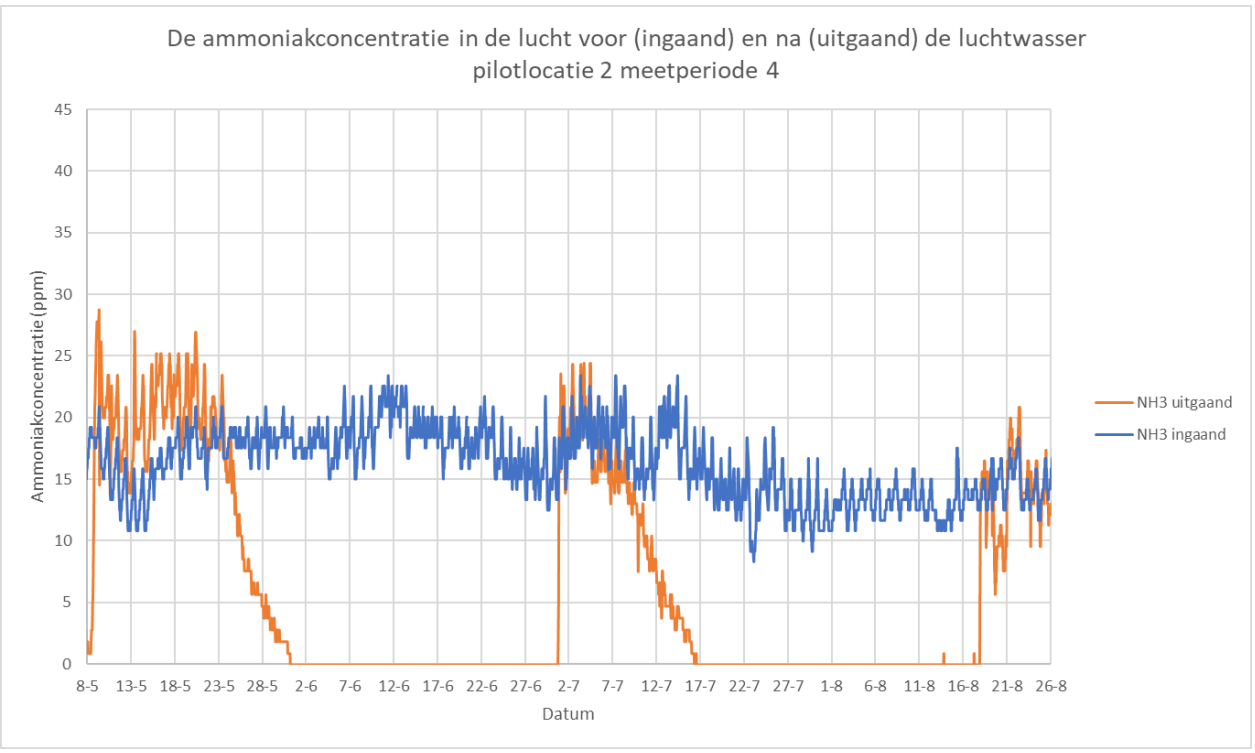
- Verkennen mogelijkheid om aanwezigheid van zwavelcomponenten in de ventilatielucht te verminderen door aanpassing van de voersamenstelling (zie paragraaf 3.2.6).
- pH te stabiliseren met een aanpaste aansturing, een adaptieve regeling met drie verschillende maatregelen:
    1) Verlagen debiet naar de sproeiers over het pakket – als pH lager wordt dan 7,0 gaat de pomp minder waswater over het waspakket pompen. Bij pH 6,5 is het laagste debiet bereikt, waarbij het waspakket nog steeds volledig besproeid wordt. Het doel van deze aanpassing is om te testen of de nitrificatie-snelheid tijdelijk daalt en daarmee de zuurproductie, terwijl wel nog volledige dekking van het pakket plaats vindt en minstens 85% van de ammoniak wordt afgevangen.
    2) Verhogen van de frequentie van spuien of de spuiwaterhoeveelheid per spuimoment op basis van pH. Als de pH daalt onder 6,7 wordt de frequentie van spuien of de spuiwater hoeveelheid per spuimoment verhoogd – ook als de EC-waarde nog lager dan 20 mS/cm is. Door waswater met daarin zuur eerder af te voeren en meer schoon water toe te voegen is de pH naar verwachting beter te reguleren.
    3) Bijsturen van de pH door middel van een zuur- en loogdosering – als de pH van het waswater boven 7,5 of onder de 6,0 komt wordt  zuur bij een te hoge pH en loog bij een te lage pH gedoseerd. Hierdoor wordt geborgd dat de pH binnen de bandbreedte blijft, ongeacht veranderingen in ammoniakvracht of onbalans in de verhouding tussen nitrificatie (zuurproductie), spui-afvoer en de toevoer van schoon water.



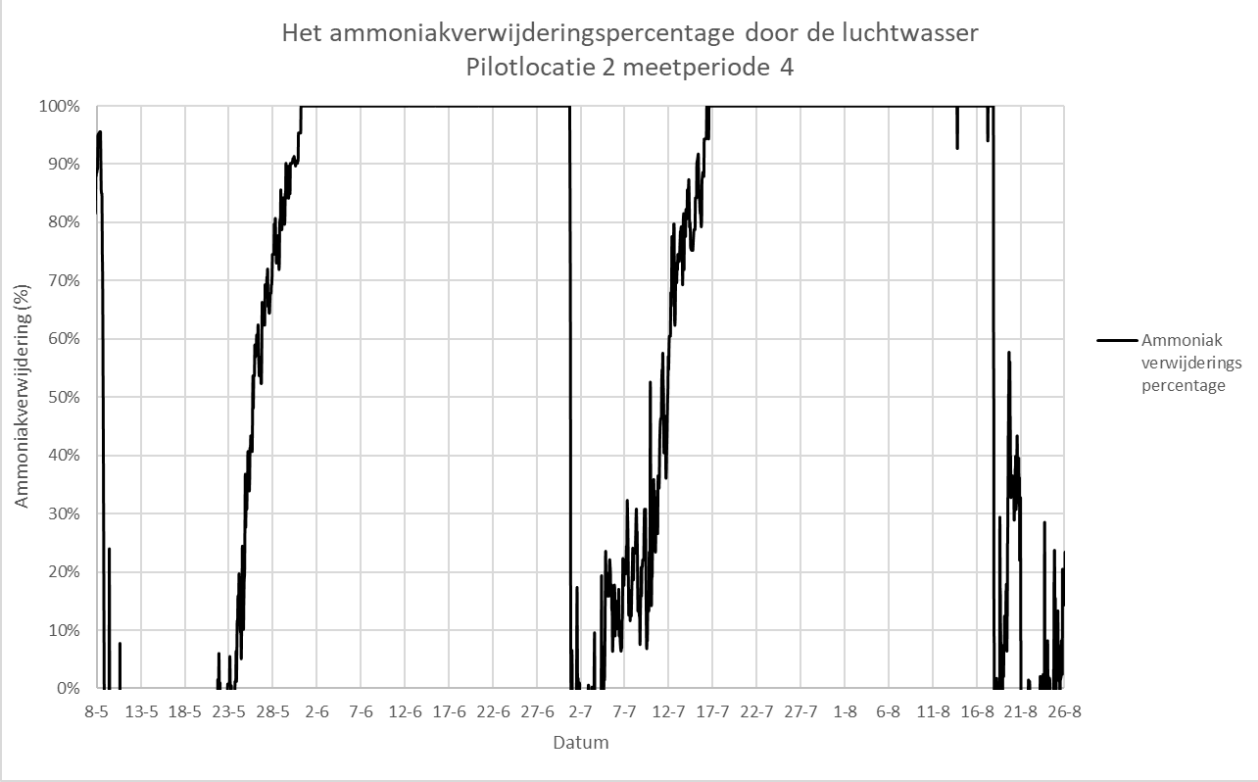

***Figuur 3.33*** *Oplosbaarheid van $H_2S$ als relatie van temperatuur (links) en verandering in dissociatie van $H_2S$ als relatie van pH (rechts) (bron: Deng et al. (2020), Lewis (2010).)*



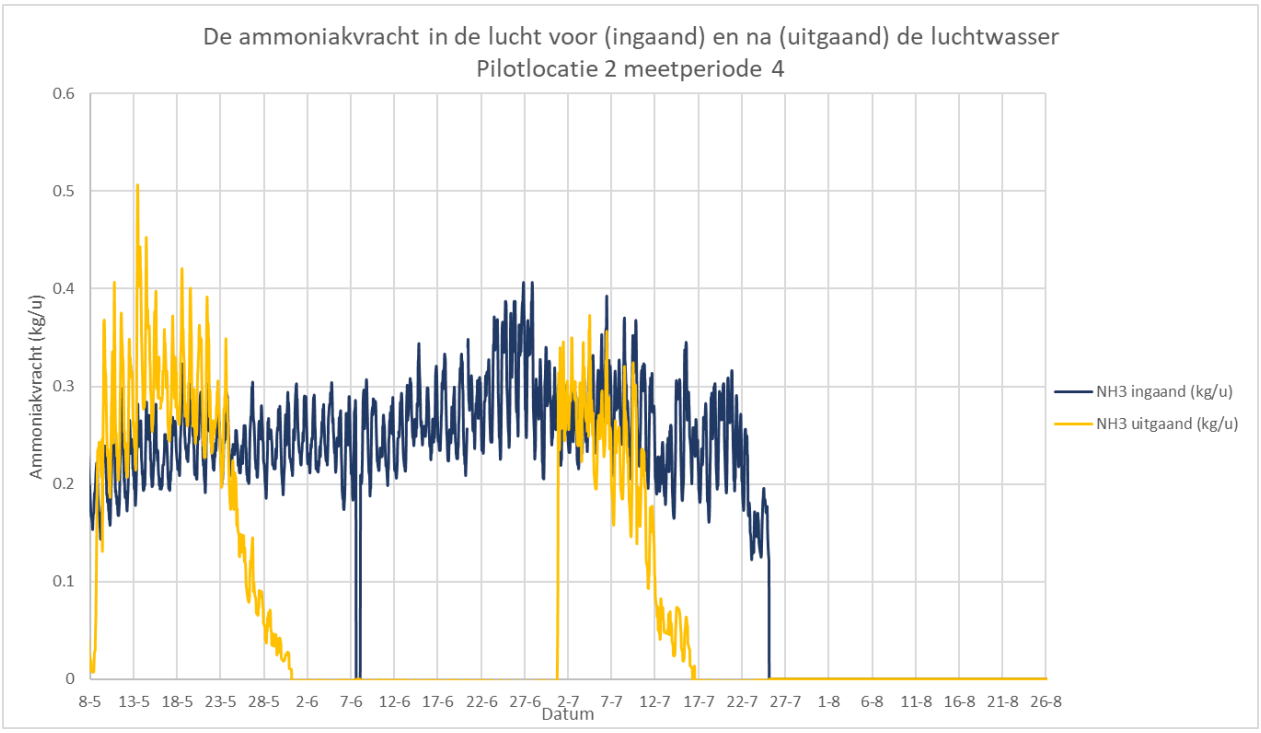

***Figuur 3.34*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 2. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.35*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 2.*




***Figuur 3.36*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 2.*




***Figuur 3.37*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 2. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

**Tabel 16** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 4 (pH 4,7) op locatie 2. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 170 | | | 038 | | | 227 | | | 062 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 6.4 | 0.3 | 4.5 | 5.4 | 1.5 | 28.7 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 14.6 | 5.7 | 38.9 | 29.9 | 13.1 | 43.9 | 24.2 | 11.7 | 48.4 | 17.4 | 5.9 | 33.6 | 6% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.3 | 0.2 | 43.7 | 3.6 | 3.4 | 94.0 | 3.0 | 2.7 | 89.7 | 0.9 | 0.6 | 70.6 | 1% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 2.8 | 1.4 | 50.0 | 36.8 | 37.8 | 102.7 | 38.9 | 38.1 | 98.1 | 5.9 | 2.3 | 39.2 | *-13%* |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | 2.2 | 2.6 | 116.3 | 3.1 | 2.5 | 81.5 | 0.7 | 0.7 | 104.6 | *15%* |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.3 | 0.0 | 14.0 | 1.1 | 0.7 | 64.2 | 1.2 | 0.7 | 61.9 | 0.6 | 0.1 | 13.4 | *-25%* |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 0.0 | 61.0 | 0.0 | 0.0 | 45.0 | 0.0 | 0.0 | 47.9 | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.0 | 16.6 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 15.9 | 0.0 | 0.0 | 15.3 | 55% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 454.7 | 10.1 | 2.2 | 342.1 | 21.4 | 6.2 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 12.4 | 4.1 | 32.6 | 97% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.9 | 0.1 | 5.7 | 0.7 | 0.0 | 2.7 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 16.7 | 1.8 | 10.7 | 10.8 | 3.1 | 28.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 2479.8 | 81.6 | 3.3 | 2334.6 | 58.6 | 2.5 | 1770.0 | 75.9 | 4.3 | 1820.8 | 37.6 | 2.1 | 25% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 199.2 | 24.8 | 12.4 | 162.1 | 7.5 | 4.6 | 213.6 | 9.9 | 4.6 | 265.4 | 51.4 | 19.4 | *-33%* |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.2 | 0.7 | 54.5 | 0.6 | 0.1 | 11.3 | 0.9 | 0.3 | 33.5 | 1.1 | 0.7 | 60.8 | *-9%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 10.3 | | | 10.3 | | | 9.4 | | | 9.4 | | | 9% |
| | SumOAV | 3187 | | 22.89 | 2940 | | 40.9 | 2079 | | 43.9 | 2135 | | 39.9 | 31% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 2538 | | | 2073 | | | 1429 | | | 1920 | | | 27% |

**Tabel 17** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 4 (pH 6,7) op locatie 2. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

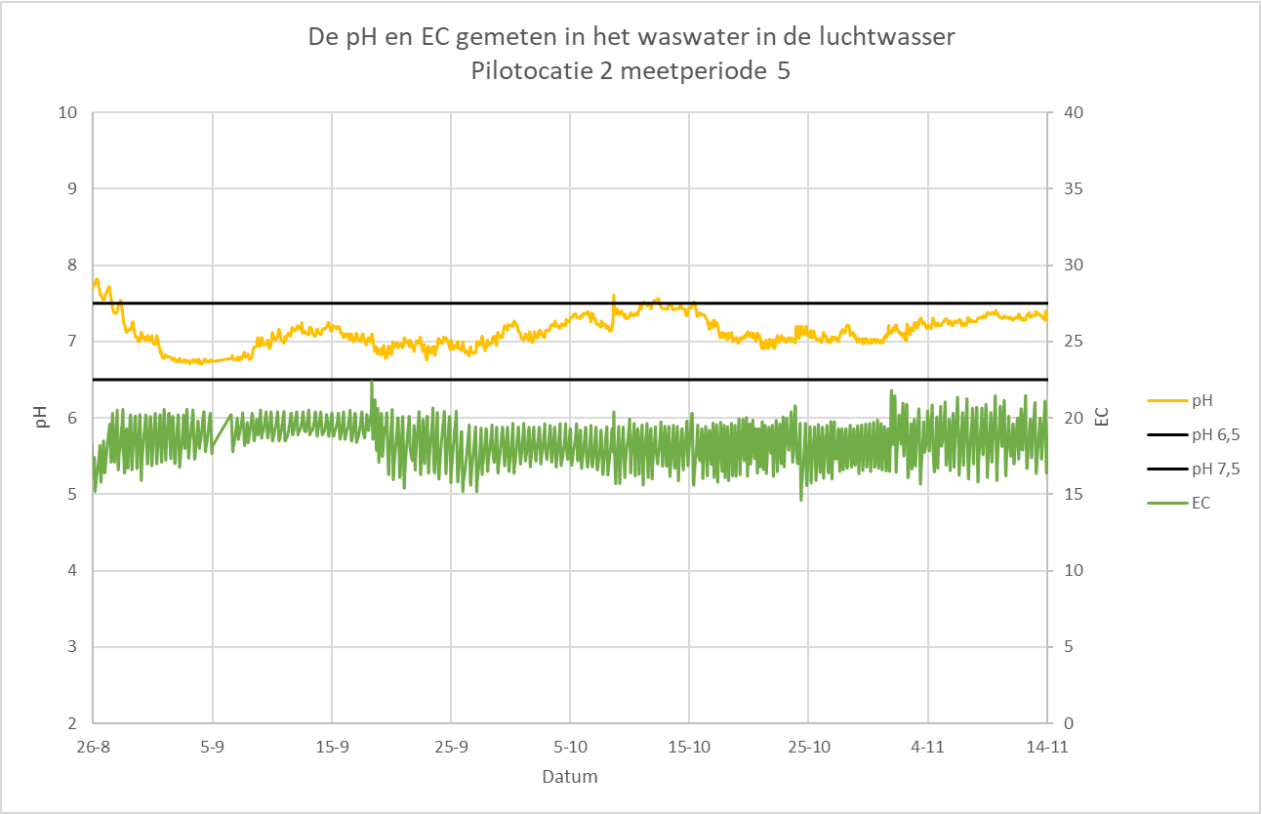
| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 226 | | | 075 | | | 049 | | | 051 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 5.6 | 0.7 | 12.6 | 5.4 | 0.5 | 8.8 | 14.8 | 4.8 | 32.1 | 10.8 | 0.2 | 1.4 | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 159.5 | 8.6 | 5.4 | 150.8 | 2.8 | 1.9 | 7.9 | 2.8 | 35.7 | 11.9 | 2.5 | 20.8 | 94% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 21.0 | 1.6 | 7.8 | 22.6 | 0.9 | 4.0 | 0.2 | 0.1 | 43.2 | 0.5 | 0.4 | 83.9 | 98% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 3.5 | 0.4 | 11.9 | 3.6 | 0.3 | 8.8 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 756.1 | 64.8 | 8.6 | 810.3 | 35.9 | 4.4 | 3.0 | 1.0 | 34.3 | 4.7 | 1.7 | 36.6 | 100% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 434.7 | 29.4 | 6.8 | 431.5 | 26.7 | 6.2 | NK | NK | NK | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 100% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 202.7 | 6.9 | 3.4 | 190.3 | 11.0 | 5.8 | 1.0 | 0.5 | 46.9 | 0.9 | 0.2 | 23.3 | 100% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.3 | 0.0 | 5.9 | 0.2 | 0.0 | 6.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 98% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.0 | 17.5 | 0.1 | 0.0 | 9.3 | 0.0 | 0.0 | 94.2 | 0.0 | 0.0 | 117.0 | 65% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 378.2 | 13.3 | 3.5 | 338.9 | 19.1 | 5.6 | 11.3 | 0.0 | 0.0 | 6.0 | 1.2 | 19.7 | 98% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.9 | 0.6 | 59.9 | 0.4 | 0.1 | 19.5 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 12.2 | 2.7 | 22.4 | 12.0 | 2.0 | 16.9 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 3301.2 | 12.6 | 0.4 | 3349.5 | 44.9 | 1.3 | 2622.4 | 14.7 | 0.6 | 2628.0 | 4.7 | 0.2 | 21% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 208.2 | 5.7 | 2.7 | 225.1 | 16.7 | 7.4 | 228.0 | 4.3 | 1.9 | 235.8 | 3.6 | 1.5 | *-7%* |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.7 | 0.2 | 32.3 | 0.7 | 0.2 | 29.9 | 0.5 | 0.1 | 14.8 | 0.5 | 0.0 | 7.8 | 20% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 7.8 | | | 7.8 | | | 4.0 | | | 4.0 | | | 49% |
| | SumOAV | 5492 | | 13.40 | 5549 | | 8.55 | 2893 | | 27.60 | 2903 | | 26.0 | 48% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 4878 | | | 4988 | | | 2949 | | | 2349 | | | 46% |

### 3.2.5 Meetperiode 5

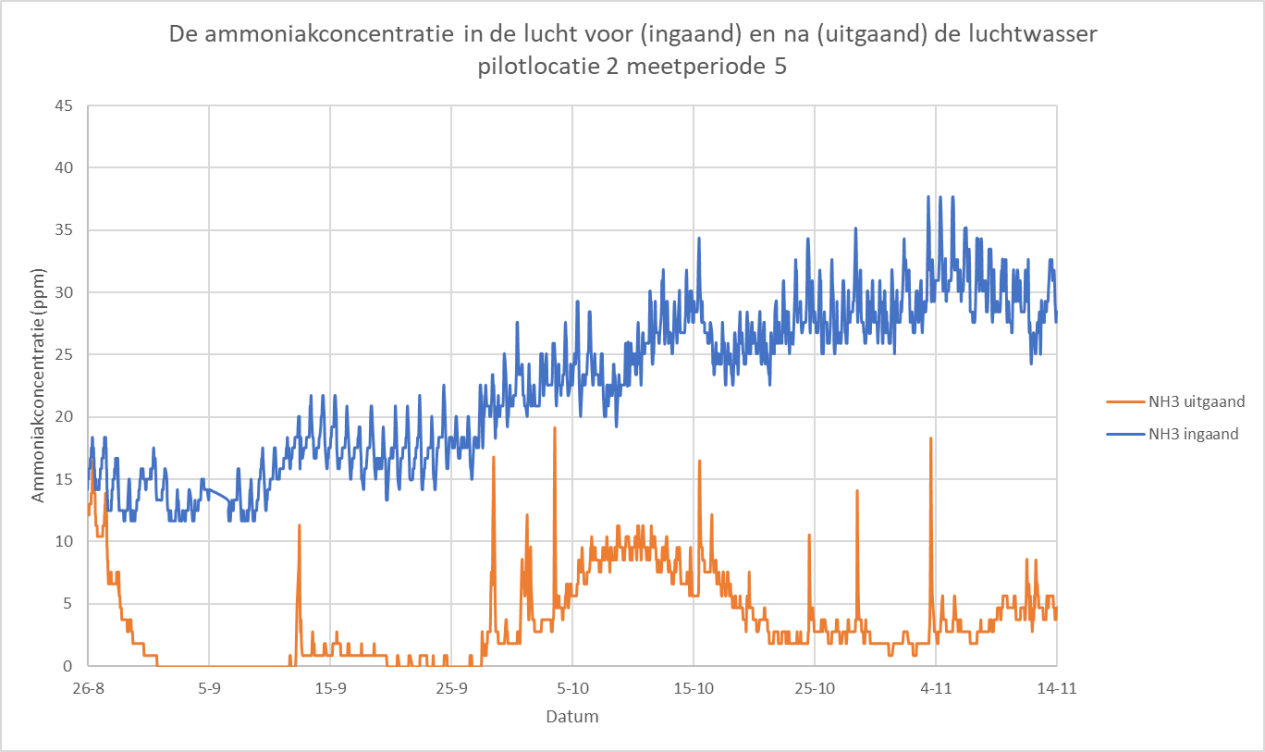
Meetperiode 5 besloeg de periode van september 2024 tot en met november 2024. Tijdens deze periode is de pH bijna de volledige tijd binnen de voorgeschreven bandbreedte van 6,5 en 7,5 (Figuur 3.38). De stabilisatie van de pH door middel van zuur- en loogdosering is in werking tijdens deze meetperiode. Over de hele meetperiode was het gemiddelde verwijderingsrendement voor ammoniak 85%. Er zijn enkele perioden waarin het ammoniakrendement afneemt, ondanks de stabiele pH- en EC-waardes.
Gedurende meetperiode 5 stijgt de concentratie van de ingaande ammoniak (Figuur 3.39) en neemt de ammoniakvracht toe (Figuur 3.41). Vanaf 30 september neemt de pH toe van 7 naar 7,5. Dit in combinatie met de toename in ammoniakvracht lijkt een effect te hebben op de ammoniakverwijdering vanaf begin oktober (Figuur 3.40), deze daalt van 95% naar 65%. Zodra de pH weer daalt neemt de ammoniakverwijdering ook weer toe tot boven de 90%. Dit is mogelijk een indicatie dat bij een combinatie van slechte oplosbaarheid van ammoniak (in hogere pH) en een hoge ammoniakvracht de capaciteit van de luchtwasser is overschreden. Echter door een daling in de pH, en bijgevolg een toename in oplosbaarheid van ammoniak, wordt later in de maand oktober wel het vereiste verwijderingsrendement voor ammoniak gehaald bij nog hogere concentratie en vracht van ammoniak.
Voor de geurmetingen zijn luchtmonsters op 23 oktober genomen. De resultaten zijn in Tabel 18 weergegeven.

Observaties:
- Door een combinatie van hogere ammoniakvracht en een pH van 7,4 – 7,5 daalt de ammoniakverwijdering tot onder de voorgeschreven eis van 85%. Echter door de hoge verwijdering tijdens de rest van de meetperiode is het gemiddelde verwijderingsrendement gedurende de meetperiode wel boven de 85%.
- De pH is zodanig hoog geweest dat de werking en effectiviteit van aanpassingen in de aansturing – zie maatregelen voorstel bij de vorige periode - niet te beoordelen is.
- De OAV van zwavelcomponenten is lager dan in eerdere perioden, wat ook in een lagere SumOAV waarde resulteert. Volgens de sensorische methode is sprake van een hoge geurconcentratie in de ingaande lucht. De rendementen liggen met 58% (chemisch-analytisch) en 83% (sensorisch) redelijk uit elkaar.

Maatregelen:
- Geen nieuwe maatregelen omdat de looptijd van het project voorbij is. Alleen de werking van de luchtwasser wordt nog gevolgd. Met name om de werking van de aangepaste aansturing te controleren als de pH van het waswater begint te dalen.



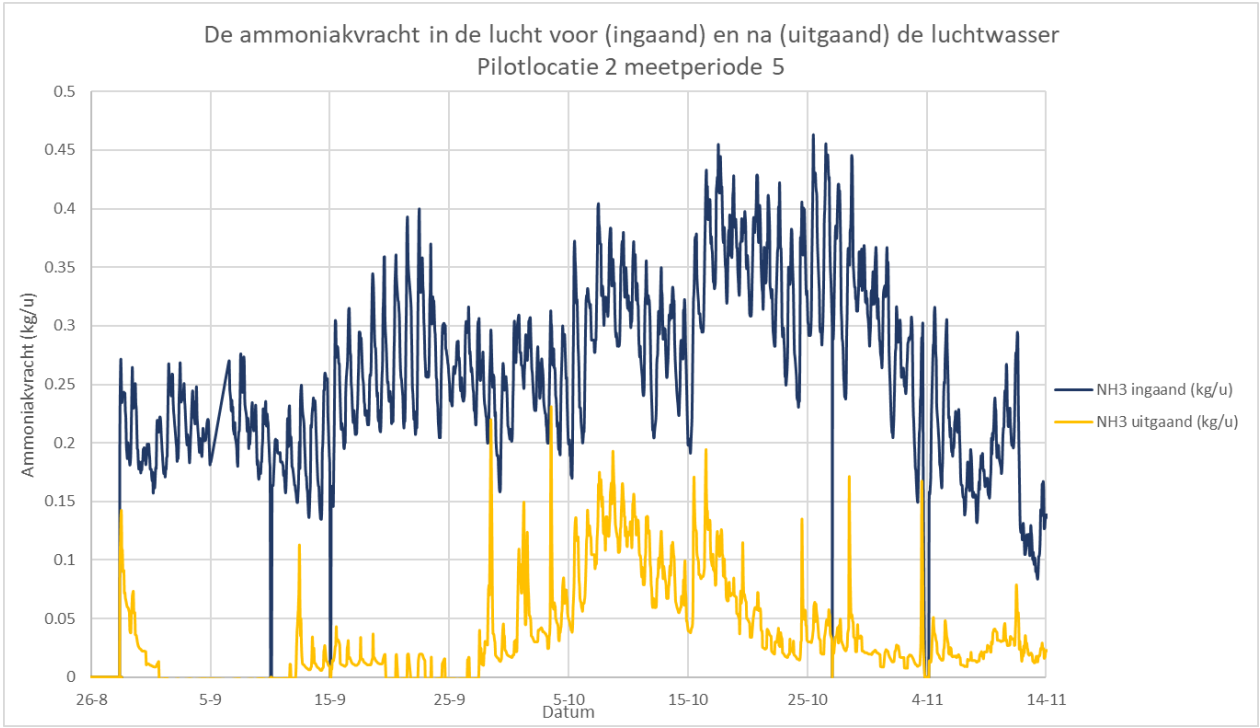

***Figuur 3.38*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 2. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.39*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 2.*




***Figuur 3.40*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 2.*




***Figuur 3.41*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 2. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

***Tabel 18*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 2. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven. Opmerking: de concentraties van 2,3-butandione zijn vanwege een kleine technische aanpassing hoger dan anders.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 149 | | | 233 | | | 206 | | | 269 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 519.6 | 36.7 | 7.1 | 739.6 | 248.3 | 33.6 | 7.1 | 0.6 | 8.0 | 8.5 | 0.0 | 0.0 | 99% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 9.0 | 2.3 | 25.6 | 15.7 | 7.2 | 46.2 | 6.1 | 2.1 | 34.5 | 4.4 | 1.4 | 32.0 | 57% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 1.0 | 0.4 | 41.1 | 0.8 | 0.2 | 32.0 | 0.5 | 0.2 | 49.5 | 0.2 | 0.1 | 38.2 | 64% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 20.1 | 11.0 | 54.7 | 9.2 | 2.7 | 29.1 | 8.5 | 6.0 | 70.4 | 1.9 | 0.9 | 44.1 | 65% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 3.3 | 1.3 | 40.4 | 1.3 | 0.0 | 0.1 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | *-14%* |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 71.7 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.0 | 1.8 | 0.1 | 0.0 | 19.5 | 0.0 | 0.0 | 29.8 | 0.0 | 0.0 | 27.9 | 83% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 274.3 | 16.5 | 6.0 | 228.7 | 22.2 | 9.7 | 1.9 | 0.1 | 5.1 | 1.5 | 0.3 | 16.4 | 99% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.7 | 0.1 | 17.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 9.9 | 3.5 | 35.9 | 5.1 | 1.0 | 19.4 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1295.4 | 23.8 | 1.8 | 1305.9 | 38.3 | 2.9 | 837.5 | 3.1 | 0.4 | 850.1 | 2.2 | 0.3 | 35% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 138.3 | 24.4 | 17.6 | 126.0 | 15.0 | 11.9 | 148.4 | 74.4 | 50.1 | 84.6 | 2.8 | 3.3 | 12% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.2 | 0.8 | 69.9 | 0.8 | 0.4 | 46.8 | 1.3 | 1.0 | 79.2 | 0.7 | 0.2 | 34.2 | *-0.3%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 14.4 | | | 14.4 | | | 1.0 | | | 1.0 | | | 93% |
| | SumOAV | **2287** | | **27.91** | **2448** | | **19.54** | **1015** | | **32.68** | **953** | | **17.83** | **58%** |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | **9141** | | | **9657** | | | **950** | | | **2166** | | | **83%** |

## 3.2.6 Maatregel aanpassen voersamenstelling

De huidige biologische combi-luchtwassers blijken de zwavelcomponenten in geur slecht te verwijderen vergeleken met andere componenten. De zwavelcomponenten zijn dominant aanwezig in de SumOAV van zowel ingaande als uitgaande geurconcentraties. Daarom is het nuttig om te verkennen of het mogelijk is om de vorming van zwavelcomponenten en opname ervan in de ventilatielucht zoveel mogelijk te beperken. Aanvoer van zwavel gebeurt via het voer; voornamelijk in de vorm van de zwavelhoudende aminozuren methionine en cysteïne en in de vorm van sulfaat.

**Opzet proef**

Met een proef is een eerste verkenning gedaan naar het effect van aanpassing van voersamenstelling op de geuremissie. In overleg met veehouder, nutritionist van de voerleverancier en een veevoedingsexpert van WLR is gezocht naar mogelijkheden om het gehalte van zwavelcomponenten in het voer te verlagen en daarmee de geuruitstoot te verminderen.

Bij pilot 2 bestaat het rantsoen uit droog mengvoer. Een belangrijk deel van de zwavel komt in het voer door de ingrediënten lysinesulfaat, methionine en cysteïne.
In de aangepaste voersamenstelling is lysinesulfaat vervangen door lysine liquid. Daarnaast is de ingrediënt SIDLysine met 12% verlaagd, en in juiste ratio ook de ingrediënten methionine + cysteïne.

***Tabel 19*** *Gehalten zwavel in de oorspronkelijk en aangepaste voersamenstelling.*

| Voer | Zwavelgehalte [g/kg] |
|---|---|
| Oorspronkelijk | 2,07 |
| Aangepast | 1,60 |
| Verschil | 0,47 (-22,7%) |

**Geur-analyses**

Op 3 momenten zijn geurmonsters van de ingaande lucht van de luchtwasser genomen en geanalyseerd. De 1e meting op 16 oktober is bedoeld als nulmeting; de metingen op 23 oktober en 7 november zijn bedoeld als effectmeting. Het aangepaste voer is vanaf 18 oktober gevoerd. De geurmonsters zijn met de in paragraaf 2.4.3 beschreven methodes geanalyseerd.

Naar verwachting zal de verlaging van het zwavelgehalte in het voer een verlaging van zwavelhoudende componenten in de stallucht tot gevolg hebben. Aanpassing in voer is echter niet het enige dat is gewijzigd in de periodes tussen de metingen. Tabel 20 toont de geurconcentraties en de bijdrage van de zwavelcomponenten daaraan. Daarbij zijn deze geurconcentraties tijdens de nulmeting vergeleken met die na het verlagen van het zwavelgehalte.

In deze tabel staan alleen de waarden van geurmonsters die van de ingaande lucht in de luchtwasser zijn genomen. De geurmonsters zijn in duplo genomen en geanalyseerd (M1 en M2). De concentratie ammoniak en het ventilatiedebiet zijn gemiddelde waarden van de 2-uursperiode waarin de geurmonsters zijn genomen. In Tabel 21 zijn de geurconcentraties (OAV waardes) weergegeven van de verschillende geurcomponenten die zijn meegenomen in de som OAV.

***Tabel 20*** *Overzicht van geurresultaten en relevante parameters.*

| Datum | Sum OAV [ -- ] | SUm OAV [ % ] | Sum OAV zwavel comp. [ -- ] | Sum OAV zwavel relatief [ % ] | Aandeel zwavel comp. in geheel [ % ] | Sensorische waarde [ouE/m3] | Sensorische waarde [ % ] | NH3 [ppm] | pH [ -- ] | Ventilatie debiet [ % van max ] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 okt – M1 | 2201 | 100 | 1930 | 100 | 85 | 13174 | 100 | 36,5 | 7,3 | 61,2 |
| 16 okt – M2 | 2326 | | 2031 | | | 5800 | | | | |
| 23 okt – M1 | 1753* | 76 | 1435 | 72 | 83 | 9141 | 99 | 43,0 | 7,2 | 47,8 |
| 23 okt – M2 | 1694* | | 1433 | | | 9657 | | | | |
| 7 nov – M1 | 1265 | 59 | 1054 | 56 | 83 | 3760 | 45 | 43,3 | 7,3 | 22,2 |
| 7 nov – M2 | 1394 | | 1152 | | | 4702 | | | | |

*SumOAV voor deze beschouwing berekend zonder OAV waardes van 2,3-butadione

***Tabel 21*** *Geurconcentratie (in OAV waardes) van de verschillende geurcomponenten in de stallucht ingaand in de luchtwasser.*

| Stoffen | 16 okt 2024 M1 | 16 okt 2024 M2 | 23 okt 2024 M1 | 23 okt 2024 M2 | 7 nov 2024 M1 | 7 nov 2024 M2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,3-Butanedione | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Acetic acid | 6,79 | 4,26 | 9,03 | 15,65 | 2,98 | 14,04 |
| Propionic acid | 0,29 | 0,31 | 1,04 | 0,75 | 0,15 | 1,72 |
| Isobutyric acid | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | 0,62 |
| Butyric acid | 1,48 | 2,6 | 20,1 | 9,17 | 2,31 | 47,52 |
| Isovaleric acid | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | 15,26 |
| Valeric acid | 0,13 | 0,21 | 3,27 | 1,27 | 0,26 | 1,6 |
| Hexanoic acid | NQ | NQ | NQ | 0,01 | NQ | NQ |
| Heptanoic acid | NQ | NQ | 0,01 | NQ | NQ | NQ |
| Phenol | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,03 |
| p-Cresol (4-methylphenol) | 239,57 | 269,08 | 274,32 | 228,7 | 193,19 | 156,98 |
| 4-Ethyl phenol | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ |
| Indole | 0,54 | 0,43 | 0,71 | 0,36 | 0,73 | 0,42 |
| 3-Methyl indole | 10,31 | 7,33 | 9,87 | 5,07 | 12,03 | 4,3 |
| **Hydrogen sulfide** | 1683 | 1780 | 1295,37 | 1305,90 | 979,00 | 1047,00 |
| **Methyl mercaptan** | 246 | 250 | 138,25 | 126,00 | 74,00 | 104,00 |
| **Dimethyl disulfide** | 1.05 | 1.02 | 1.18 | 0.81 | 0,67 | 0,92 |

NQ = not quantifiable; de waarde is lager dan de laagste concentratie die de meetapparatuur kan meten. Zwavelhoudende componenten in vet gedrukt.

NA = niet bepaald voor deze berekening vanwege technische afwijkingen in een van de meetmomenten.

**Observatie en analyse**

Op 23 oktober en 7 november is de geurconcentratie lager dan op 16 oktober, volgens beide meetmethoden (chemisch analytisch en sensorisch) (Tabel 21). Terwijl het ventilatiedebiet lager en de varkens zwaarder zijn, wat veelal een hogere concentratie tot gevolg heeft. Zonder maatregel is daarom een hogere geurconcentratie te verwachten, zoals ook te zien is in de stijging van de ammoniakconcentratie.
Op 23 oktober en 7 november is de totale geurconcentratie lager dan op 16 oktober, de 'Som OAV' is dan 76% resp. 59% - een daling van 24% resp. 41% ten opzichte van 16 oktober. Het aandeel van zwavelcomponenten is 72% resp. 56% ten opzichte van 16 oktober en is iets sterker gedaald dan 'Som OAV'. Dat kan het effect van aanpassing in de voersamenstelling zijn. De resultaten uit de olfactometrie laten een iets ander patroon zien.

Medio november gaf veehouder aan dat begin november - voor 7 nov - 2 afdelingen varkens zijn afgeleverd en de andere afdelingen zijn uitgeladen. Dat geeft naar verwachting een verminderde geurvorming. Tegelijk daalt ook het ventilatiedebiet, wat bij gelijke bezetting tot een hogere geurconcentratie in de ventilatielucht leidt.

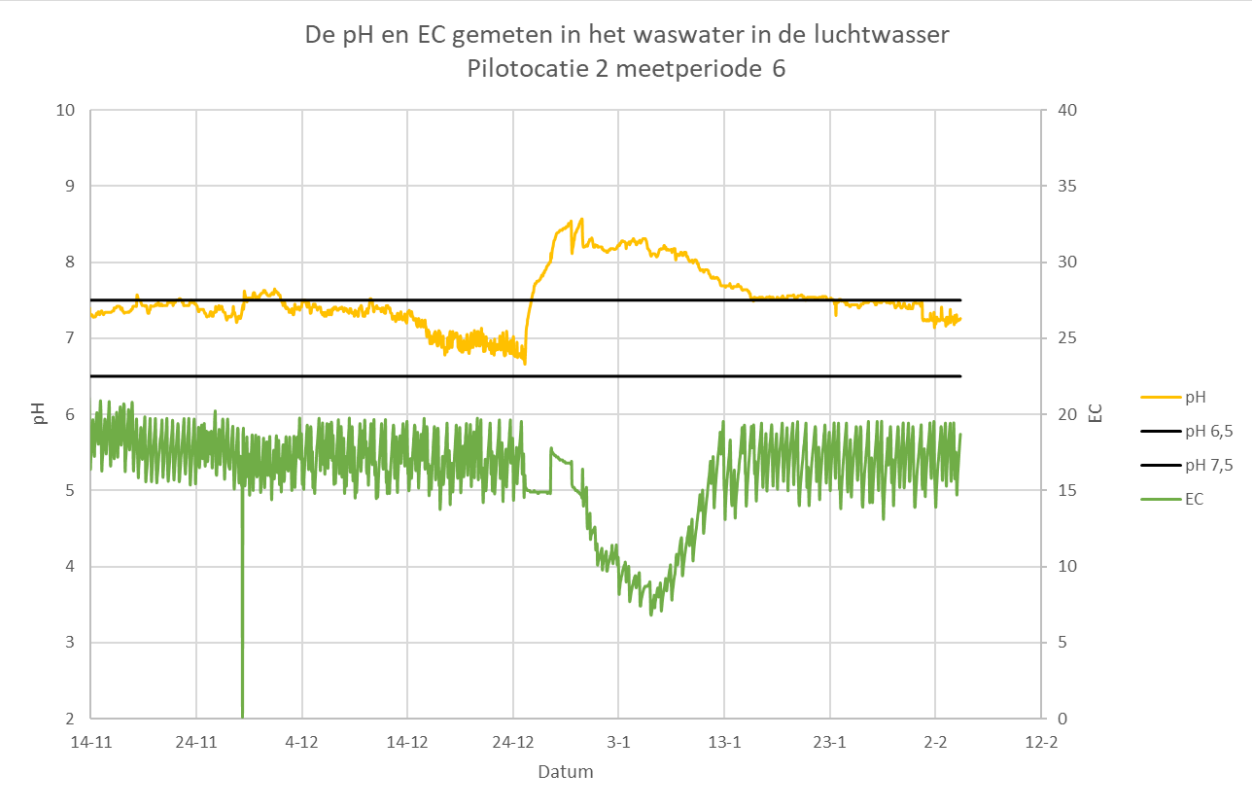
Voorlopige conclusie:
Na de aanpassing in de voersamenstelling is de geurconcentratie verlaagd, volgens beide analysemethoden. Ook het gehalte zwavelcomponenten is verlaagd. Dit effect is op 23 oktober met grote waarschijnlijkheid toe te wijzen aan de aangepaste voersamenstelling. Deze verlaging is op 7 november nog groter, maar andere factoren hebben daaraan waarschijnlijk ook een bijdrage geleverd.
De resultaten bieden perspectief voor vervolgonderzoek naar de mogelijkheden via de voersamenstelling de geuremissie te verlagen.

### 3.2.7 Meetperiode 6

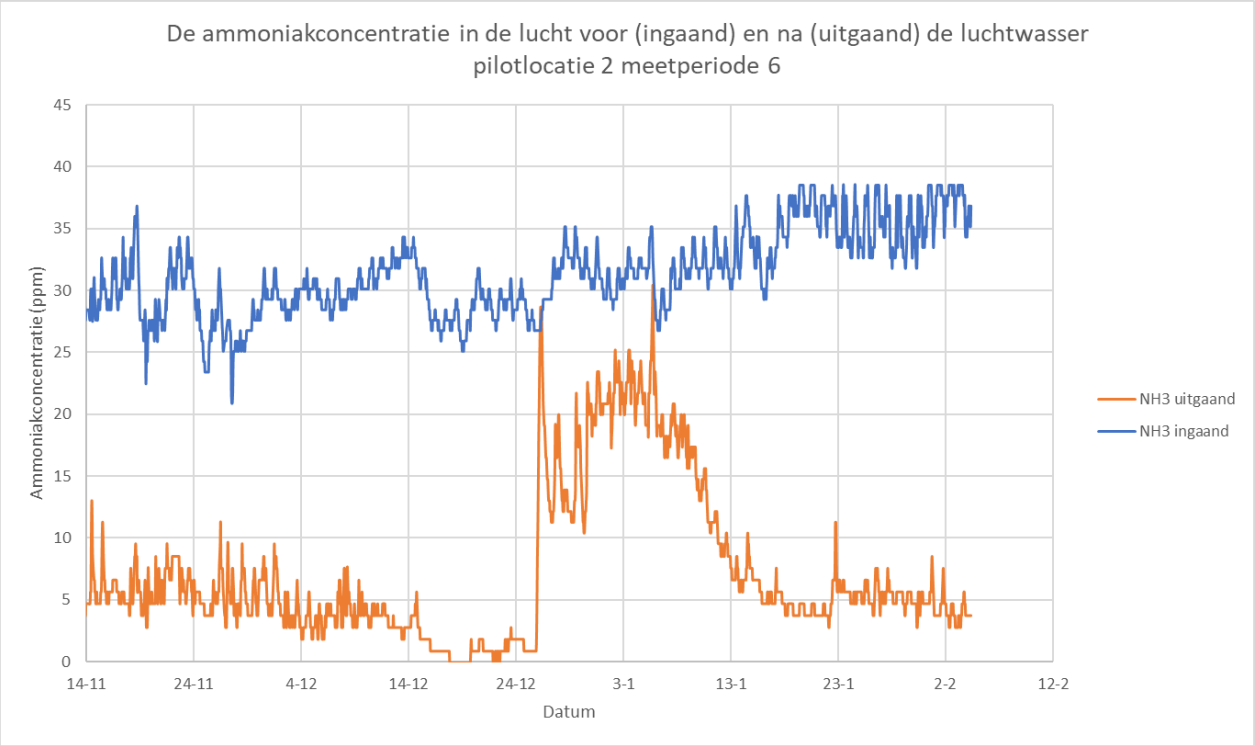
Meetperiode 6 besloeg de periode van halverwege november 2024 tot en met januari 2025. Tot en met 24 december is de pH redelijk stabiel tussen de 6,8 en 7,5 in. Er zijn een paar dagen in november waarin de pH hoger dan 7,5 is. Een duidelijk effect op het verwijderingsrendement is niet waargenomen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de lage ammoniakvracht in deze periode. Ondanks de hogere pH waarin ammoniak slecht oplosbaar is, was de oplosbaarheid hoog genoeg om de lage vracht van ammoniak voor ongeveer 80% te kunnen verwijderen. Na de daling in pH vanaf 14 december neemt het verwijderingsrendement toe naar ongeveer 90%. Vanaf 16 december daalt de pH onder de 7,0 en is de maatregel actief waarbij het debiet van de waswaterpomp wordt verminderd. Ondanks de afname in de hoeveelheid waswater die over het pakket wordt gesproeid, blijft het ammoniakverwijderingsrendement boven de 90%. Na 24 december neemt de pH tot boven de 8; dit valt samen met het herhaaldelijk uitvallen van de luchtwasser tussen 25-30 december door droogloop van de waswaterpomp, waarschijnlijk als gevolg van verstopte filters. Na herstel van de storingen en een daling in pH vanaf 13 januari tot rond de 7,5 neemt de ammoniakverwijdering weer toe tot 85 – 90%.

Observaties:

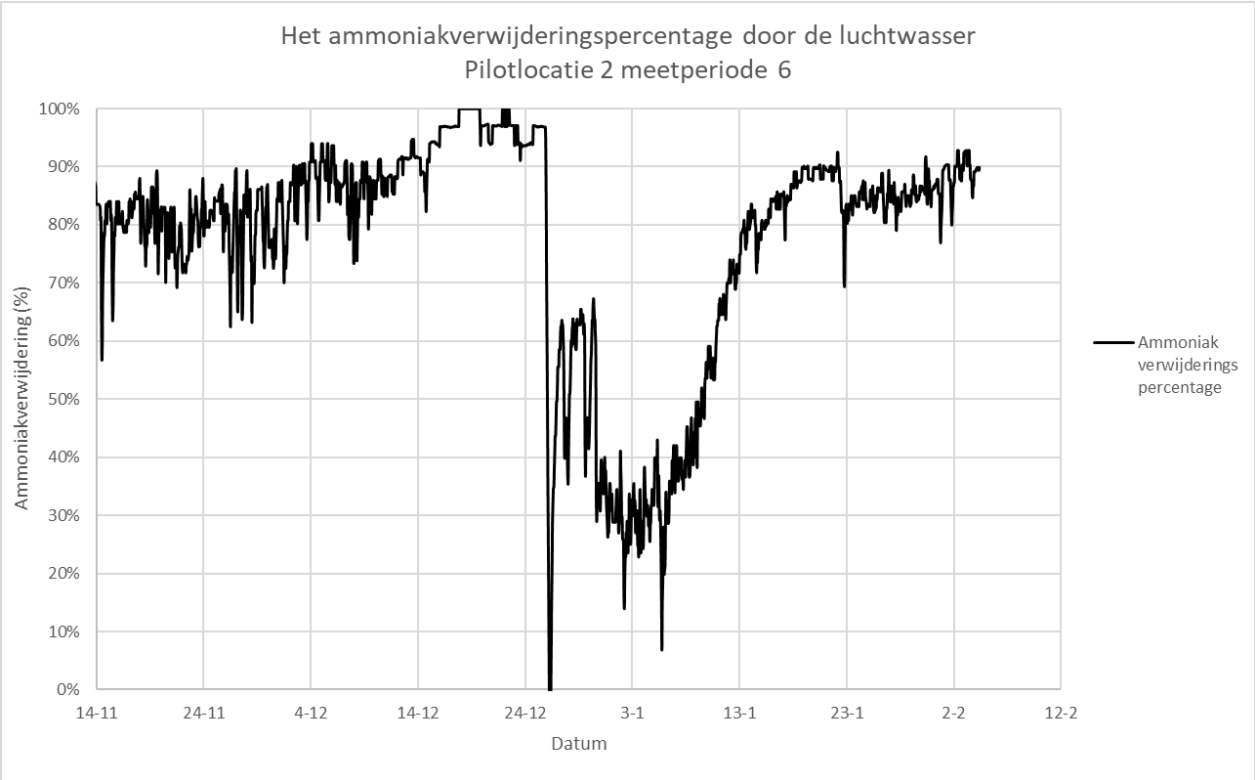
- Bij meermalig stilvallen van de luchtwasser door storingen neemt de pH toe tot boven de 7,5. Hierbij daalt de ammoniakverwijdering drastisch.
- Het minderen in capaciteit van de waswaterpomp bij een pH onder de 7,0 heeft niet tot een daling in ammoniakverwijdering geresulteerd.



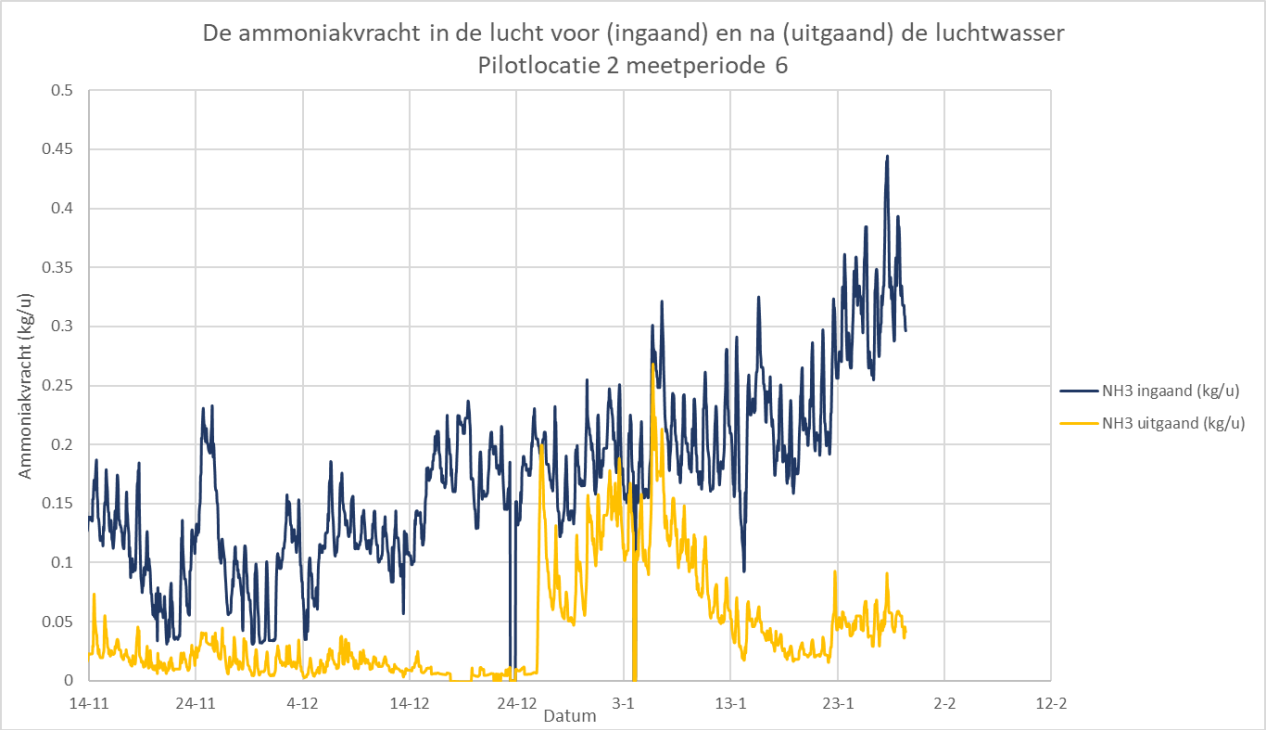

***Figuur 3.42*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 6 op locatie 2. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.43*** *Gemeten ammoniakconcentraties (NH3) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 6 op locatie 2.*




***Figuur 3.44*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 6 op locatie 2.*




***Figuur 3.45*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 2. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

## 3.2.8 Integrale observaties en analyse - Locatie 2

### 3.2.8.1 Ammoniakverwijdering

Bij deze locatie is vastgesteld dat de waardes in het elektronisch logboek niet altijd correct zijn en dat controle van de pH- en EC-sensoren periodiek nodig is en blijft. Dit is al bekend, maar ervaringen op deze locatie benadrukken dit feit nogmaals. Bij hoge pH (boven de 7,5) is vastgesteld dat het rendement van de ammoniakverwijdering kan dalen tot onder de 20%. Tijdens meetperiode 6 bleek dat een combinatie van hoge ammoniakvracht met een hogere pH van het waswater (tussen de 7 en 7,5), ondanks dat dit binnen de voorgeschreven norm is, kan leiden tot een afname in ammoniakverwijdering (Tabel 22). Bij een pH onder de 6,5 is eenmalig een puntmeting gedaan waarbij vorming van lachgas is vastgesteld van ongeveer 10% van alle ingaande ammoniak. Beiden bevindingen benadrukken de relevantie van de geldende pH-breedte (7,5 - 6,5) voor biologische luchtwassers. In de latere periodes is een doseerinstallatie met zuur en loog geplaatst voor pH stabilisatie om te grote schommelingen in de pH van het waswater te voorkomen en de pH binnen de bandbreedte te houden. Na installatie van een zuur en loog doseerinstallatie in meetperiode 4 is de pH binnen de voorgeschreven bandbreedtes tot dat de loog voorraad op raakt. Dit was een indicatie dat de werking van ammoniakverwijdering door de zuur en loog dosering geborgd was tijdens deze periode, echter de achterliggende oorzaak waardoor pH daling plaats vindt was niet verholpen. Aangetoond is dat verzuring van waswater is te voorkomen met zo'n zuur/loogdosering, maar dit achterliggende problemen met pH balans niet verhelpt. In meetperiode 5 zijn om deze reden extra software instellingen aangebracht, waaronder dat het systeem bij pH waardes onder de 6,7 meer spuiwater produceert om zo pH ook te stabiliseren met aanvoer van meer schoon water. Tijdens meetperiode 6 lijkt deze software regeling te werken, echter door het stilvallen van de luchtwasser rond 24 december is dit niet volledig te beoordelen. Voor continue verwijdering van ammoniak blijkt dat het stabiliseren van pH de belangrijkste parameter is. Dit kan worden geborgd door het gebruik van zuur en loog dosering, en het gebruik van extra software regelingen die beter bijsturen op pH doormiddel van gebruik van spui afvoer en schoon water toevoer kan de dosering van zuur en loog minimaliseren.

***Tabel 22*** *Overzicht van de gemeten waardes per meetperiode bij locatie 2. Hierin is weergeven: het aantal dagen in de meetperiode, het gemiddelde gemeten ammoniakrendement over deze meetperiode verkregen met continue metingen, de standaard afwijking van het rendement over de periode, percentage van de tijd waarin de pH binnen de voorgeschreven bandbreedte was, percentage van de tijd dat de pH onder de 6,5 was, percentage van de tijd waarin de pH boven de 7,5 was, de vastgelegde hoeveelheid spuiwater in de meetperiode en de berekende spuiwaterproductie per dierplaats per jaar gebaseerd op de spuihoeveelheid in die meetperiode.*

| | **Periode 1** | **Periode 2** | **Periode 3** | **Periode 4** | **periode 5** | **Periode 6** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Periodeduur (dagen)** | 45 | 106 | 70 | 139 | 76 | 81 |
| Gemiddeld ammoniakrendement | 49% | 90% | 96% | 71% | 85% | 77% |
| St Dev ammoniakrendement | 48% | 20% | 11% | 44% | 15% | 20% |
| Percentage tijd pH in bandbreedte (≥ 6,5 - ≤ 7,5) | 42% | 55% | 43% | 17% | 97% | 60% |
| Percentage tijd pH < 6,5 | 23% | 34% | 55% | 57% | 0% | 0% |
| Percentage tijd pH > 7,5 | 35% | 11% | 1% | 26% | 3% | 40% |
| Absolute spuiwaterproductie (m3) | 26.9 | 214.7 | 87.6 | 132 | 317.2 | 418.3 |
| Berekende spuiwaterproductie in periode ($m^3$/dpl/jaar) | 0.34 | 1.15 | 0.72 | 0.54 | 2.37 | 2.96 |

#### 3.2.8.2 **Geurresultaten**

De geurresultaten over de hele looptijd van het project op deze locatie zijn weergegeven in Tabel 23.
De eerste resultaten van de chemisch-analytische methode laten laat zien dat

- Een aantal veelvoorkomende geurcomponenten in varkensgeur goed te verwijderen zijn met een biologische luchtwasser. Het gaat om de groepen zuren, fenolen, indolen.
- Andere veelvoorkomende componenten met voornamelijk zwavelhoudende groepen niet/slecht te verwijderen zijn met de biologische luchtwasser.

Drie specifieke stoffen met zwavelhoudende groepen lijken op dit moment de grootste bijdragers aan geur die nog in de uitgaande luchtstroom bij de luchtwasser aanwezig is: methylmercaptaan, dimethylsulfide en waterstofsulfide ($H_2S$). Alle drie de stoffen zijn slecht oplosbaar in water, wat verklaart waarom deze nog aanwezig blijven in de uitgaande luchtstroom. Een eerste inschatting volgens de chemisch analytische methode is dat deze stoffen tot wel 90% van alle geur veroorzaken in de lucht die nog uit de luchtwasser komt.
De biologische luchtwasser werd na periode 3 uitgerust met een zuur- en loogdosering om pH schommelingen op te vangen. In periode 4 en 5 is geprobeerd om bij zowel een hoge als een lage pH een geurmeting te doen om het effect van pH op de verwijdering van geur te onderzoeken. De hypothese is dat bij hoge pH (boven de 7) waterstofsulfide ($H_2S$) iets beter oplosbaar is en dus beter door een luchtwasser kan worden verwijderd. Echter het nauwkeurig sturen op pH met zuur- en loogdosering is een complex proces en de pH op 23 oktober 2024 bij de laatste meting was precies 7 in plaats van rond de 7,5 (Tabel 23). Het geurverwijderingsrendement was volgens beide meetmethodes slechts op twee van de vijf meetmomenten duidelijk boven de voorgeschreven 45%, de andere keren rond deze waarde of daaronder. Daarnaast is in periode 4 de voersamenstelling gewijzigd, met het doel minder zwavel aan de dieren te voeren en zo vorming van gasvormige zwavelcomponenten te verlagen. De laatste twee geurmetingen zijn gedaan nadat de voersamenstelling was veranderd. Het effect van de verandering is in paragraaf 3.2.6 beoordeeld.

***Tabel 23*** *Geurmetingen conventioneel (panel) uitgevoerd op een monster verkregen uit de ingaande en uitgaande luchtstroom uit de luchtwasser op locatie 2. Ventilatievracht van de ingaande lucht en de pH van het waswater in de luchtwasser op het moment van monstername zijn ook weergeven.*

| **Datum** | **3 okt 2023 P1** | **28 feb 2024 P2** | **6 mei 2024 P3** | **24 jul 2024 P4** | **20 aug 2024 P4** | **16 okt 2024 P5** | **23 okt 2024 P5** | **7 nov 2024 P5** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ventilatievracht ($m^3/u$) | | | | | | | | |
| pH | | 7.4 | 6.9 | 4.7 | 6.7 | 7.3 | 7 | 7.3 |
| | | | | | | | | |
| **Conventionele methode** | | | | | | | | |
| Ingaand conc geur ($OU_E/m^3$) | | 10348.5 | 5995.5 | 2306 | 4938 | 9487 | 9399 | 4231 |
| Uitgaand conc geur ($OU_E/m^3$) | | 3850.5 | 3311.5 | 1675 | 2649 | | 1558 | |
| Verwijderings-rendement geur (%) | | 63% | 45% | 27% | 46% | | 83% | |
| | | | | | | | | |
| **Chemisch analytische methode** | | | | | | | | |
| Ingaand conc geur (SumOAV) | n.b. | 8083 | 8917 | 3064 | 5521 | 2264 | 2100 | 1345 |
| Uitgaand conc geur (SumOAV) | n.b. | 1790 | 7281 | 2107 | 2898 | | 984 | |
| Verwijderings-rendement geur (%) | n.v.t. | 78% | 18% | 31% | 48% | | 53% | |

### 3.2.8.3 Deelconclusie

Uit de metingen en analyses zijn de volgende conclusies te trekken:

- Verzuring van het waswater in een biologische luchtwasser komt voor als de ingaande ammoniakvracht afneemt, hierdoor kan de pH onder de 6,5 uitkomen.
- Een zuur- en loogregeling kan bij schommelingen in de pH direct ingrijpen en de pH binnen de voorgeschreven bandbreedte houden. Als de achterliggende oorzaak van de pH-schommeling niet wordt achterhaald en verholpen, zal dit een hoog verbruik van zuur en/of loog tot gevolg hebben.
- De maatregelen die op basis van actuele pH
  a) de afvoer spuiwater (hoeveelheid/frequentie) aanpassen en
  b) het waswaterdebiet over het waspakket aanpassen
  kunnen bijdragen aan het behouden van de pH binnen de bandbreedte en passend bij het principe van een biologische luchtwasser.
- In verzuurd waswater wordt ammoniak niet (alleen) in nitraat omgezet, maar (ook) in stikstofgassen zoals $N_2O$, $NO_x$ en $N_2$, De gassen $N_2O$ en $NO_x$ zijn schadelijk voor het milieu.
- Voor geurverwijdering is het beeld erg variërend. De luchtwasser kan drie veelvoorkomende zwavelhoudende componenten niet of slecht verwijderen: methylmercaptaan, dimethyl sulfide en waterstofsulfide ($H_2S$). Eerste inschatting volgens de chemisch analytische methode is dat deze stoffen tot wel 90% van alle geur veroorzaken in de lucht die nog uit de luchtwasser komt. Voor een lage geur-emissie uit de stal zijn maatregelen nodig om de vorming van deze componenten te voorkomen bijvoorbeeld door aanpassingen aan de voersamenstelling of stalmanagement. Andere groepen van geurstoffen (vetzuren en fenolen/indolen) lijken over het algemeen goed te verwijderd te worden.
- De aanpassing in de voersamenstelling om het gehalte aan zwavelcomponenten in het geurprofiel te verlagen leidde tot lagere geurconcentraties bij beide meetmethoden. Niet uit te sluiten is dat andere factoren ook hebben bijgedragen aan deze verlaging. De resultaten bieden perspectief voor vervolgonderzoek naar de mogelijkheden via de voersamenstelling de geuremissie te verlagen.

## 3.3 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 3

### 3.3.1 Meetperiode 1

Meetperiode 1 (nulmeting) besloeg de periode van augustus 2023 tot en met begin november 2023. De enige modificatie rond de luchtwasser in deze periode was het plaatsen van ammoniaksensoren in de drukkamer voor de luchtwasser en in de uittredende luchtstroom van de luchtwasser. In deze periode verzuurt het waswater in de luchtwasser tweemaal tot een pH van rond de 5 (Figuur 3.46). De verzuring van het waswater is mogelijk het effect van een (te) actieve nitrificatie in de luchtwasser. Tijdens meetperiode 1 verandert de ammoniakverwijdering continue. Er is een maximum van 95% verwijdering vastgesteld met gemiddeld een ammoniakverwijdering van 73% over meetperiode 1.
Voor deze meetperiode zijn er geen geurmonsters met de chemisch-analytische methode geanalyseerd.

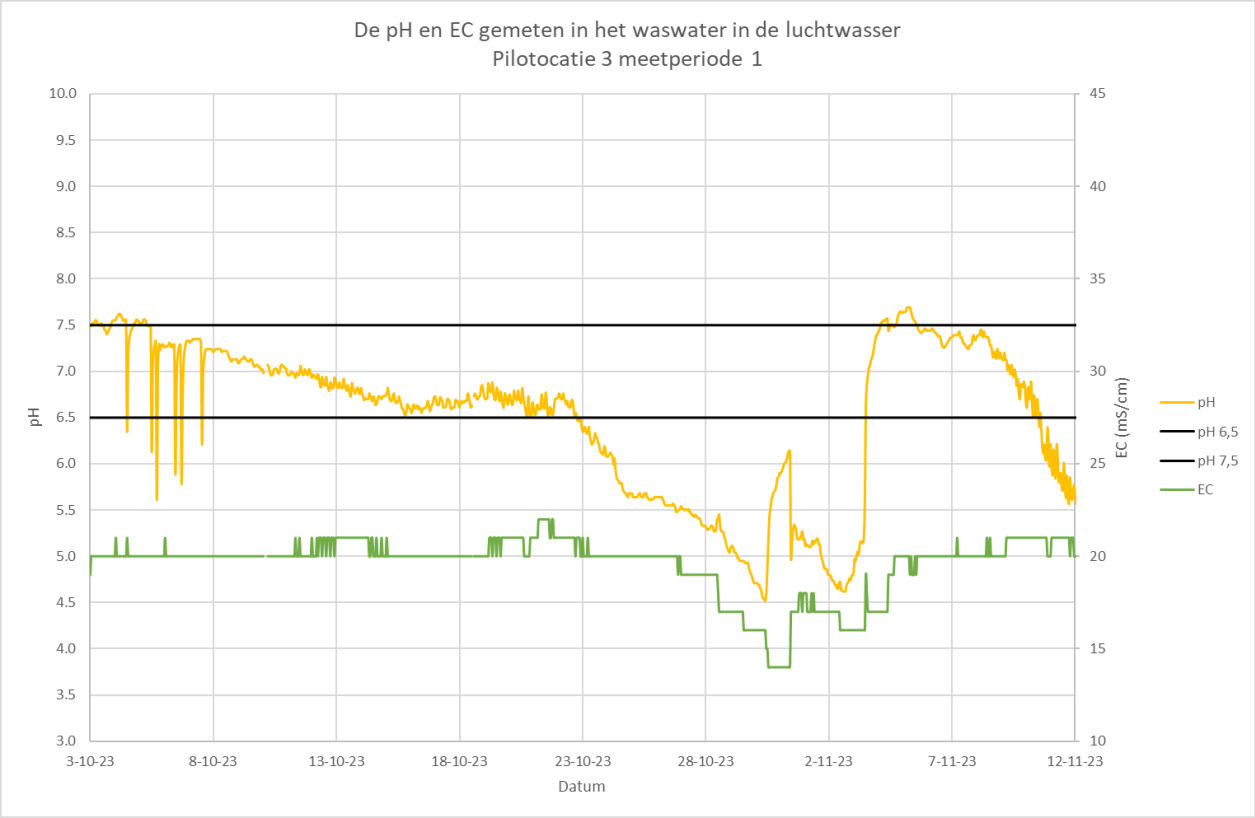
Observaties:
- Het waswater in de luchtwasser verzuurt tot tweemaal toe tot onder pH 5. Waarschijnlijk als gevolg van te hoge nitrificatiesnelheid.
- De data in het elektronisch logboek voor de ammoniakconcentratie in de uitgaande luchtstroom bevat een softwarefout (par. 2.4.2).

Maatregelen voorstel:
- Onderhoudscontrole door luchtwasserleverancier om de instellingen te controleren.
- Herstellen van de lamellen voor het afvangen van stof, deze zijn niet in werking door ouderdom.
- Mogelijke aanpassingen in de frequentie van afvoer van spuiwater en inname van schoon water om verzuring te voorkomen, afhangend van de uitkomst van de onderhoudscontrole.

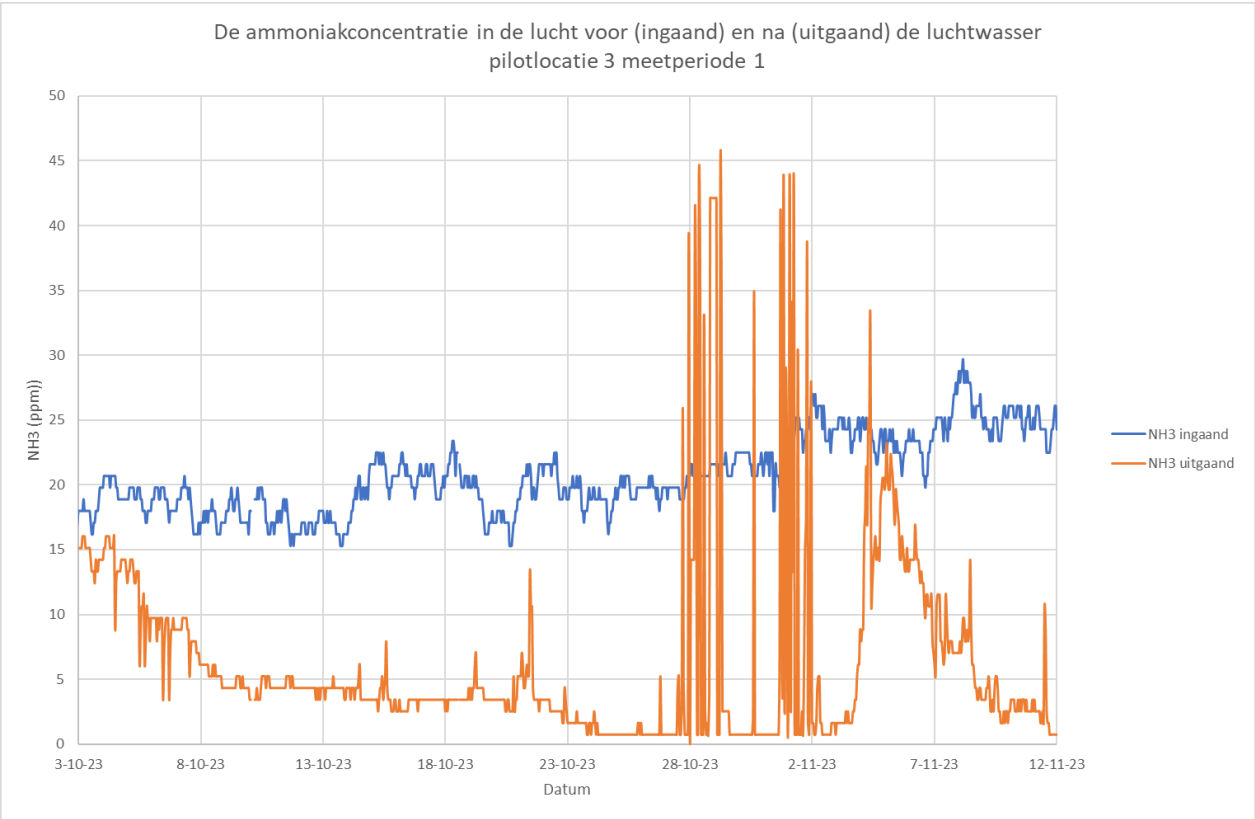
In deze meetperiode zijn de geurmonsters alleen met de conventionele methode geanalyseerd, niet met de chemisch-analytische methode.

***Tabel 24*** *Resultaten van de conventionele analyse van geurmonsters; locatie 3, periode 1.*

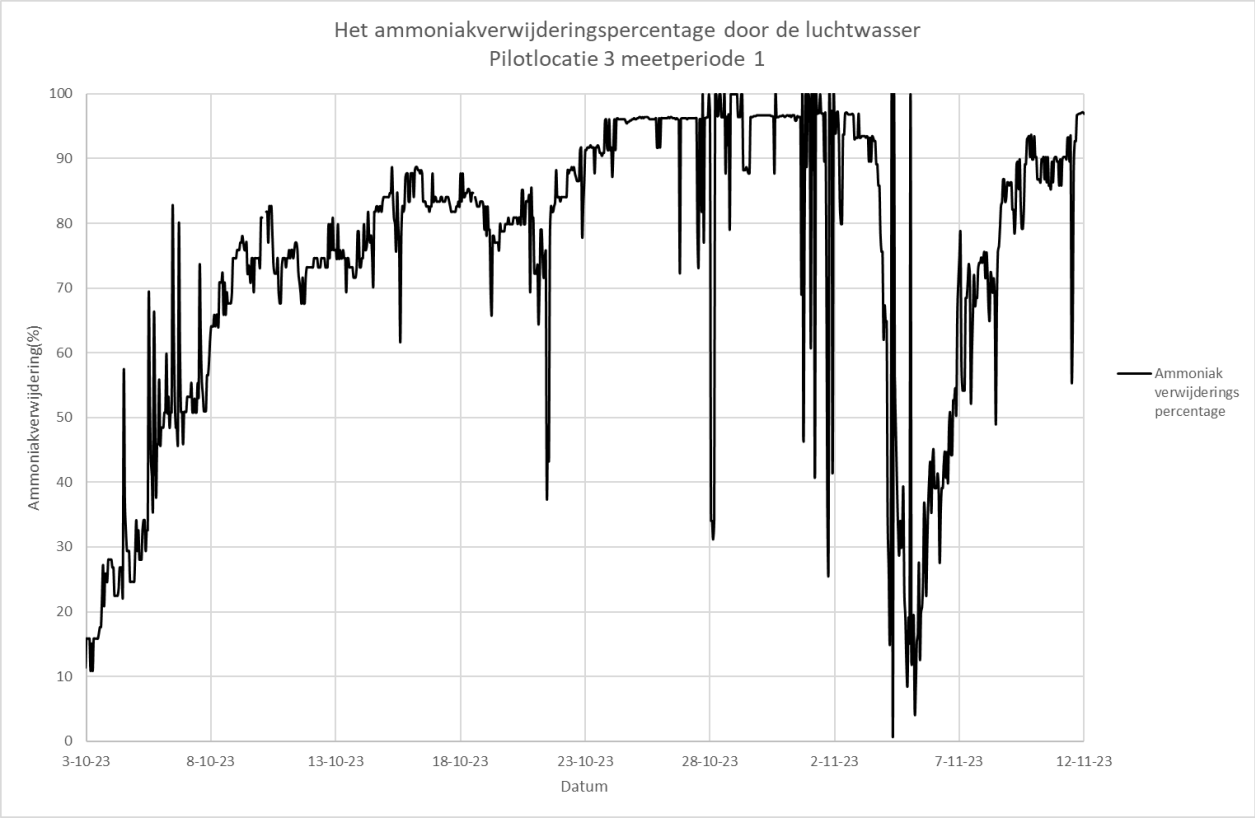
| Aspect | Monster 1 | Monster 2 | Gemiddeld |
|---|---|---|---|
| Ingaande lucht naar luchtwasser | 12558 | 10639 | 11599 |
| Uitgaande lucht uit luchtwasser | 6821 | 8511 | 7666 |
| Gemiddeld verwijderings-rendement geur | | | 34% |




***Figuur 3.46*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 3. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.47*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 3.*




***Figuur 3.48*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 3.*

### 3.3.2 Meetperiode 2

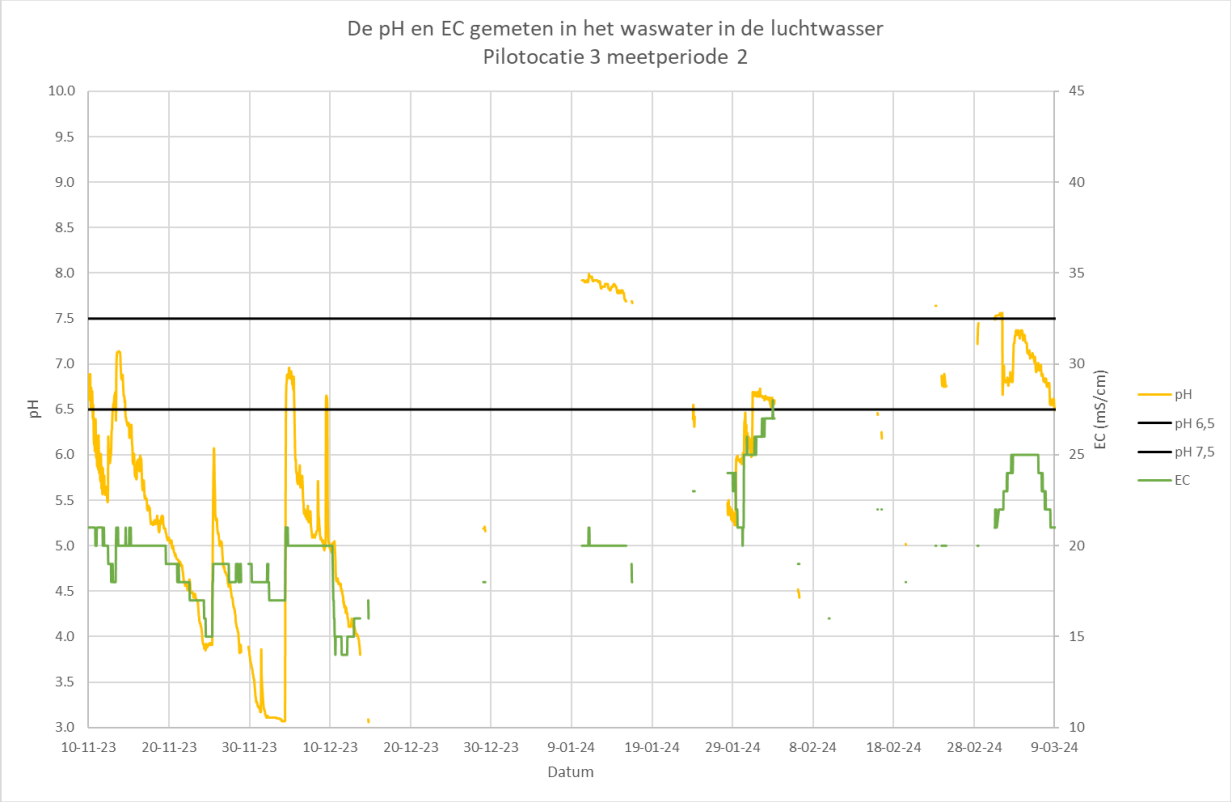
Meetperiode 2 besloeg de periode van halverwege november 2023 tot en met februari 2024. Tijdens meetperiode 2 blijkt er een storing te zitten in de internetverbinding tussen de luchtwasser en het online platform van de luchtwasserleverancier. Hierdoor wordt de data van de luchtwasser - het elektronisch logboek - voor een groot deel van de meetperiode niet opgeslagen. De luchtwasser zelf blijkt geen geheugen of data-opslag te hebben waarop (een kopie van) de gegevens (ook, tijdelijk) worden opgeslagen. Door het missen van het overgrote deel van de data in deze meetperiode zijn geen nieuwe inzichten ontstaan en zijn geen conclusies te trekken na deze meetperiode. Er is wel een verzuring van het waswater zichtbaar aan het einde van periode 2. Dit bevestigt het beeld uit meetperiode 1 dat deze biologische luchtwasser problemen heeft met verzuring. Door het verlies van data is het nog niet mogelijk om een voorstel voor verandering van instellingen te doen.
Voor de geurmetingen zijn luchtmonsters tegen einde van de meetperiode op 29 februari geanalyseerd. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 25 weergegeven.

Observaties:
- Data wordt niet correct online opgeslagen, als gevolg van een slechte internet verbinding naar/met de luchtwasser. De software van de luchtwasser slaat data niet op.
- De pH van het waswater is te laag (pH<6,5), net als in meetperiode 1.
- De geurprofielen van de ingaande lucht werden gedomineerd door hoge OAV waardes van twee zwavelverbindingen ($H_2S$ en methylmercaptaan) terwijl fenolen en vetzuren laag waren. Het verwijderingsrendement voor $H_2S$ was met 93% bovengemiddeld goed volgens de chemisch-analytische methode, voor methylmercaptaan lag het bij 30% (Tabel 25). Het gemiddelde verwijderingsrendement voor alle geurstoffen lag bij 87% (chemisch-analytisch). Omdat er geen ammoniak gegevens van de sensoren op de analyse dag beschikbaar waren zijn de concentraties uit de referentie-metingen gebruikt.
- Bij de sensorische metingen is een grote spreiding te zien tussen de duploresultaten van de uitgaande lucht. Het resultaat van de ene uitgaande geurmonster is ongeveer twee keer hoger lag dan de gemiddelde concentratie van de ingaande lucht. Hierdoor kwam het gemiddelde rendement volgens de sensorische

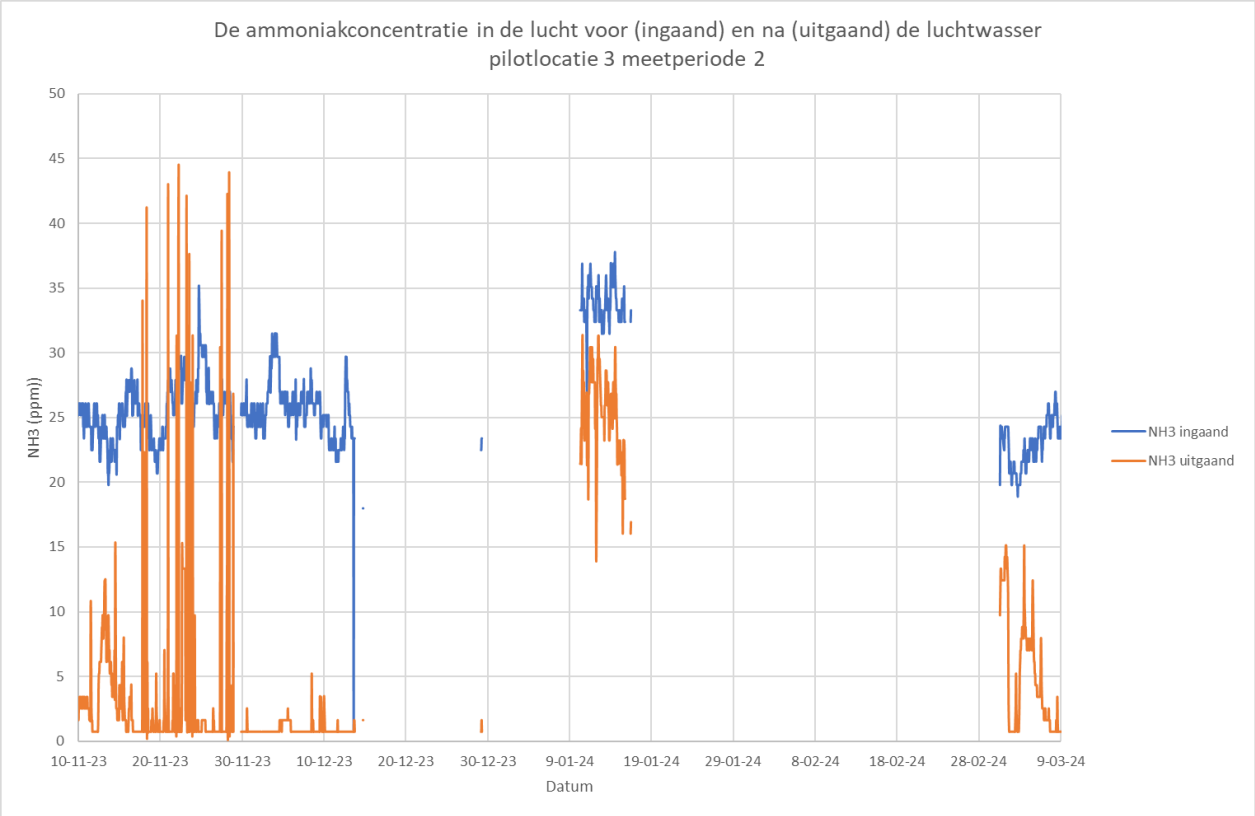
methode uit op -42% terwijl dit 24% bedroeg wanneer de hoge waarneming buiten beschouwing werd gelaten.

Maatregelen voorstel:

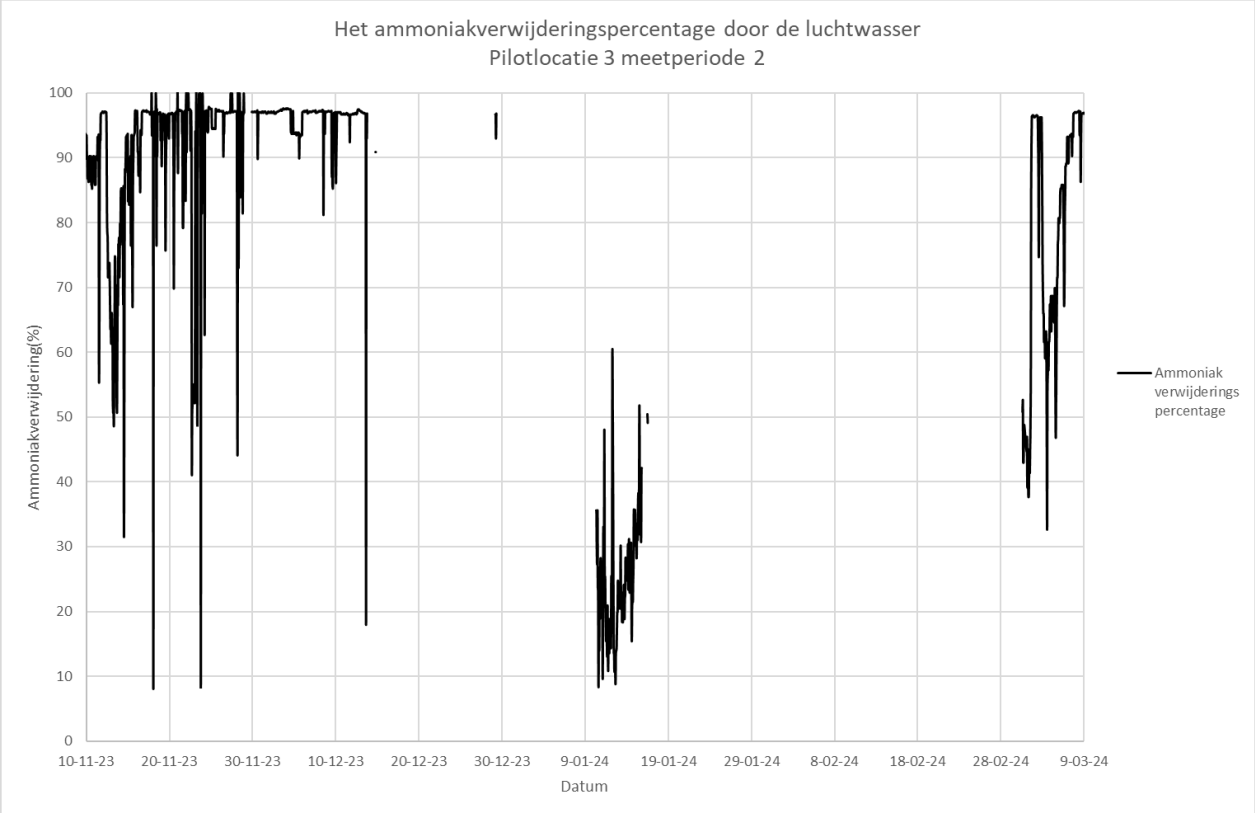
- Verbeteren van internetverbinding met de luchtwasser voor betere datalogging.




***Figuur 3.49*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 3. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.50*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 3.*




***Figuur 3.51*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 3.*

***Tabel 25*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 3. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

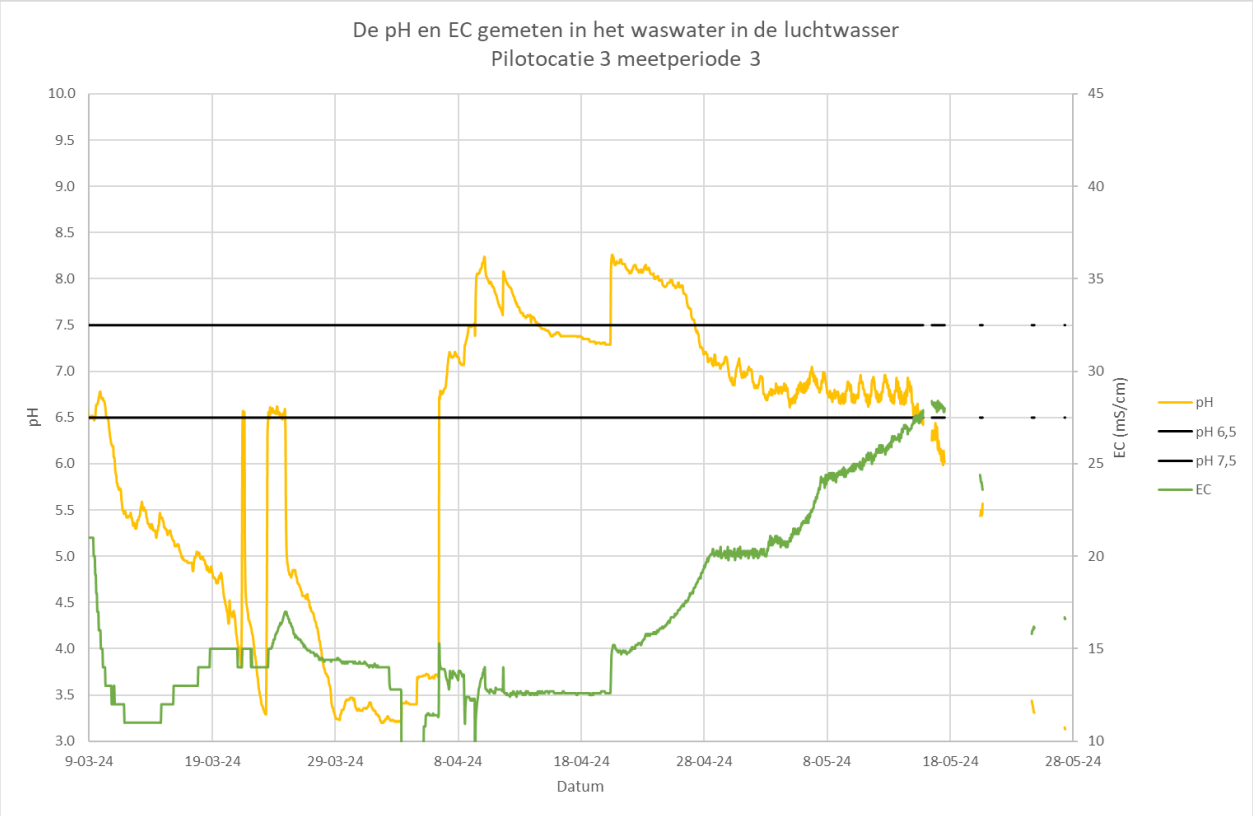
| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 042 | | | 180 | | | 176 | | | 211 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 20.5 | 3.1 | 15.1 | 15.4 | 3.6 | 23.4 | 5.1 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 69% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 21.0 | 15.8 | 75.3 | 2.4 | 0.9 | 37.7 | 3.8 | 1.5 | 39.9 | 4.0 | 1.8 | 45.7 | 67% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.2 | 0.1 | 41.6 | 0.1 | 0.0 | 41.0 | 0.1 | 0.0 | 26.4 | 0.1 | 0.0 | 50.0 | 31% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 1.7 | 0.7 | 40.6 | 0.8 | 0.2 | 22.8 | 3.5 | 2.0 | 57.9 | 0.6 | 0.2 | 40.2 | *-64%* |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.5 | 0.4 | 72.6 | 0.4 | 0.0 | 7.5 | 0.3 | 0.0 | 12.5 | 0.2 | 0.1 | 48.5 | 48% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 50.0 | 0.0 | 0.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | 32.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 22.7 | 0.0 | 0.0 | 20.1 | 0.0 | 0.0 | 43.9 | 50% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 62.6 | 3.4 | 5.5 | 69.7 | 2.6 | 3.7 | NK | NK | NK | 1.7 | 0.3 | 18.0 | 97% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | 0.4 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 5.2 | 0.8 | 16.1 | 4.1 | 0.3 | 7.7 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 8326.7 | 86.5 | 1.0 | 8133.1 | 234.5 | 2.9 | 532.1 | 10.1 | 1.9 | 683.3 | 6.3 | 0.9 | 93% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 801.3 | 12.6 | 1.6 | 795.8 | 20.3 | 2.6 | 538.1 | 12.0 | 2.2 | 586.8 | 8.7 | 1.5 | 30% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.8 | 0.0 | 4.8 | 0.9 | 0.0 | 3.9 | 1.1 | 0.0 | 2.7 | 1.1 | 0.0 | 2.0 | *-25%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 6.0 | | | 6.0 | | | 4.2 | | | 4.2 | | | 30% |
| | SumOAV | **9246** | | **27.29** | **9029** | | **15.45** | **1088** | | **19.58** | **1288** | | **22.80** | **87%** |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | **9012** | | | **9105** | | | **6824** | | | **18971** | | | ***-42%*** |

### 3.3.3 Meetperiode 3

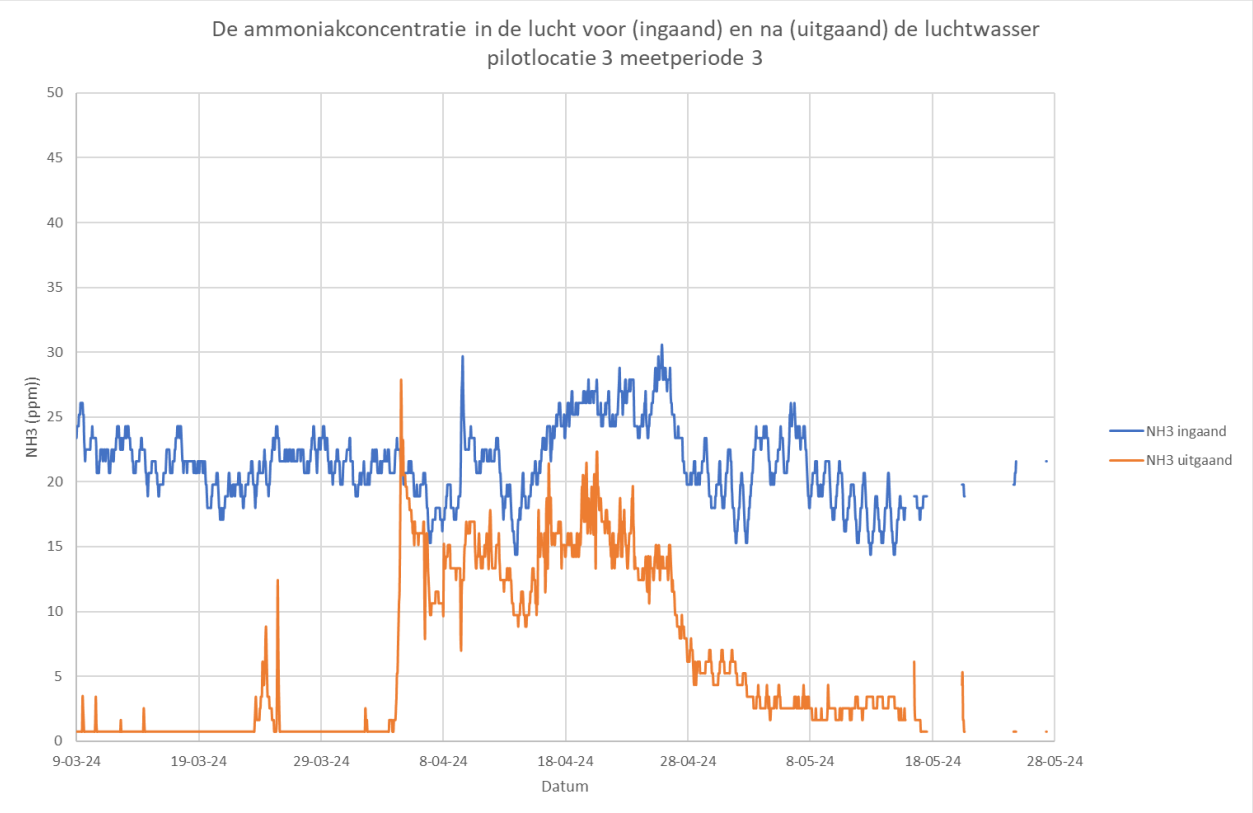
Meetperiode 3 besloeg de periode van maart 2024 tot en met mei 2024. De datalogging is verbeterd in meetperiode 3 na onderhoud begin april. Doordat de luchtwasser eind maart/begin april heeft uitgestaan, is de pH in april te hoog (boven de 7,5). Tijdens deze periode is de ammoniakverwijdering van de luchtwasser tussen de 20 en 40%. Na een daling in pH op 28 april stabiliseert de pH rond de 6,7. In de periode waarin de pH 6,7 is, neemt de ammoniakverwijdering toe naar 80% tot 90%. Dit benadrukt het belang van de pH bovengrens (pH 7,5) bij een biologische luchtwasser. Bij een hogere pH is de oplosbaarheid van ammoniak in waterlaag, met een slechte ammoniakverwijdering als gevolg. Vanaf 28 april nam de cumulatieve spui-afvoer consistent toe, echter de EC-waarde in Figuur 3.52 neemt ook toe tot boven de 20 mS/cm die als grenswaarde wordt aangehouden voor de EC. De totale hoeveelheid spuiwater die afgevoerd kan worden per spuimoment en de spui-frequentie zijn gelimiteerd waardoor de EC te hoog kan oplopen. Mogelijk dat de verzuring in mei het gevolg is van een te hoge nitrificatie-snelheid en een te lage toevoer van schoon water, veroorzaakt door deze gelimiteerde afvoer van spuiwater.
Voor de geurmetingen zijn luchtmonsters tegen einde van de meetperiode op 22 mei geanalyseerd. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 26 weergegeven. Van de dag waarop de luchtmonsters zijn verzameld, zijn geen pH- en EC-waarden beschikbaar. De dagen ervoor was verzuring van de luchtwasser zichtbaar (pH rond 6) terwijl de EC steeg. Het is dus onduidelijk in hoeverre deze situatie invloed gehad heeft op de geurprofielen.

Observaties:
- De bovengrens van de pH-bandbreedte is 7,5 - deze is erg belangrijk is voor een goede ammoniakverwijdering. Vanaf een pH-waarde van 7,5 is de ammoniakverwijderingsefficiëntie laag.
- De verzuring in mei is mogelijk het gevolg van een te lage capaciteit van spui-afvoer, waardoor ook de toevoer schoon water te laag is om de pH binnen de bandbreedte te houden.
- De geurconcentraties in de ingaande lucht waren volgens de chemisch analytische methode lager dan in meetperiode 2 (Tabel 26). De geurcompositie was ook anders vergeleken met periode 2 door een hogere bijdrage aan bepaalde vetzuren (boterzuur) en fenolen (p-cresol). Het verwijderingsrendement voor $H_2S$ was 30% en duidelijk minder dan in periode 2. Het gemiddelde rendement voor alle geurstoffen lag dan op 33% volgens de chemisch- methode; met 70% verwijdering geeft de sensorische methode en aanzienlijk hoger rendement aan. Omdat meetgegevens van ammoniaksensoren op de analyse dag niet beschikbaar waren, zijn de concentraties uit de referentiemetingen gebruikt.

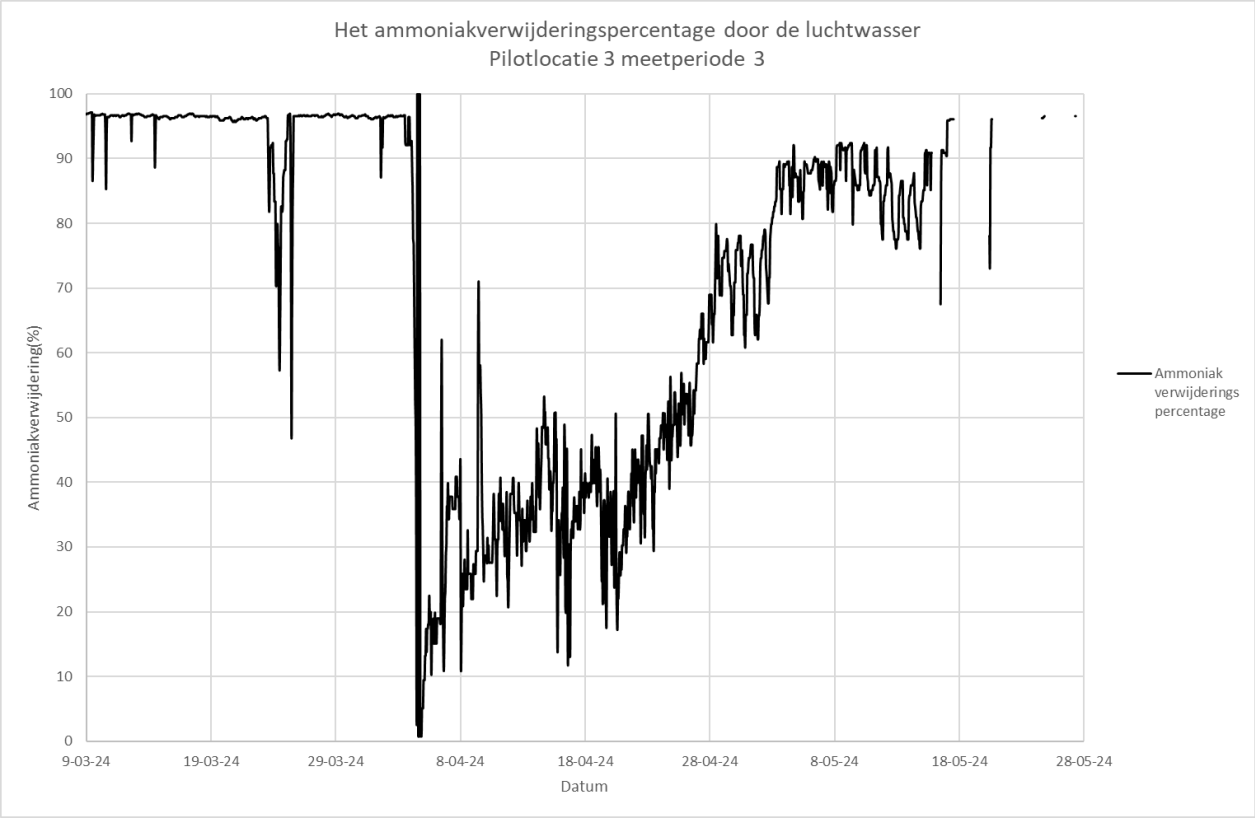
Maatregelen voorstel:
- Instellingen voor spui aanpassen door het begrenzing op hoeveelheid spuimomenten of hoeveelheid spui te verwijderen.




***Figuur 3.52*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 3. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.53*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 3.*




***Figuur 3.54*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 3.*

***Tabel 26*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 3. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

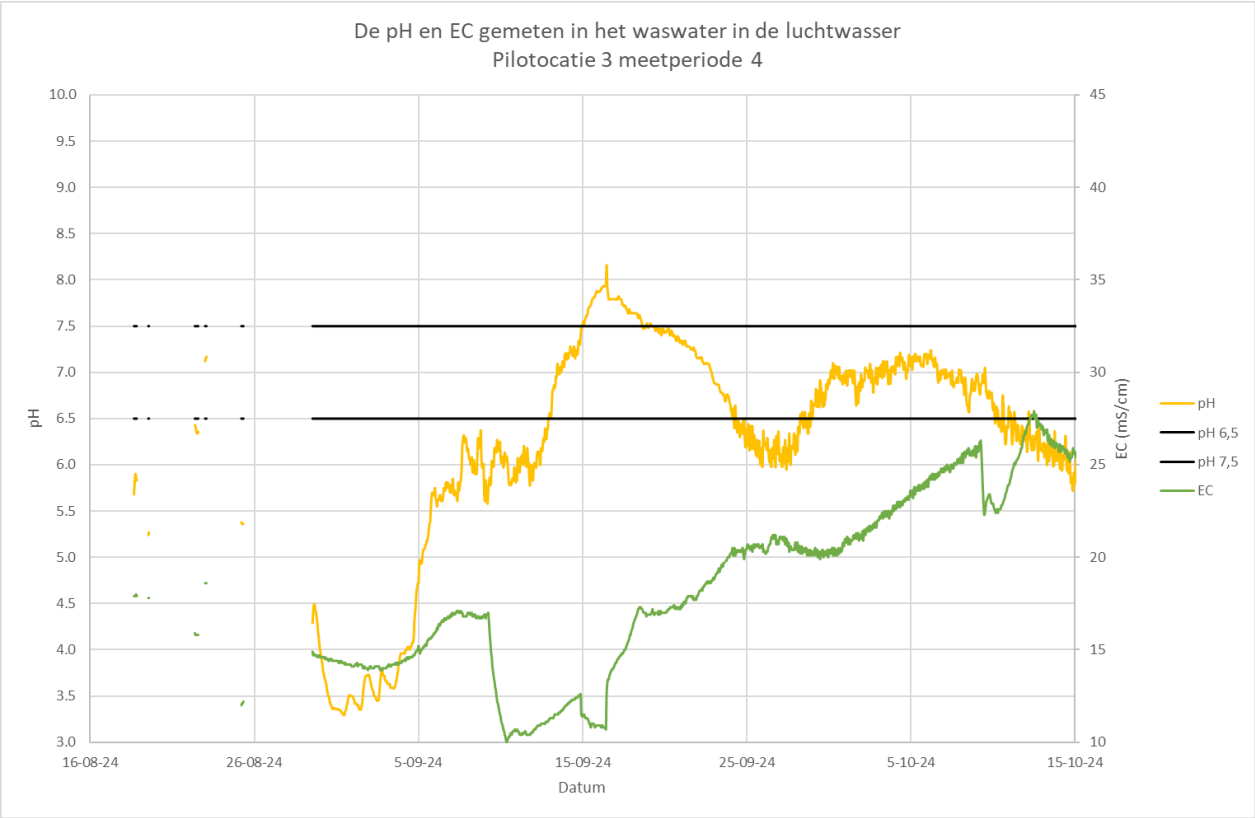
| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 014 | | | 098 | | | 271 | | | 074 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 3.6 | 0.2 | 6.4 | 3.8 | 0.8 | 20.5 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 26.5 | 1.4 | 5.2 | 24.7 | 0.8 | 3.4 | 12.1 | 1.1 | 9.5 | 12.2 | 2.6 | 21.1 | 53% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 2.8 | 0.3 | 9.6 | 2.5 | 0.4 | 17.4 | 0.2 | 0.0 | 3.3 | 0.3 | 0.1 | 18.4 | 91% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 165.6 | 15.0 | 9.1 | 163.6 | 11.7 | 7.2 | 7.4 | 0.9 | 12.5 | 6.3 | 1.2 | 18.7 | 96% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 1.9 | 0.4 | 18.4 | 1.5 | 0.6 | 37.5 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 28.7 | 1.4 | 4.8 | 24.7 | 1.9 | 7.8 | 1.6 | 0.4 | 25.0 | 1.3 | 0.6 | 45.4 | 94% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 28.5 | 0.0 | 0.0 | 10.8 | 0.0 | 0.0 | 45.8 | 0.0 | 0.0 | 87.7 | 43% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 29.0 | 0.0 | 0.0 | 20.3 | 0.0 | 0.0 | 58.9 | 0.0 | 0.0 | 9.8 | 0% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 131.2 | 44.7 | 34.1 | 124.9 | 23.7 | 19.0 | 7.0 | 3.7 | 52.9 | 4.3 | 0.9 | 19.7 | 96% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.6 | 0.2 | 36.7 | 0.7 | 0.2 | 28.7 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | 43% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 18.1 | 10.3 | 57.1 | 14.7 | 5.7 | 38.9 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 5446.6 | 155.5 | 2.9 | 5320.2 | 155.5 | 2.9 | 3780.6 | 128.1 | 3.4 | 3786.5 | 80.3 | 2.1 | 30% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 452.9 | 39.6 | 8.7 | 407.1 | 10.8 | 2.6 | 323.8 | 4.9 | 1.5 | 333.3 | 28.7 | 8.6 | 24% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.2 | 0.7 | 61.1 | 1.0 | 0.4 | 39.4 | 0.8 | 0.2 | 25.2 | 1.2 | 0.8 | 65.2 | 8% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 4.50 | | | 4.50 | | | 0.30 | | | 0.30 | | | 93% |
| | SumOAV | 6284 | | 20.8 | 6094 | | 17.1 | 4134 | | 21.6 | 4146 | | 29.7 | 33% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 5165 | | | 5773 | | | 1837 | | | 1467 | | | 70% |

### 3.3.4 Meetperiode 4

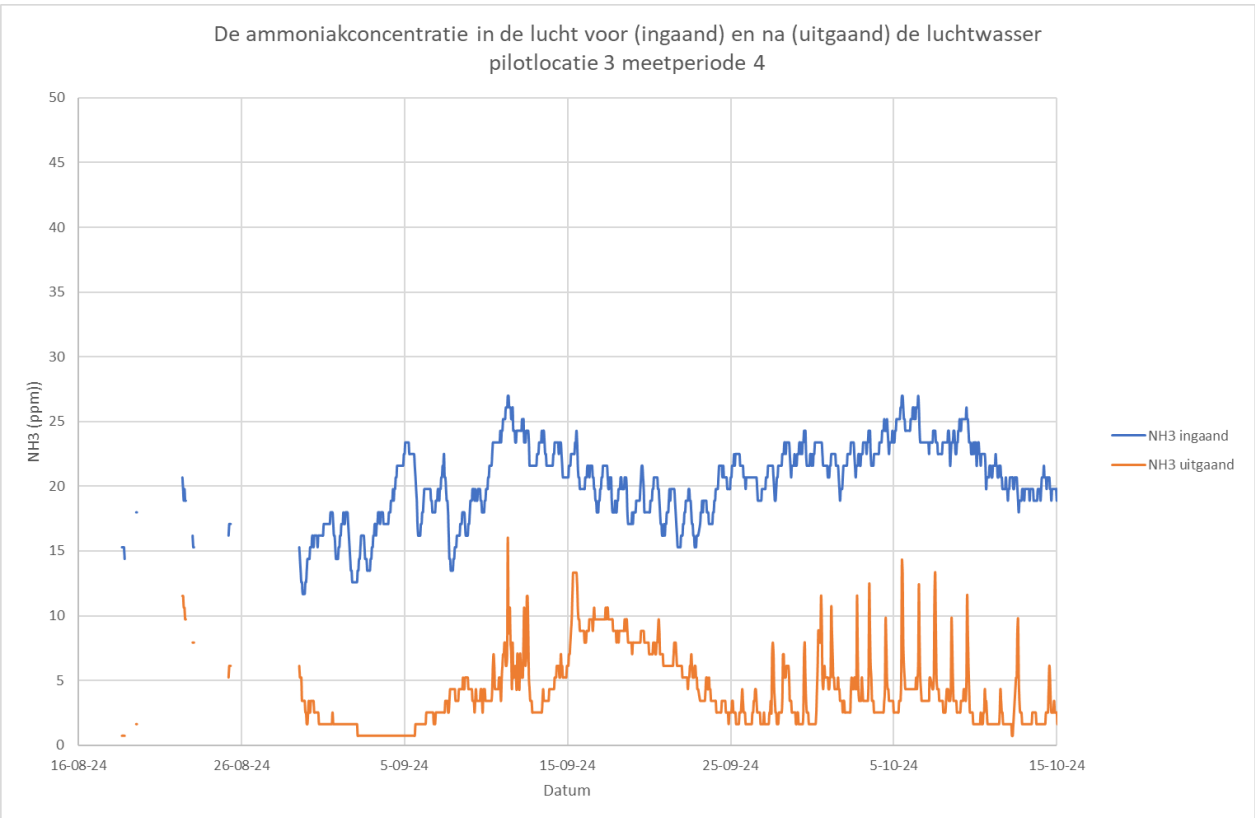
Meetperiode 4 besloeg de periode van mei 2024 tot en met oktober 2024. Van mei tot en met augustus is maar sporadisch data opgeslagen. Hierdoor was analyse data en beoordeling van de werking van de luchtwasser deze periode niet mogelijk. De veehouder heeft tijdens meetperiode 4 aangegeven te gaan stoppen met het bedrijf waar de metingen worden uitgevoerd. Er zullen daarom geen maatregelen meer plaatsvinden die investeringen vragen. De maatregel om de hoeveelheid spuiwater per spuimoment op te hogen is niet meer doorgevoerd. Meetperiode 4 laat hetzelfde zien als meetperiode 3. De pH is tijdelijk stabiel rond de 7, echter de hoeveelheid spuiwaterafvoer over tijd is ingesteld met een zeker plafond waardoor de EC-waarde kan oplopen boven de 20 mS/cm. Vervolgens begint het waswater vlak voor het einde van de meetperiode te verzuren. Tijdens meetperiode 4 is de ventilatiedata beschikbaar gekomen en is vastgesteld dat de verzuring niet het gevolg is van een veranderend ammoniakaanbod. Het is waarschijnlijk dat de huidige instellingen voor spuiafvoer en inname van schoon water niet juist zijn om het gevormde zuur uit het nitrificatieproces af te voeren en zo de pH te stabiliseren.
Binnen deze meetperiode zijn geurmetingen op 12 augustus en op 16 oktober verricht. De resultaten van beide geurmethodes zijn in Tabel 27 (12 augustus) en Tabel 28 (16 oktober) weergegeven. Tijdens de bemonstering in augustus waren geen pH en EC gegevens beschikbaar en in oktober lag de pH aan de lage kant, ongeveer pH 6.

Observaties:

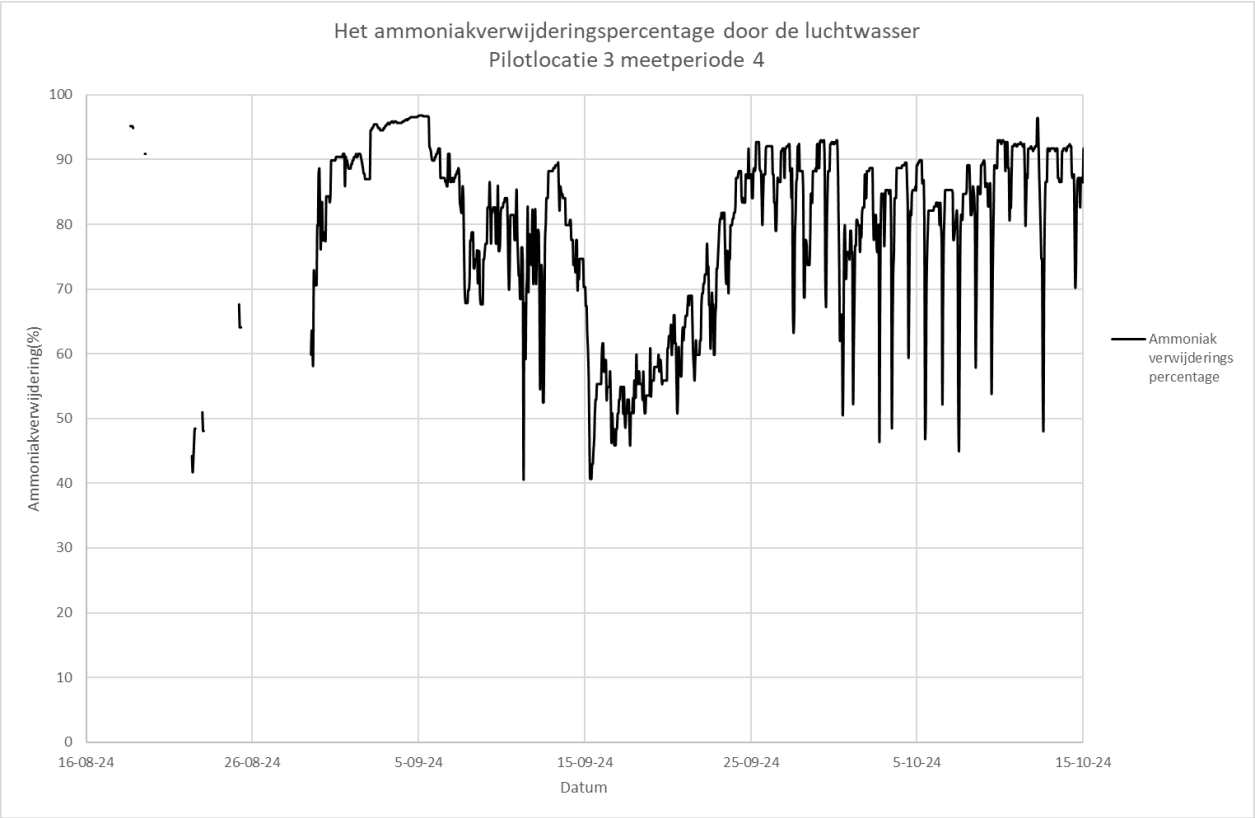
- Verzuring aan het einde van de meetperiode was niet het gevolg van verandering in aanbod van ammoniak. Waarschijnlijk was dit het gevolg van te lage spuiwaterafvoer en als gevolg daarvan te weinig schoon water toevoer om de verzuring te neutraliseren met schoon water.
- De geurconcentratie en geurpatronen van de ingaande lucht waren in augustus volgens de chemisch analytische methode redelijk vergelijkbaar met die van meetperiode 3 (Tabel 27).
- Het verwijderingsrendement voor $H_2S$ en methylmercaptaan was in augustus met 30% en 17% vergelijkbaar met de eerdere periode. Het gemiddelde rendement voor alle geurstoffen was 39% volgens de chemisch-analytische methode en met 60% hoger bij de sensorische methode, waarbij bij deze laatste methode een aanzienlijke variatie tussen de duplomonsters van de ingaande lucht liet zien.
- De geurprofielen van oktober bevatten minder vetzuren en fenolen dan de vorige 2 perioden en verhoudingsgewijs daardoor meer zwavelcomponenten terwijl de totale geurconcentratie volgens de chemisch-analytische methode vergelijkbaar was (Tabel 28). Het totaal rendement was daardoor ook lager dan eerder.
- De geurconcentraties gemeten met de sensorische methode waren duidelijk hoger dan in eerdere periodes waarbij het berekende rendement bij deze methode stabiel was.



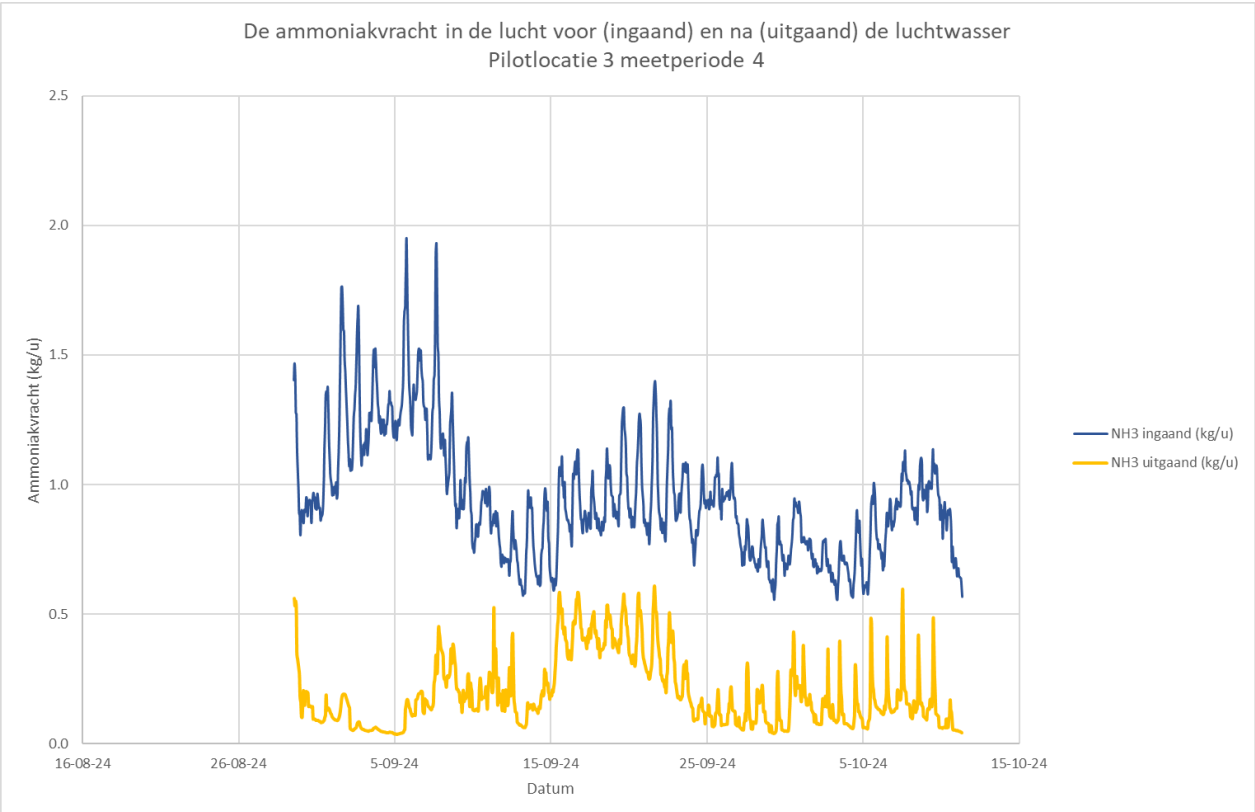

***Figuur 3.55*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 3. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.56*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 3.*




***Figuur 3.57*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 3.*




***Figuur 3.58*** *Berekenden ammoniakvrachten ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 3. Vrachten zijn berekend aan de hand van de gemeten ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten ingeschat aan de hand van de ventilatiefrequentie van de ventilatoren waarop de luchtwasser is aangesloten.*

***Tabel 27*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 4 (augustus) op locatie 3. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 280 | | | 092 | | | 292 | | | 099 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 5.6 | 0.6 | 11.1 | 5.5 | 0.3 | 5.8 | 5.5 | 0.7 | 11.9 | 6.3 | 0.4 | 5.6 | *-7%* |
| 64-19-7 | Acetic acid | 64.4 | 0.6 | 0.9 | 75.1 | 4.2 | 5.6 | 21.4 | 7.2 | 33.5 | 36.0 | 5.9 | 16.3 | 59% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 9.0 | 0.5 | 5.4 | 8.7 | 0.1 | 1.0 | 1.1 | 0.3 | 30.0 | 2.7 | 0.5 | 16.4 | 79% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 0.8 | 0.0 | 5.3 | 0.8 | 0.1 | 12.8 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 357.6 | 13.3 | 3.7 | 349.6 | 18.5 | 5.3 | 22.0 | 0.7 | 3.1 | 53.9 | 4.3 | 8.0 | 89% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 143.5 | 4.2 | 2.9 | 146.8 | 11.2 | 7.6 | 4.7 | 0.2 | 3.6 | 11.8 | 1.0 | 8.4 | 94% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 50.9 | 1.5 | 3.0 | 54.8 | 4.3 | 7.8 | 1.6 | 0.1 | 7.8 | 4.2 | 0.5 | 11.3 | 95% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.1 | 0.0 | 2.5 | 0.1 | 0.0 | 23.5 | 0.0 | 0.0 | 33.2 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 91% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.0 | 6.0 | 0.1 | 0.0 | 5.4 | 0.0 | 0.0 | 17.1 | 0.0 | 0.0 | 31.4 | 79% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 269.6 | 13.4 | 5.0 | 351.9 | 20.5 | 5.8 | 14.0 | 1.4 | 10.0 | 34.0 | 0.4 | 1.1 | 92% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 7.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 7.2 | 1.6 | 21.7 | 10.0 | 1.1 | 11.1 | NK | NK | NK | 1.3 | 0.4 | 30.2 | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 4267.9 | 98.0 | 2.3 | 4328.1 | 97.0 | 2.2 | 2937.7 | 96.5 | 3.3 | 3030.0 | 31.6 | 1.0 | 31% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 430.0 | 50.9 | 11.8 | 434.1 | 63.4 | 14.6 | 355.3 | 22.0 | 6.2 | 366.1 | 14.6 | 4.0 | 17% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.0 | 0.7 | 72.4 | 1.0 | 0.7 | 75.8 | 0.7 | 0.4 | 56.3 | 0.7 | 0.2 | 31.5 | 30% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 2.80 | | | 2.80 | | | 2.00 | | | 2.00 | | | 29% |
| | SumOAV | 5608 | | 10 | 5767 | | 13 | 3364 | | 18 | 3547 | | 13 | 39% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 5614 | | | 10927 | | | 2868 | | | 3682 | | | 60% |

***Tabel 28*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 4 (16 oktober) op locatie 3. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 221 | | | 290 | | | 190 | | | 251 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 15.4 | 1.9 | 12.3 | 16.8 | 1.0 | 6.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 3.0 | 0.4 | 14.3 | 1.5 | 0.5 | 32.9 | 6.3 | 2.1 | 33.0 | 13.5 | 1.5 | 11.1 | *-334%* |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.1 | 0.0 | 17.0 | 0.1 | 0.0 | 41.3 | 0.2 | 0.1 | 51.3 | 0.4 | 0.2 | 47.2 | *-293%* |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.8 | 0.4 | 47.2 | 0.5 | 0.1 | 26.5 | 2.0 | 0.8 | 38.4 | 4.7 | 1.5 | 32.7 | *-414%* |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.1 | 0.0 | 26.2 | 0.1 | 0.0 | 28.2 | 0.2 | 0.0 | 6.1 | 0.3 | 0.0 | 0.8 | *-219%* |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 5.5 | 0.0 | 0.0 | 9.9 | 0.0 | 0.0 | 7.7 | 75% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 125.0 | 15.3 | 12.3 | 126.2 | 4.1 | 3.3 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.3 | 0.1 | 36.4 | 0.4 | 0.0 | 9.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 3.9 | 1.5 | 38.9 | 5.4 | 0.6 | 11.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 6701.7 | 24.3 | 0.4 | 6421.6 | 58.6 | 0.9 | 5549.1 | 14.3 | 0.3 | 5043.0 | 50.7 | 1.0 | 19% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 537.8 | 3.1 | 0.6 | 523.1 | 10.2 | 2.0 | 426.8 | 3.7 | 0.9 | 397.0 | 11.5 | 2.9 | 22% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.5 | 0.0 | 7.7 | 0.5 | 0.1 | 10.5 | 0.5 | 0.1 | 14.2 | 0.5 | 0.0 | 9.6 | 7% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 7.6 | 0.2 | 2.2 | 7.6 | 0.2 | 2.2 | 0.4 | 0.2 | 40.0 | 0.4 | 0.2 | 40.0 | 95% |
| | SumOAV | 7396 | | 17.08 | 7104 | | 13.81 | 5985 | | 21.57 | 5460 | | 16.99 | 21% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 12158 | | | 12153 | | | 5163 | | | 4603 | | | 60% |

### 3.3.5 Integrale observaties en analyse - Locatie 3

#### 3.3.5.1 Ammoniakverwijdering

Bij deze luchtwasser is vastgesteld dat verzuring herhaaldelijk plaats vond. Dit is mogelijk het gevolg van instellingen in de luchtwasser waardoor sprake was van een ingeregeld plafond in spuiwaterafvoer. Hierdoor neemt de EC-waarde toe tot boven de 20 mS/cm. Het is dan aannemelijk dat de hoeveelheid gevormd zuur door nitrificatie groter is dan de hoeveelheid die met spuien wordt afgevoerd en gecompenseerd met schoon water. Bij het wegnemen van het spuiplafond in de instellingen en het toevoegen van meer schoon water zal het systeem waarschijnlijk beter in staat zijn de pH reguleren. Door het ontbreken van veel meetdata is dat niet bevestigd op deze meetlocatie.
Vanwege het ontbreken van veel data is voor deze locatie geen tabel gemaakt met 'Overzicht van de gemeten waardes per meetperiode' zoals voor andere locaties (bijv. Tabel 22)

#### 3.3.5.2 Geurresultaten

De geurconcentraties en verwijderingsrendementen varieerden sterk gedurende het jaar. De belangrijkste resterende geurstoffen waren $H_2S$ en methylmercaptaan. In meetperiode 4 zijn hogere concentraties aan vetzuren gedetecteerd dan in andere perioden. Mogelijkerwijs is de variatie in geurconcentratie en -samenstelling terug te leiden op een wisselende samenstelling van het brijvoer; hierover is echter geen detailinformatie beschikbaar.
Het rendement is voor de meeste stoffen bij hogere geurconcentraties over het algemeen goed met uitzondering van zwavelcomponenten (methylmercaptaan, dimethylsulfide en waterstofsulfide). Deze worden matig verwijderd en de resterende hoeveelheden blijven vaak nog boven de geurdrempel in de uitgaande lucht. Alle drie componenten zijn slecht oplosbaar in water, maar $H_2S$ kan bij hogere pH (boven de 7) wel gedeeltelijk oplossen. Voor een lage geuremissie zijn maatregelen nodig om de vorming van deze componenten te verminderen bijvoorbeeld door aanpassingen aan de voersamenstelling of stalmanagement. Andere groepen van geurstoffen (vetzuren en fenolen/indolen) lijken over het algemeen goed te verwijderen.

Het verwijderingsrendement voor geur gedurende alle metingen wisselt sterk; van lage (24-34%) verwijdering tot hogere (60-70%) verwijdering. Door het missen van ventilatiedata ten tijde van de geurmetingen is het lastig in te schatten hoe groot de geurvracht in totaal was en kan niet beoordeeld worden of de waargenomen variatie in rendement samenhangt met variatie in geurvracht. Er lijkt geen samenhang tussen pH en geurverwijdering te zijn. Dit is tegenstrijdig met de gedachte dat $H_2S$ bij hogere pH (boven de 7) gedeeltelijk nog kan oplossen in water waardoor geurverwijderingsrendement bij hogere pH beter zou moeten zijn.
De twee geuranalysemethodes komen bij pilot 3 telkens op verschillende verwijderingsrendementen uit. Volgens de conventionele methode behaalde de luchtwasser op 3 van de 5 meetmomenten een rendement van 45% geurverwijdering terwijl dit bij de chemisch analytische methode maar op 1 van de 4 meetmomenten het geval was.

***Tabel 29*** *Geurresultaten conventioneel (panel) + chemisch-analytisch, uitgevoerd op een monster verkregen uit de ingaande en uitgaande luchtstroom uit de luchtwasser op locatie 3. Ventilatievracht van de ingaande lucht en de pH van het waswater in de luchtwasser op het moment van monstername zijn ook weergeven.*

| **Datum** | **15 nov 2023 (periode 1)** | **29 feb 2024 (periode 2)** | **22 mei 2024 (periode 3)** | **12 aug 2024 (periode 4)** | **16 okt 2024 (periode 5)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Ventilatievracht ($m^3$/u) | Niet bekend | Niet bekend | | | |
| pH | 6 | 7.5 | 3.5 - 5 | 6.1 - 7 | 6? |
| | | | | | |
| **Conventionele methode** | | | | | |
| Ingaand conc geur ($OU_E/m^3$) | 11599 | 9059 | 5469 | 8270.5 | 12155 |
| Uitgaand conc geur ($OU_E/m^3$) | 7666 | 6842 | 1652 | 3275 | 4683 |
| Verwijderings-rendement geur (%) | 34% | 24%* | 70% | 60% | 61% |
| | | | | | |
| **Chemisch analytische methode** | | | | | |
| Ingaand conc geur (SumOAV) | n.b. | 9138 | 6189 | 5687 | 7242 |
| Uitgaand conc geur (SumOAV) | n.b. | 1188 | 4140 | 3455 | 5722 |
| Verwijderings-rendement geur (%) | n.v.t. | 87% | 33% | 39% | 21% |

**Berekening gebaseerd op slechts 1 monster in de uitgaande lucht vanwege een als onrealistisch beoordeeld resultaat uit het duplo monster.*

#### 3.3.5.3 Deelconclusie

Uit de metingen en analyses zijn de volgende conclusies te trekken:

- Verzuring van het waswater kan optreden als de afvoer van spuiwater is gelimiteerd in de tijd. Een te hoge EC-waarde (boven 20 mS/cm) is een sterke indicatie voor de aanwezigheid van zo'n limiet in de instellingen van de wasser.
- Voor een goede analyse van de werking van de wasser is inzicht in het verloop van parameters in de tijd nodig. Naast opslag van data in een online portal is lokale opslag in/bij de luchtwasser gewenst om data opslag te borgen.
- De geursamenstelling was tijdens de meetperiode variabel met zwavelcomponenten als meest dominante geurcomponenten.
- Het verwijderingsrendement voor geur laat een wisselt beeld zien; van lage (24-34%) verwijdering tot hogere (60-70%) verwijdering. Bij een hogere pH werd een betere verwijdering van $H_2S$ verwacht, dit is echter niet waargenomen.

## 3.4 Meetresultaten en maatregelen per periode - Locatie 4

### 3.4.1 Meetperiode 1

Meetperiode 1 (nulmeting) besloeg de periode van september 2023 tot en met december 2023. Bij beoordeling van de luchtwasser bleek dat een nieuwe besturingkast nodig was om datalogging van ammoniaksensoren mogelijk te maken. Deze is op 23 november 2023 geïnstalleerd. De oude besturingskast en -software was niet voorzien van een mogelijkheid om relatief eenvoudig data te exporteren. De data uit het elektronisch logboek deze periode is afkomstig van een achteraf uitgelezen sd-kaart. In deze periode is slechts een korte periode van ongeveer 1 maand de ammoniakconcentratie gemeten met behulp van een externe data logger (Figuur 3.60). In de geleidbaarheid is grote variatie te zien (Figuur 3.59) in de periode van september 2023 tot november 2023. De EC-waarde kent zowel uitschieters naar beneden tot een niveau van 5 mS/cm, als ook uitschieters tot boven de 20 mS/cm. De pH-waarden fluctueren eveneens, met periodes binnen de voorgeschreven bandbreedte van pH 6,5 – 7,5, en periodes waarbij de pH te laag (pH<6,5) of te hoog (pH>7,5) was. De hogere pH van begin oktober lijkt geen invloed gehad te hebben op de ammoniakverwijdering, tijdens de korte periode waarin ammoniakconcentraties zijn gemeten was de gemiddelde ammoniakverwijdering >95%.

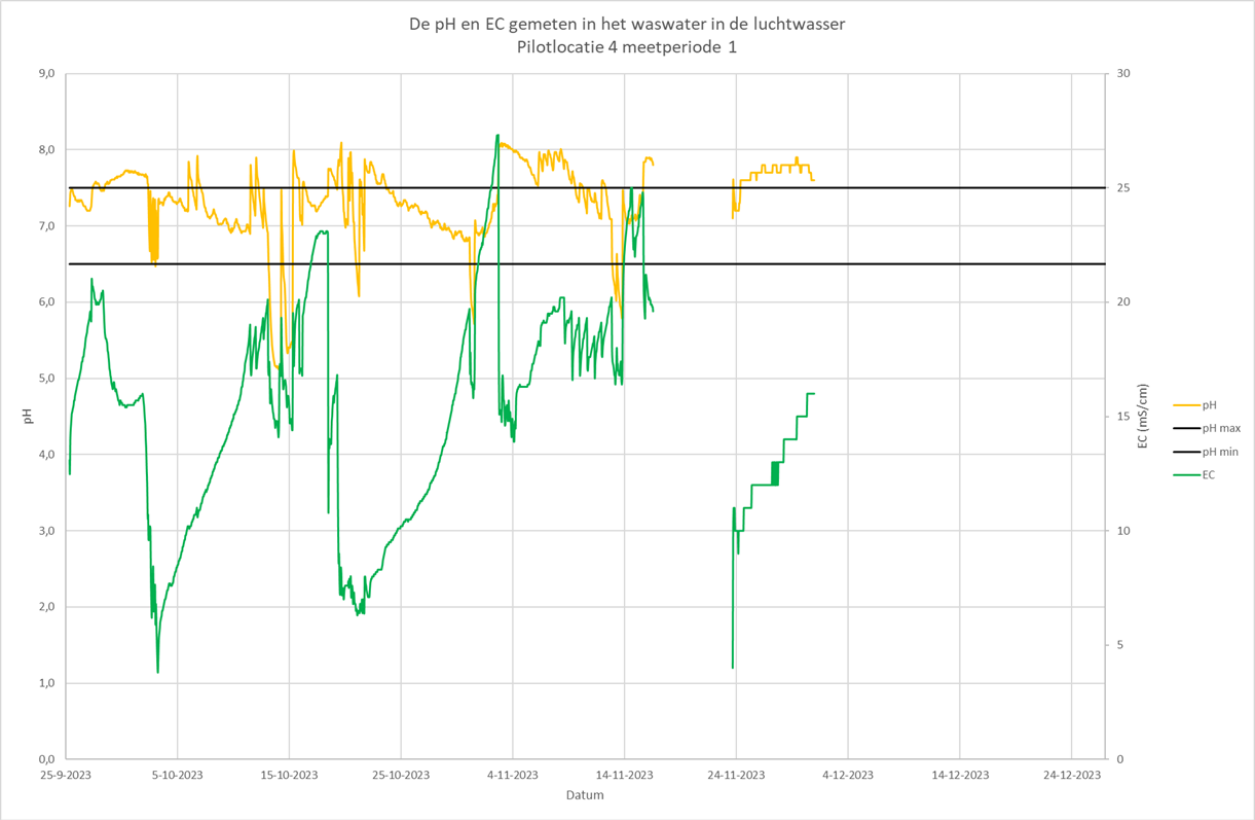
Na installatie van de nieuwe besturingkast van de luchtwasser, werd kortstondig data geregistreerd in de periode na ingebruikname. Hierna volgt een periode van data-uitval. Deze periode duurt tot medio januari 2024, en strekte dus tot in meetperiode 2. Tijdens meetperiode 1 zijn voornamelijk technische punten verholpen, zoals vervanging van de vlotters in de waswaterput en het updaten van de software. Door de grote variatie in EC- en pH-waardes en afwezigheid van ammoniakgegevens is daarom geen voorstel voor maatregelen gedaan in deze periode.

In deze meetperiode zijn de geurmonsters (okt 2023) alleen met de conventionele methode geanalyseerd, niet met de chemisch-analytische methode. De resultaten zijn in Tabel 30 weergegeven.

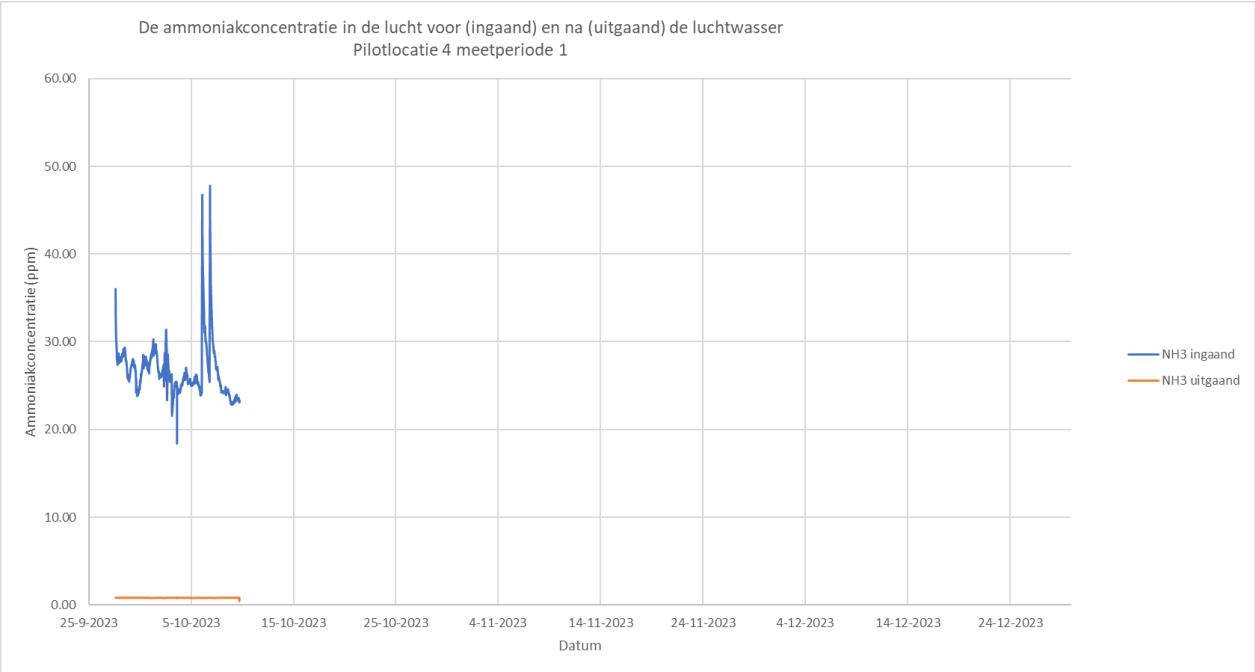
***Tabel 30*** *Resultaten van de conventionele analyse van geurmonsters; locatie 4, periode 1.*

| Aspect | Monster 1 | Monster 2 | Gemiddeld |
|---|---|---|---|
| Ingaande lucht naar luchtwasser | 14043 | 16578 | 16311 |
| Uitgaande lucht uit luchtwasser | 5157 | 8996 | 7077 |
| Gemiddeld verwijderings-rendement geur | | | 54% |

Voor het inschatten van ventilatiedebiet op deze locatie is de frequentieregeling van het vermogen van de ventilatoren gelogd. Echter bleek gedurende het meetproject dat het waswaterpakket verstopte als gevolg van slijmvorming in het pakket. Door de veranderende drukval over de luchtwasser als gevolg van deze regelmatige verstoppingen is het niet mogelijk om het debiet van de totale ventilatie in te schatten. Deze data is dus niet meegenomen in de beoordeling van deze locatie.




***Figuur 3.59*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 4. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*



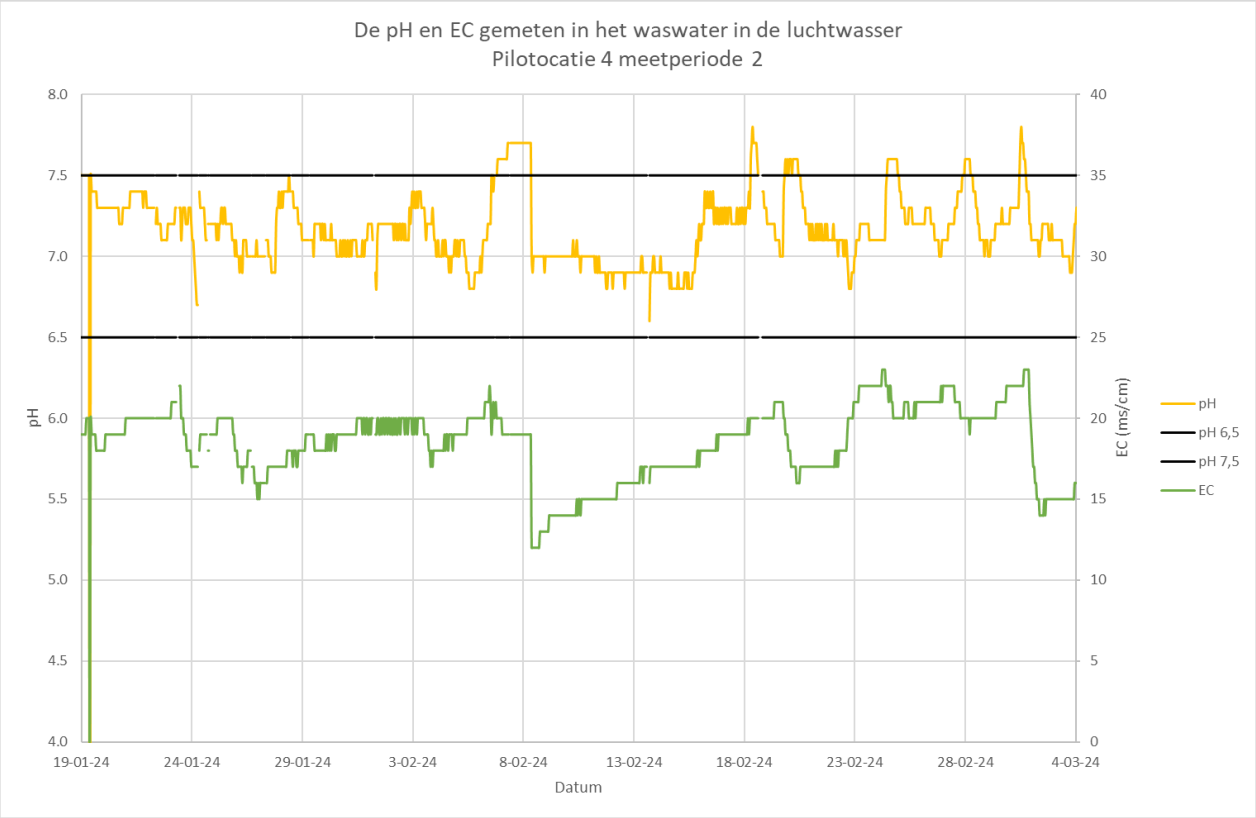

***Figuur 3.60*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 4.*

### 3.4.2 Meetperiode 2

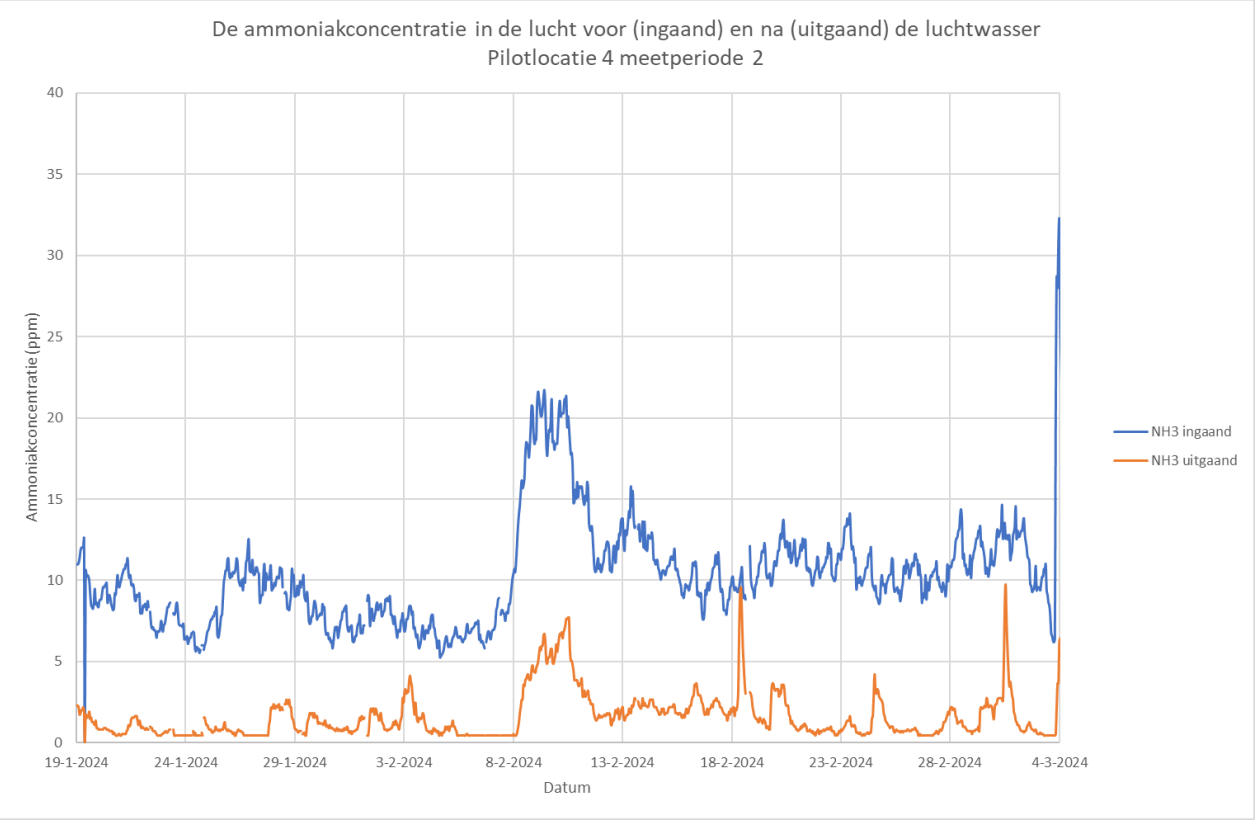
Meetperiode 2 besloeg de periode van januari 2024 tot en met februari 2024. De enige modificaties rond de luchtwasser in deze periode is het plaatsen van ammoniaksensoren in de drukkamer voor de luchtwasser en in de uittredende luchtstroom van de luchtwasser. Opvallend is dat in periode 2 de pH vaak een korte toename liet zien tot boven pH 7,5 (Figuur 3.61). Een mogelijke verklaring is het gebruik van osmosewater verkregen uit een mestscheidingsproces op het bedrijf in plaats van kraan en/of grondwater om water in de waswaterput aan te vullen na spuien. De waswateranalyses waren op het moment van beoordeling in meetperiode 2 nog niet binnen. De hoge pH van het osmosewater kan verklaren waarom de pH vaak een snelle stijging laat zien tot boven de 7,5. Tijdens deze periode is de datalogging voor de ammoniaksensoren op een aparte datalogging gedaan en de resultaten zijn weergeven in Figuur 3.62. De totale ammoniakverwijdering in deze periode schommelde tussen de 75 en 95% met een gemiddelde verwijdering over de hele periode van 86%. In de periode van 8 februari tot 10 februari is er een duidelijke toename te zien in de ingaande en uitgaande ammoniakconcentraties. Van deze locatie zijn geen goede ventilatiedata beschikbaar, waardoor niet was na te gaan of vermindering in ventilatiedebiet (mede) oorzaak van de toename in ammoniakconcentratie was.
Voor de geurmetingen zijn luchtmonsters op 29 februari genomen. De resultaten zijn in Tabel 31 weergegeven.

Observaties:
- pH van het waswater was regelmatig kortdurend boven de 7,5. De pH is deze periode niet onder pH 6,5 geweest.
- In de geurpatronen zijn vooral hoge geurconcentraties van $H_2S$ en methylmercaptaan gedetecteerd. Andere stoffengroepen zijn alleen in relatief lage concentraties aanwezig.
- Met de chemisch analytische methode werd een rendement van 62% berekend. Volgens de sensorische methode waren de geurconcentraties in de uitgaande lucht hoger dan in de ingaande lucht, wat een rendement van -36% opleverde.

Voorstel maatregelen:
- Ammoniaksensoren koppelen met elektronisch logboek voor datalogging.




***Figuur 3.61*** *Gemeten pH en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 4. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.62*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 4.*




***Figuur 3.63*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 2 op locatie 4.*

***Tabel 31*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 1 op locatie 4. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

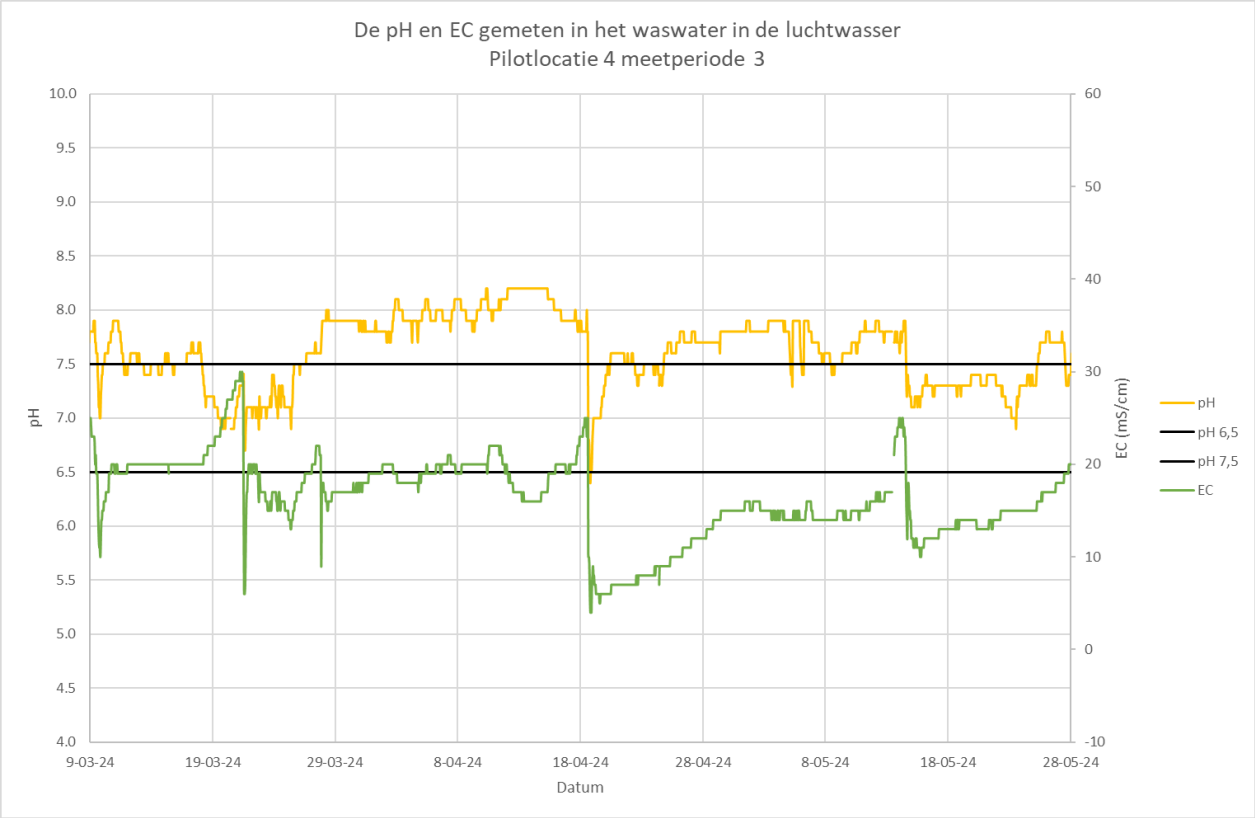
| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 141 | | | 271 | | | 170 | | | 205 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 13.5 | 1.3 | 9.3 | 11.8 | 0.3 | 2.4 | 3.5 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | 72% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 9.6 | 4.9 | 51.7 | 3.2 | 1.0 | 29.6 | 6.7 | 3.3 | 49.3 | 23.5 | 21.9 | 93.0 | *-136%* |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.3 | 0.2 | 51.0 | 0.2 | 0.1 | 43.8 | 0.1 | 0.0 | 29.0 | 0.6 | 0.2 | 32.1 | *-22%* |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 2.4 | 1.8 | 78.3 | 1.1 | 0.1 | 8.8 | 1.1 | 0.7 | 60.1 | 2.3 | 0.6 | 25.4 | 2% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.3 | 0.2 | 56.9 | 0.2 | 0.0 | 7.4 | 0.3 | 0.2 | 80.0 | 0.5 | 0.2 | 34.5 | *-44%* |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 87.1 | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 29.5 | 0.0 | 0.0 | 40.0 | 0.0 | 0.0 | 13.5 | 50% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 25.8 | 0.8 | 3.2 | 29.1 | 2.2 | 7.4 | 0.8 | 0.1 | 14.6 | NK | NK | NK | 97% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 3919.4 | 41.6 | 1.1 | 4365.2 | 63.6 | 1.5 | 1384.7 | 36.0 | 2.6 | 1289.0 | 4.4 | 0.3 | 68% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 451.2 | 8.7 | 1.9 | 484.2 | 3.7 | 0.8 | 456.3 | 26.0 | 5.7 | 413.1 | 9.0 | 2.2 | 7% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.6 | 0.0 | 6.4 | 0.6 | 0.1 | 14.0 | 0.7 | 0.2 | 21.0 | 0.6 | 0.0 | 2.9 | *-18%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 3.0 | | | 3.0 | | | 1.0 | | | 1.0 | | | 66% |
| | SumOAV | 4426 | | 31.6 | 4899 | | 14.5 | 1855 | | 27.5 | 1731 | | 22.7 | 62% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 5166 | | | 4354 | | | 6104 | | | 6823 | | | *-36%* |

### 3.4.3 Meetperiode 3

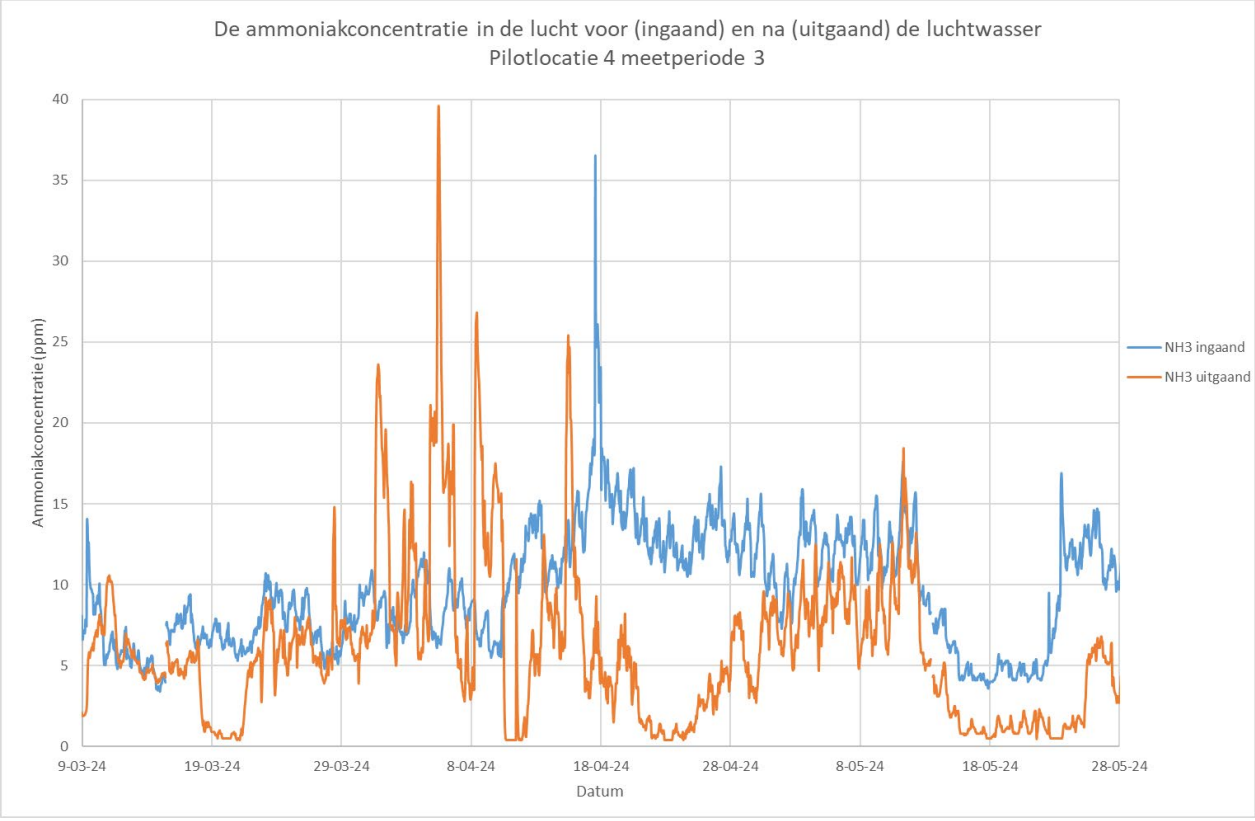
Meetperiode 3 besloeg de periode van maart 2024 tot en met mei 2024. De ammoniakverwijdering is in deze periode gemiddeld 34% (Figuur 3.66). De lage ammoniakverwijdering is het gevolg van een te hoge pH (Figuur 3.64). Gedurende 65% van de tijd in meetperiode 3 is de pH 7,5 of hoger. Analyses op de verschillende waterstromen in het systeem laten zien dat het osmosewater een pH van 9,5 heeft. Het osmosewater is afkomstig uit mestverwerkingprocessen op het bedrijf en wordt gebruikt om het waswater aan te vullen na spuien. Dit verklaart de te hoge pH van het waswater, de pH wordt verhoogd door het toevoegen van relatief sterk basisch schoon water. Deze hoge pH van het waswater heeft een slechte ammoniakverwijdering tot gevolg omdat ammoniak slecht oplost in waswater met een pH hoger dan 7,5. Voor de geuranalyses zijn luchtmonsters op 22 mei genomen. De resultaten zijn in Tabel 32 weergegeven.

Observaties:
- De bovengrens van de toegestane pH-bandbreedte van het waswater is 7,5, deze is erg belangrijk is voor een goede ammoniakverwijdering. Boven een pH-waarde van 7,5 daalt de verwijderingsefficiëntie.
- De geurconcentraties (zowel chemisch-analytisch en sensorisch) waren duidelijk hoger dan in de periode daarvoor. Hoofdcomponenten met de hoogste geurwaardes waren de zwavelcomponenten $H_2S$ en methylmercaptaan (Tabel 32). Ammoniak concentraties waren daarentegen relatief laag vergeleken met de vorige periode.
- De chemisch analytische geurmethode had een hoger rendement met 67% dan de sensorische met 34%.

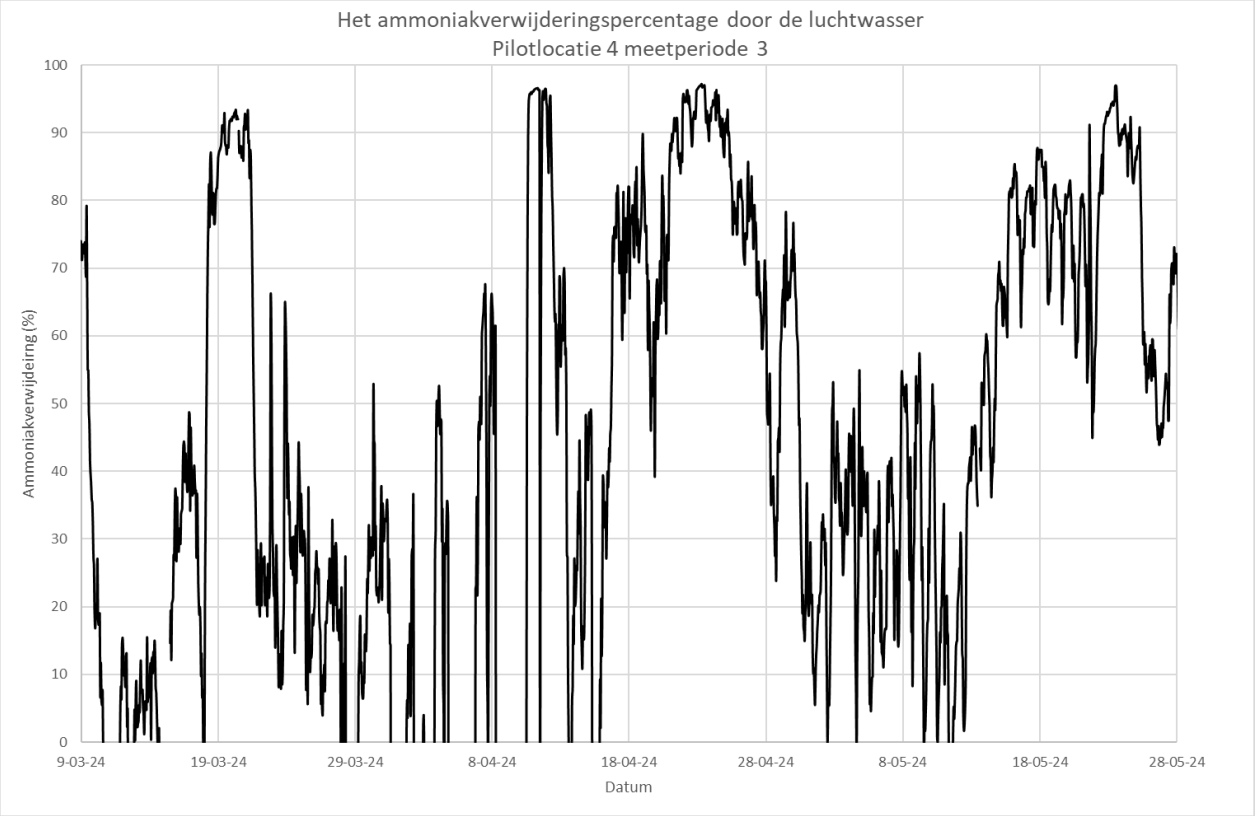
Maatregelen voorstel:
- De pH stabiliseren in het waswater door middel van een zuur (en loog) dosering. Dosering van zuur kan de pH onder de 7,5 brengen als deze teveel stijgt door het toevoegen van osmosewater.
- Zwavelcomponenten blijken een grote bijdrage aan de geursamenstelling in de uitgaande luchtstroom te hebben. Twee geurmetingen doen, eenmaal bij een hoge pH (7,5) en eenmaal lage pH (6,5) om effect van pH op de verwijdering van geurcomponenten te testen. De pH zal worden veranderd met de zuur- en loogdosering. Hiermee wordt getest wat de potentie van verwijdering van de zwavelcomponenten door een biologische luchtwasser is binnen de toegestane pH-bandbreedte.




***Figuur 3.64*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 4. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.65*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 4.*




***Figuur 3.66*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 4.*

***Tabel 32*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 3 op locatie 4. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 202 | | | 035 | | | 180 | | | 248 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 7.2 | 1.5 | 20.3 | 3.6 | 0.9 | 23.4 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 18.3 | 2.7 | 14.6 | 14.1 | 2.3 | 16.0 | 13.4 | 3.3 | 24.9 | 7.8 | 4.6 | 58.7 | 34% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 3.1 | 1.1 | 35.6 | 2.5 | 0.4 | 17.4 | 0.3 | 0.1 | 37.8 | 0.3 | 0.3 | 87.2 | 88% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 234.1 | 7.7 | 3.3 | 146.4 | 15.7 | 10.7 | 4.4 | 0.7 | 16.3 | 3.1 | 2.0 | 65.0 | 98% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | 1.9 | 0.6 | 31.8 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 40.8 | 0.5 | 1.3 | 20.0 | 1.4 | 7.2 | 1.1 | 0.7 | 63.4 | 0.5 | 0.1 | 21.5 | 97% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 17.0 | 0.0 | 0.0 | 42.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 86% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | 0.0 | 0.0 | 29.4 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 20.8 | 0.0 | 0.0 | 48.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 37.8 | 100% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 152.8 | 11.3 | 7.4 | 101.4 | 16.5 | 16.2 | 0.9 | 0.1 | 14.4 | 0.5 | 0.2 | 41.7 | 99% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 0.1 | 9.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | NK | NK | NK | 3.3 | 0.3 | 9.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 11654.4 | 506.2 | 4.3 | 11132.5 | 288.4 | 2.6 | 3344.4 | 79.9 | 2.4 | 3717.5 | 116.0 | 3.1 | 69% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 1080.2 | 37.9 | 3.5 | 1120.3 | 25.2 | 2.3 | 675.8 | 34.2 | 5.1 | 728.8 | 17.6 | 2.4 | 36% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.8 | 0.3 | 36.6 | 0.7 | 0.2 | 21.9 | 1.2 | 0.6 | 46.5 | 1.2 | 0.8 | 61.3 | *-65%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 1.7 | | 6.0 | 1.7 | | 6.0 | 0.7 | | 12.0 | 0.7 | | 12.0 | 59% |
| | SumOAV | 13194 | | 13.2 | 12549 | | 15.9 | 4042 | | 24.1 | 4461 | | 35.5 | 67% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 9720 | | | 7965 | | | 6974 | | | 4674 | | | 34% |

### 3.4.4 Meetperiode 4

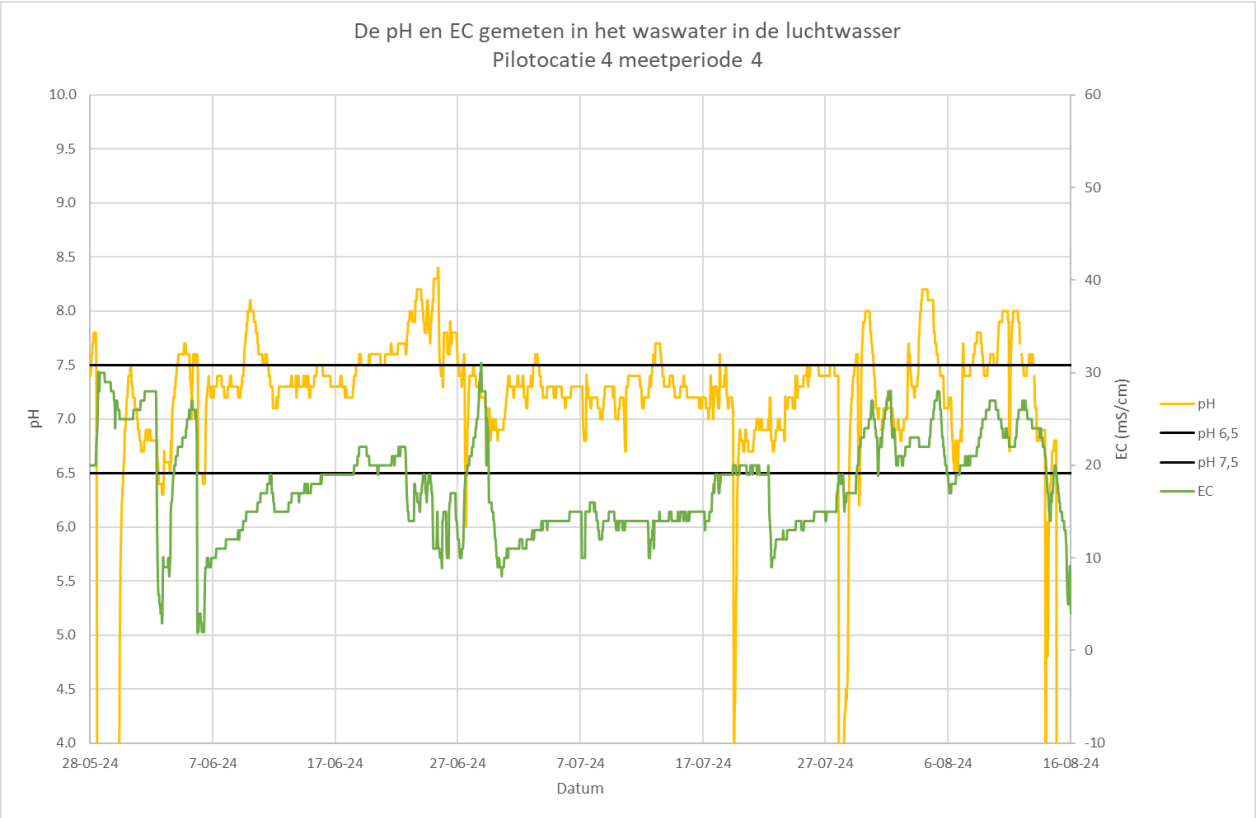
Meetperiode 4 besloeg de periode van juni 2024 tot en met augustus 2024. Na plaatsing van de pH dosering is meerdere malen zuur gedoseerd, als de pH boven de 7,5 uitkwam. Er is uit de schommelingen in pH af te leiden dat de doseerlocatie van het zuur vrij dicht bij de aanzuigleiding zit waarin de pH-sensor aanwezig is. Meerdere malen in de tweede helft van de 4 meetperiode is er een daling in pH waarneembaar tot onder pH 3 (Figuur 3.67). Deze kortstondige perioden van verzuring worden vrij kort daarna weer opgevolgd door een periode waarbij het waswater een neutrale pH heeft. Als de verzuring het gevolg was van nitrificatie van veel ammoniak, zou dat ook een flinke toename in de EC-waarde veroorzaken. Echter de toename in EC is niet zo groot dat dit het schommelen van de pH kan verklaren. Het is aannemelijk dat de schommelingen in pH het gevolg zijn van slechte menging van het gedoseerde zuur. Na een paar circulaties van het waswater over het waspakket is dit beter gemengd waardoor de pH weer tussen de 7 en 6,5 uitkomt. Voor een goede analyse van data uit het elektronisch logboek is het dus belangrijk dat de dosering van zuur (en loog) niet gebeurt vlak voor de aanzuigleiding waarin ook de pH- en EC-sensoren aanwezig zijn. De dosering van zuur is tijdens deze meetperiode voornamelijk handmatig uitgevoerd in plaats van automatisch middels een besturings-systeem. Automatisering van de zuurdosering heeft de potentie om de stabiliteit van de pH te verbeteren.

Verder is in deze meetperiode besproken om een zuurstofsensor naast de pH- en EC-sensor te hangen om zo het zuurstofniveau in het waswater inzichtelijk te maken. Nitrificatie is een proces waarvoor zuurstof nodig is, mogelijk dat deze processen bij een zuurstoftekort niet plaats kunnen vinden. Volgens de veehouder is relatief vaak sprake van slijmvorming in deze luchtwasser; mogelijk dat een zuurstoftekort een stressrespons bij bacteriën veroorzaakt die tot slijmvorming leidt. Bij slijmvorming raakt het waspakket verstopt waardoor de drukval over de luchtwasser toeneemt en ventilatie meer stroom verbruikt. Naarmate de verstopping toeneemt zal de luchtstroom ook niet meer optimaal verdeeld zijn over het pakket waardoor contacttijd tussen het waswater en de lucht afneemt. Om de contacttijd te borgen dient bij een toename in drukval over tijd het waspakket visueel geïnspecteerd te worden en bij constatering van verstoppingen schoongemaakt.

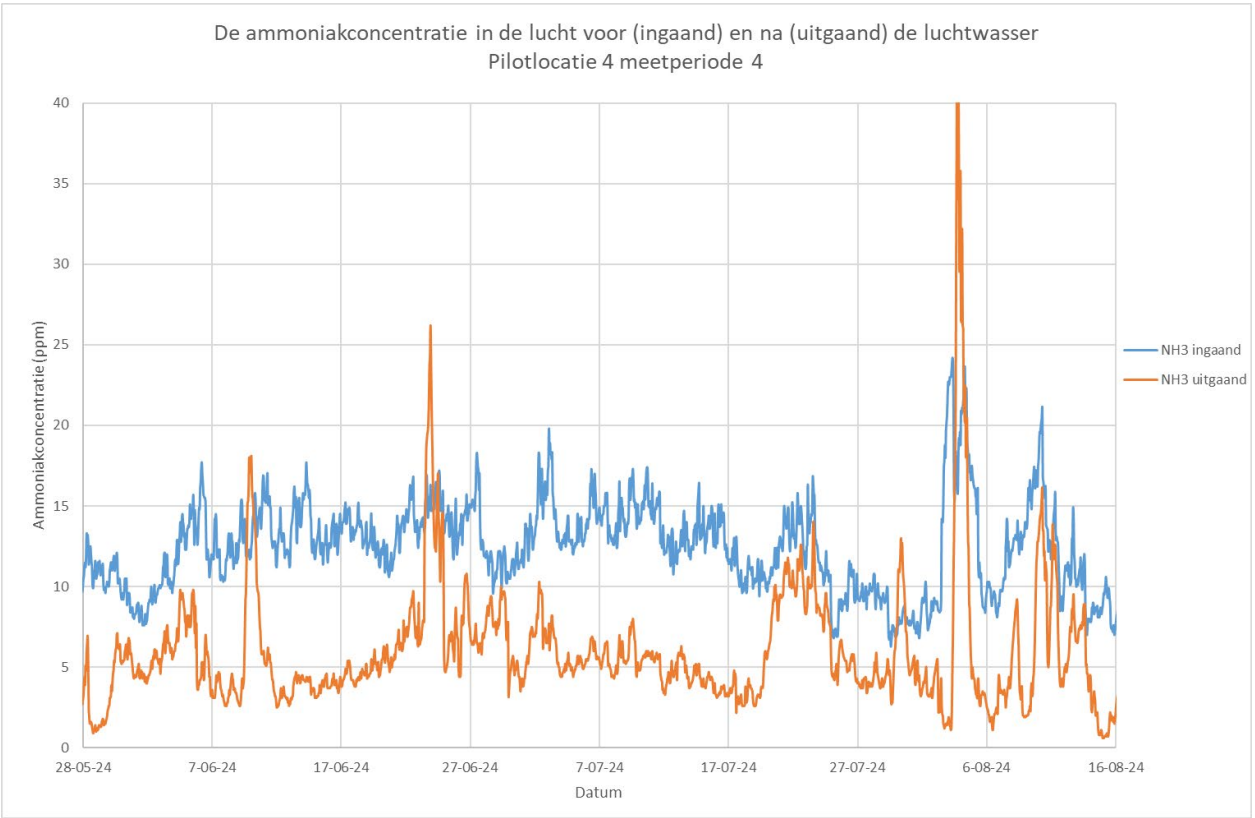
Voor de geurmetingen zijn in deze periode luchtmonsters op 18 juli en 21 augustus genomen. De resultaten zijn in Tabel 33 (juli) en Tabel 34 (augustus) weergegeven.

Observaties:
- pH-stabilisatie door middel van zuur verloopt nog niet correct, de pH waardes schommelen erg gedurende de meetperiode. Dit is het gevolg van handmatig toedienen van zuur, door dit proces te automatiseren kan de pH beter stabiel gehouden worden binnen de toegestane bandbreedtes.
- De dosering van zuur en loog moet niet te dicht bij het aanzuigpunt van het waswater geplaatst zijn. Het waswater moet eerst goed mengen alvorens de pH- en EC-sensoren te passeren. Representatieve meetwaarden van de pH van het waswater zijn nodig om automatisering van de dosering mogelijk te maken en de data voor beoordeling van werking overzichtelijk te houden.
- De geurconcentraties voor beide methoden waren deze periode lager dan in de vorige periode. De waardes in augustus waren lager dan in juli, mogelijkerwijs mede veroorzaakt door verschillen in ventilatiedebieten.
- Concentraties van vetzuren en fenolen waren hoger dan in eerdere perioden wat mogelijkerwijs op meer fermentatieprocessen duidt.
- De geurverwijderingsrendementen waren op beide datums vergelijkbaar waarbij in beide gevallen de chemisch analytische methode een hoger rendement toonde.
- Slijmvorming in het waspakket was geconstateerd, hierdoor nam de drukval over het pakket toe gedurende deze meetperiode.

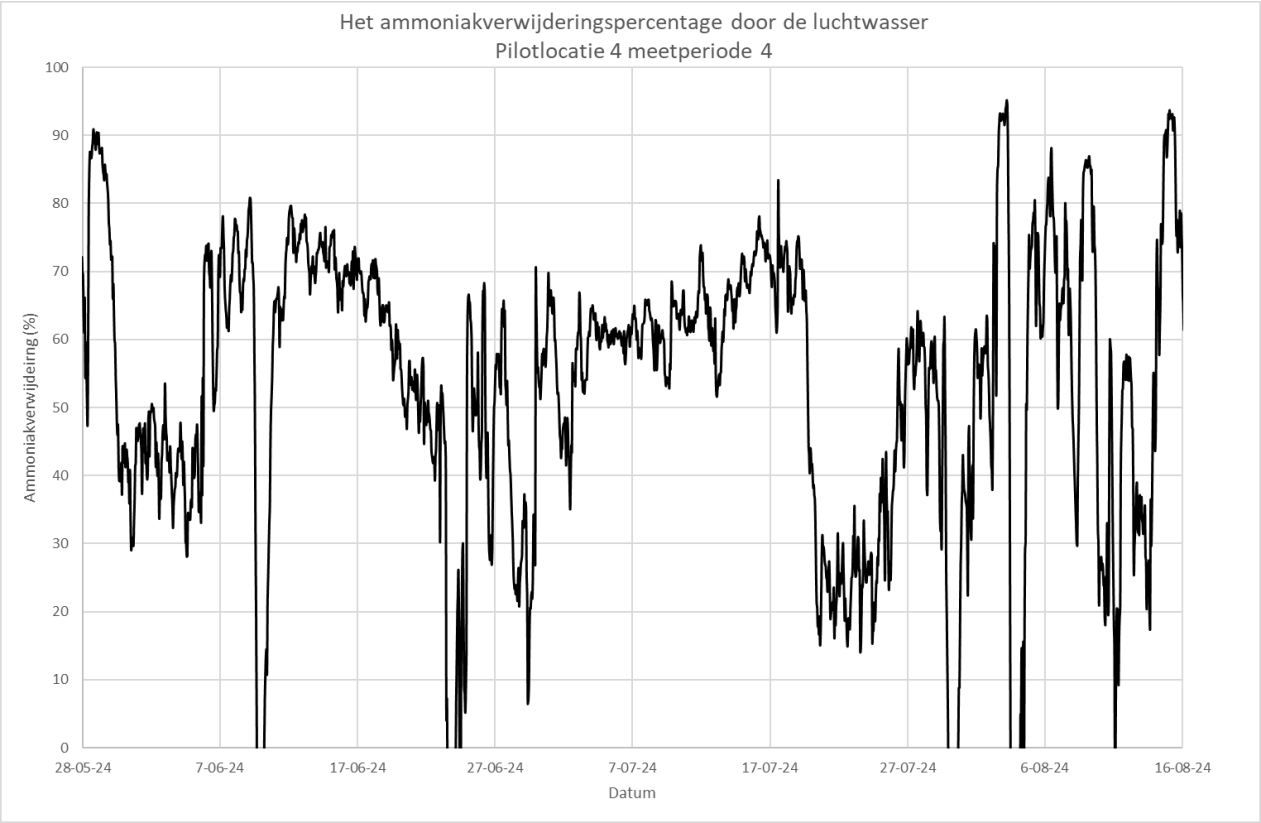
Maatregelen voorstel:
- Aanpassing van de doseerlocatie voor zuur en loog in de waswaterput. Er dient betere menging met het waswater plaats te vinden voordat het mengsel langs de pH-sensor komt.
- Plaatsing van een zuurstofsensor in de waswaterleiding om te bepalen of zuurstofgehalte in het water voldoende is voor het nitrificatieproces van ammoniak.
- Verkennen mogelijkheid om aanwezigheid van zwavelcomponenten in de ventilatielucht te verminderen door aanpassing van de voersamenstelling - zie paragraaf 3.4.6.




***Figuur 3.67*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 4. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.68*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 4.*




***Figuur 3.69*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 4 op locatie 4.*

***Tabel 33*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 4 (pH 7,3 18 juli) op locatie 4. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 271 | | | 032 | | | 046 | | | 230 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 37.2 | 2.9 | 7.8 | 22.8 | 1.5 | 6.8 | 23.7 | 2.1 | 9.0 | 18.2 | 1.3 | 7.2 | 30% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 7.9 | 0.6 | 6.9 | 1.7 | 0.3 | 19.1 | 0.5 | 0.1 | 18.6 | 0.9 | 0.5 | 55.8 | 85% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 0.7 | 0.1 | 14.7 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 296.8 | 3.4 | 1.2 | 42.6 | 4.1 | 9.6 | 3.9 | 1.0 | 26.7 | 6.8 | 4.8 | 69.9 | 97% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 128.7 | 1.8 | 1.4 | 12.8 | 1.3 | 9.9 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 100% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 33.4 | 0.8 | 2.5 | 2.8 | 0.7 | 25.0 | 0.5 | 0.1 | 25.2 | 0.4 | 0.1 | 13.3 | 98% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 8.7 | 0.0 | 0.0 | 74.1 | 0.0 | 0.0 | 27.3 | 0.0 | 0.0 | 28.3 | 100% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 35.7 | 0.0 | 0.0 | 35.3 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 0.0 | 0.0 | 26.9 | 33% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 162.7 | 3.6 | 2.2 | 153.1 | 20.1 | 13.1 | 14.0 | 0.3 | 2.3 | 23.3 | 1.4 | 5.8 | 88% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.8 | 0.1 | 16.9 | 1.3 | 0.2 | 13.4 | 1.3 | 0.1 | 4.4 | 1.2 | 0.2 | 13.7 | *-19%* |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 4.8 | 0.1 | 2.7 | 2.5 | 0.1 | 3.6 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 3028.3 | 102.9 | 3.4 | 2732.0 | 126.2 | 4.6 | 901.7 | 26.0 | 2.9 | 1080.1 | 19.5 | 1.8 | 66% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 366.7 | 77.5 | 21.1 | 286.5 | 10.1 | 3.5 | 262.0 | 10.2 | 3.9 | 280.8 | 12.0 | 4.3 | 17% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 1.6 | 1.1 | 68.5 | 0.9 | 0.2 | 26.1 | 1.1 | 0.4 | 36.1 | 0.7 | 0.1 | 10.6 | 27% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 3.4 | | | 3.4 | | | 1.0 | | | 1.0 | | | 71% |
| | **SumOAV** | **4079** | | **12.9** | **3268** | | **17.4** | **1210** | | **13.3** | **1414** | | **19.8** | 64% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | **Sensory (ouE/m3)** | **8058** | | | **7457** | | | **4802** | | | **5818** | | | **32%** |

***Tabel 34*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 4 (pH 6,8 21 augustus) op locatie 4. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 219 | | | 268 | | | 022 | | | 050 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 6.9 | 0.6 | 8.1 | 10.7 | 0.6 | 6.0 | 3.5 | 0.6 | 17.7 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 100% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 100.1 | 1.6 | 1.6 | 87.1 | 2.9 | 3.3 | 8.6 | 2.9 | 33.2 | 12.7 | 2.5 | 19.6 | 89% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 17.3 | 0.7 | 4.0 | 15.8 | 1.0 | 6.1 | 0.5 | 0.1 | 16.1 | 0.6 | 0.1 | 10.0 | 97% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 1.6 | 0.2 | 14.6 | 1.2 | 0.1 | 10.5 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 107-92-6 | Butyric acid | 454.2 | 12.2 | 2.7 | 431.5 | 12.7 | 2.9 | 7.3 | 1.2 | 16.8 | 12.2 | 1.6 | 12.8 | 98% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 131.9 | 4.4 | 3.4 | 116.3 | 6.7 | 5.7 | 0.3 | 0.2 | 47.4 | 1.7 | 0.3 | 17.7 | 99% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 57.8 | 2.5 | 4.4 | 53.3 | 2.8 | 5.3 | 1.0 | 0.4 | 44.0 | 2.3 | 1.2 | 51.9 | 97% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.1 | 0.0 | 26.4 | 0.0 | 0.0 | 33.8 | 0.0 | 0.0 | 68.4 | 0.0 | 0.0 | 71.6 | 88% |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.0 | 33.7 | 0.0 | 0.0 | 13.3 | 0.0 | 0.0 | 37.9 | 0.0 | 0.0 | 80.8 | 75% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 145.5 | 4.9 | 3.3 | 134.1 | 10.4 | 7.8 | NK | NK | NK | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 98% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.7 | 0.1 | 11.8 | 0.5 | 0.0 | 8.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 14.2 | 1.6 | 11.4 | 9.6 | 1.2 | 12.9 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1965.2 | 26.9 | 1.4 | 2176.4 | 31.2 | 1.4 | 525.1 | 3.5 | 0.7 | 511.2 | 8.5 | 1.7 | 75% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 195.6 | 5.8 | 3.0 | 217.3 | 1.0 | 0.4 | 207.3 | 1.9 | 0.9 | 211.4 | 6.1 | 2.9 | *-1%* |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.5 | 0.1 | 13.5 | 0.5 | 0.0 | 5.0 | 0.5 | 0.1 | 14.6 | 0.6 | 0.1 | 13.5 | *-11%* |
| 7664-41-7 | Ammonia | 4.2 | 0.1 | 2.9 | 4.2 | 0.1 | 2.9 | 2.6 | 0.5 | 18.9 | 2.6 | 0.5 | 18.9 | 39% |
| | **SumOAV** | **3096** | | 8.58 | **3259** | | 7.84 | **757** | | 26.38 | **760** | | 23.17 | **76%** |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | **Sensory (ouE/m3)** | **5343** | | | **3117** | | | **3336** | | | **2205** | | | **35%** |

### 3.4.5 Meetperiode 5

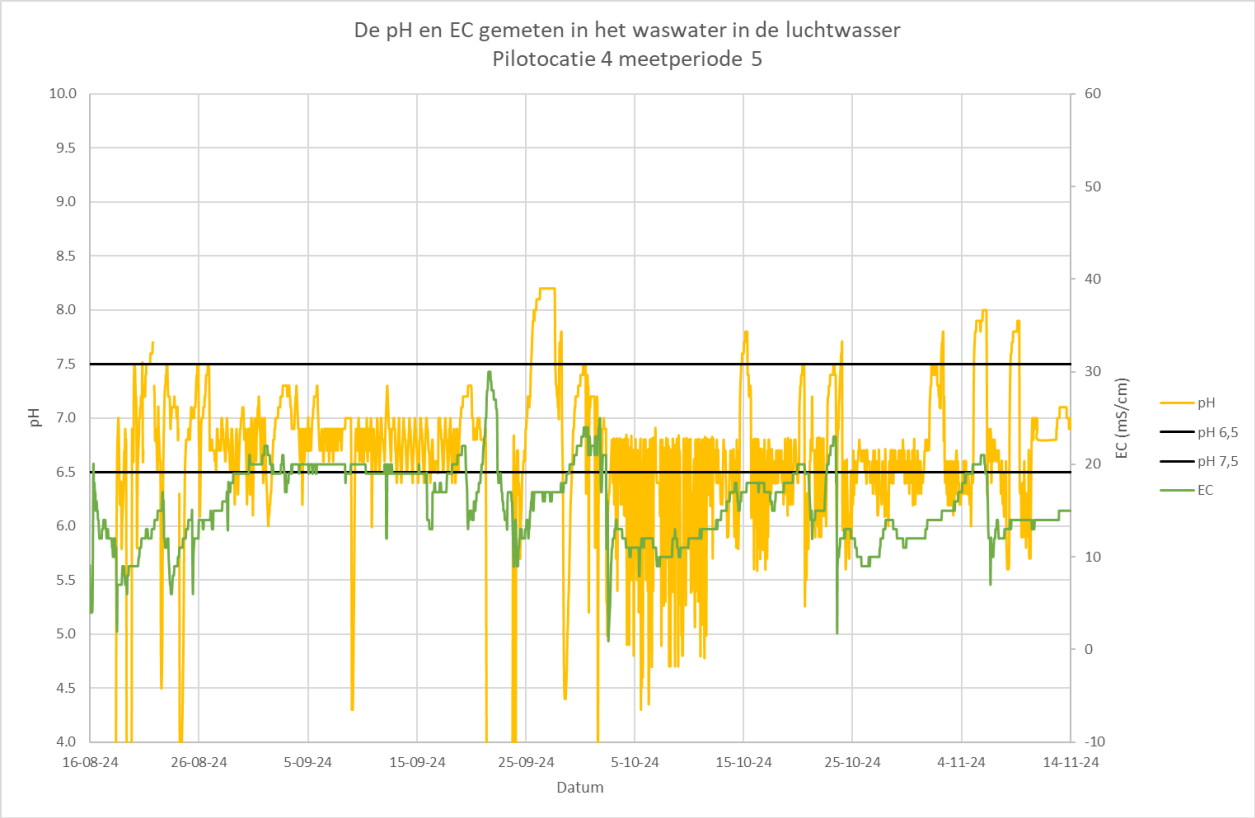
Meetperiode 5 besloeg de periode van september 2024 tot en met november 2024. Tijdens deze periode is het doseren van zuur geautomatiseerd. In het begin van de periode is de ammoniakverwijdering zeer consistent rond de 95% (Figuur 3.72). Echter vanaf 17 oktober neemt de verwijdering af, er is geen duidelijke verklaring voor deze afname in ammoniakverwijdering. Mogelijk is de toename in ammoniakvracht te hoog is voor de capaciteit van de luchtwasser op dat moment. Echter de ammoniakconcentratie blijft gedurende de gehele meetperiode toenemen terwijl de ammoniakverwijdering zich wel herstelt (Figuur 3.72). Door de automatisering van de zuurdosering is de dosering van zuur meer geleidelijk, en is de dosering meer gespreid. Hierdoor fluctueert de pH tussen de 5 en 6,7. Deze schommeling is waarschijnlijk het gevolg van dosering van zuur vlak voor de aanzuigleiding waarin de pH- en EC-sensoren aanwezig zijn; het doseerpunt is nog niet verplaatst. Het gedoseerde zuur is hierdoor nog niet volledig gemengd met al het waswater waardoor een lagere pH wordt gemeten dan de daadwerkelijke, gemiddelde pH van het waswater in de put.
Sensoren voor het bemeten van zuurstofniveau in het waswater waren tijdens deze meetperiode nog niet geplaatst en vallen hierdoor buiten het verloop van dit project.
Voor de geurmetingen zijn in deze periode luchtmonsters op 16 en 24 oktober en 7 november genomen. De resultaten zijn in Tabel 35 (24 oktober) en Tabel 38 (alle datums) weergegeven.

Observaties:

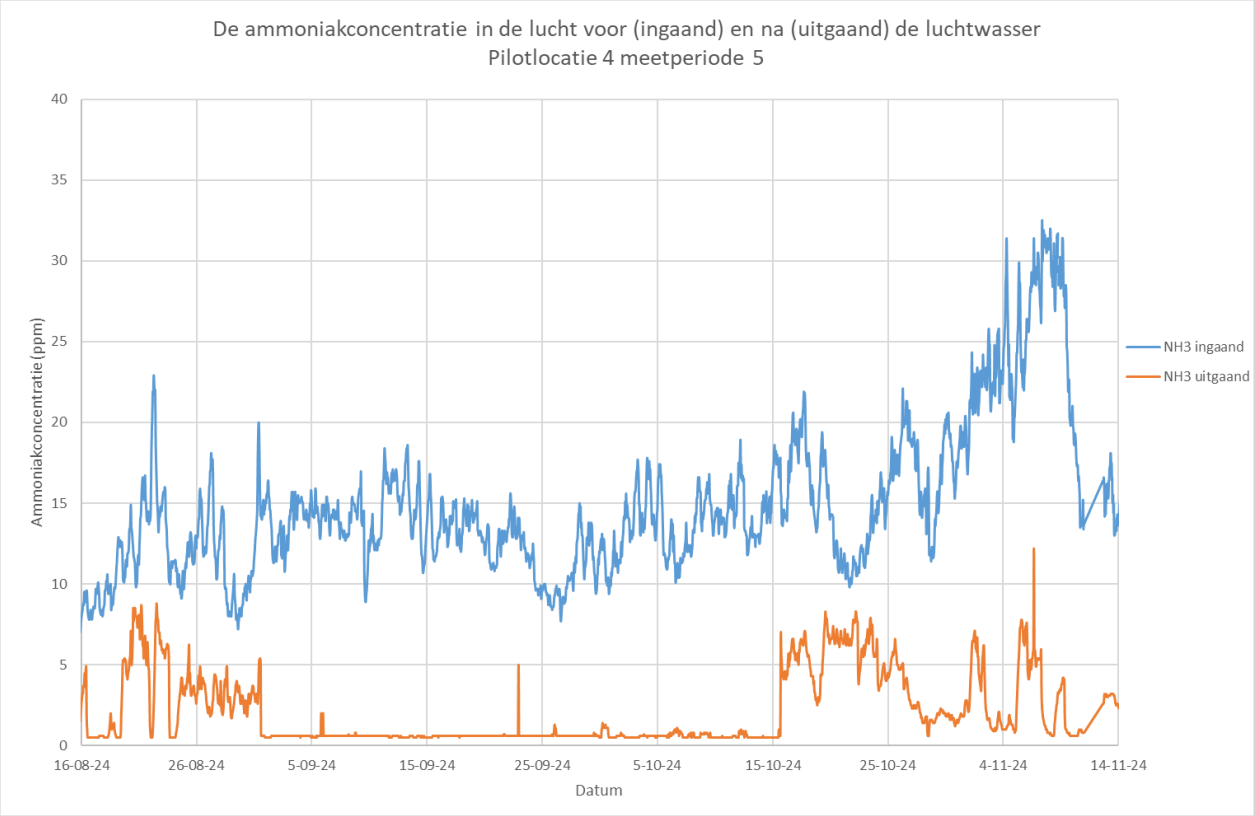
- Dosering van zuur en loog moet niet dichtbij de pH- en EC-sensoren gebeuren om goede menging van het waswater en goede meting van de pH mogelijk te maken en de data voor beoordeling overzichtelijk te houden.
- In deze periode was het berekende geurverwijderingsrendement volgens de sensorische methode lager dan volgens de chemisch analytische methode. De sensorische duplo-metingen vertonen onderling grote spreidingen.
- Concentraties van de stoffen $H_2S$ en methylmercaptaan en p-cresol waren lager in november dan in oktober. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de verandering in de voersamenstelling - zie par. 3.4.6.

Maatregelen voorstel:

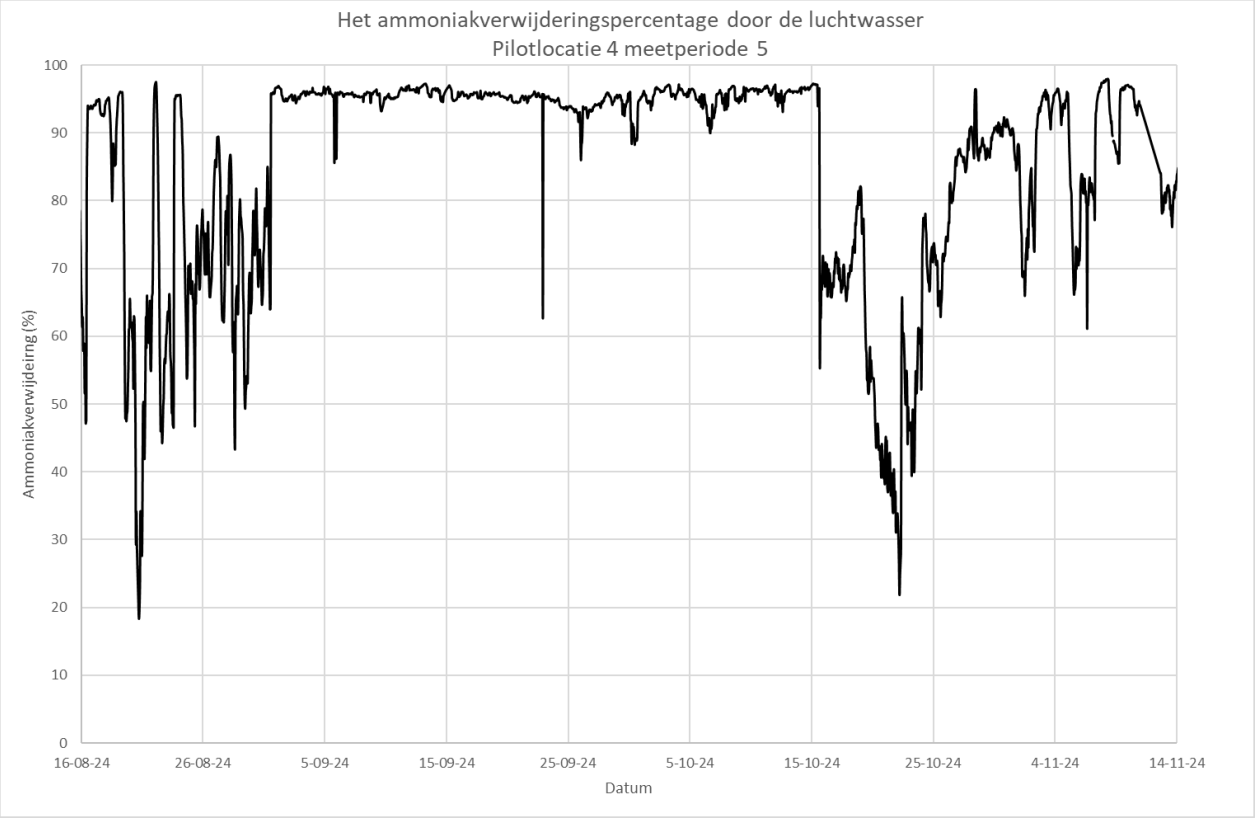
- Plaatsing van een zuurstofsensoren in aan- en afvoerleiding van waswater naar het waspakket + mogelijkheid voor beluchting. Bij slijmvorming tijdens periodes met laag zuurstof niveau in het waswater beluchting toepassen.




***Figuur 3.70*** *Gemeten pH- en EC-waardes in het waswater van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 4. De voorgeschreven bandbreedte voor de pH van het waswater (6,5 – 7,5) is weergeven met 2 zwarte lijnen.*




***Figuur 3.71*** *Gemeten ammoniakconcentraties ($NH_3$) in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 4.*




***Figuur 3.72*** *Het ammoniakverwijderingsrendement ($NH_3$) gebaseerd op de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande lucht in de luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 4.*

***Tabel 35*** *Berekende geuractiviteitswaarden (OAV) van 18 geurstoffen en hun optelsom (SumOAV), gebaseerd op concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode en de geurdrempelwaarden in de ingaande en uitgaande lucht van een luchtwasser gedurende meetperiode 5 op locatie 4. Daarnaast zijn geurconcentraties weergegeven in odour units ($OU_E/m^3$; via sensorische methode). Het geurverwijderingsrendement is berekend voor zowel de OAV van de geurstoffen als de geurconcentraties (sensorisch). De gemiddelde OAV van drie replica's incl. standaard deviatie (SD) en de variatie coëfficiënt (RSD) is gegeven. Opmerking: de concentraties van 2,3-butandione zijn vanwege een kleine technische aanpassing hoger dan anders.*

| | | OAV-gemiddelde | | | | | | | | | | | | Rendement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | |
| | Zaknummer | 106 | | | 227 | | | 156 | | | 059 | | | |
| CAS-NR | Naam | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | gemiddelde | SD | RSD | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 1286.7 | 88.3 | 6.9 | 1446.0 | 36.7 | 2.5 | 8.1 | 0.4 | 5.2 | 6.0 | 1.4 | 22.9 | 99% |
| 64-19-7 | Acetic acid | 6.1 | 2.1 | 34.0 | 8.5 | 3.9 | 46.2 | 6.0 | 3.4 | 56.9 | 6.5 | 1.9 | 28.7 | 14% |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.3 | 0.1 | 21.0 | 0.9 | 0.7 | 77.6 | 0.4 | 0.1 | 27.9 | 0.4 | 0.0 | 8.7 | 33% |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 3.9 | 1.9 | 49.3 | 17.5 | 13.1 | 74.9 | 6.9 | 1.9 | 27.1 | 6.9 | 2.3 | 32.8 | 35% |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | 2.5 | 1.4 | 58.4 | 0.3 | 0.2 | 58.4 | NK | NK | NK | 88% |
| 109-52-4 | Valeric acid | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 1.9 | 76.4 | 1.0 | 0.5 | 50.9 | 1.6 | 0.8 | 48.0 | 33% |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 38.8 | 0.0 | 0.0 | 69.0 | 71% |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 116.8 | 2.4 | 2.1 | 124.2 | 6.1 | 4.9 | 4.1 | 0.2 | 5.7 | 4.7 | 0.6 | 13.6 | 96% |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.7 | 0.1 | 9.7 | 0.5 | 0.2 | 29.4 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 10.6 | 0.9 | 8.3 | 8.7 | 2.0 | 22.8 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 100% |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 5076.1 | 19.0 | 0.4 | 5088.8 | 82.8 | 1.6 | 659.7 | 13.1 | 2.0 | 674.2 | 13.6 | 2.0 | 87% |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 526.4 | 7.5 | 1.4 | 541.6 | 15.1 | 2.8 | 320.3 | 5.1 | 1.6 | 319.7 | 5.2 | 1.6 | 40% |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 0.7 | 0.1 | 13.9 | 0.9 | 0.4 | 38.8 | 0.6 | 0.0 | 3.3 | 0.6 | 0.0 | 7.1 | 26% |
| 7664-41-7 | Ammonia | 5.6 | 0.3 | 4.9 | 5.6 | 0.3 | 4.9 | 1.4 | 0.1 | 7.1 | 1.4 | 0.1 | 7.1 | 75% |
| | SumOAV | 7035 | | 11.11 | 7248 | | 29.71 | 1009 | | 23.73 | 1022 | | 21.97 | 86% |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sensory (ouE/m3) | 10732 | | | 15077 | | | 4710 | | | 9372 | | | 45% |

### 3.4.6 Maatregel aanpassen voersamenstelling

De huidige biologische combi-luchtwassers blijken de zwavelcomponenten in geur vergeleken met de andere componenten slecht te verwijderen. De zwavelcomponenten zijn dominant aanwezig in de sumOAV van zowel ingaande als uitgaande geurconcentraties. Daarom is het nuttig om te verkennen of het mogelijk is om de vorming van zwavelcomponenten en opname ervan in de ventilatielucht zoveel mogelijk is te beperken. Aanvoer van zwavel gebeurt via het voer; voornamelijk in de vorm van de zwavelhoudende aminozuren methionine en cysteïne en in de vorm van sulfaat.

**Opzet proef**
Met een proef is een eerste verkenning gedaan naar het effect van aanpassing van voersamenstelling op de geuremissie. In overleg met veehouder, nutritionist van de veehouder en een veevoedingsexpert van WLR is gezocht naar mogelijkheden om het gehalte van zwavelcomponenten in het voer te verlagen en daarmee de geuruitstoot te verminderen.

Het betreft afmestvoer, dat is gevoerd aan alle varkens in de hele stal voor de luchtwasser. Het rantsoen bestaat uit natte bijproducten aangevuld met droog mengvoer. Een belangrijk deel van de zwavel komt in het voer door de ingrediënten tarwegistconcentraat (Novipro) en tarwezetmeel Crespovit). In de aangepaste voersamenstelling zijn deze weggelaten en zijn de ingrediënten tarwe, gerst en soja 49 om een gelijkwaardige voersamenstelling te behouden.

***Tabel 36*** *Gehalten zwavel in de oorspronkelijk en aangepaste voersamenstelling.*

| Voer | Zwavelgehalte [g/kg ds] |
|---|---|
| Oorspronkelijk | 2,336 |
| Aangepast | 1,754 |
| Verschil | 0,582 (24,9%) |

**Geur-analyses**
Op 3 momenten zijn luchtmonsters genomen en op geur geanalyseerd. De 1e meting op 16 oktober is bedoeld als nulmeting; de metingen op 24 oktober en 7 november zijn bedoeld als effectmeting. Door omstandigheden is het aangepaste voer niet eerder dan einde zondag 3 november gevoerd, waardoor het effect alleen op de laatste meting kan worden gebaseerd. Door de korte periode tussen aanpassing voer en de geurmeting zijn alleen indicatieve conclusies te trekken.
De geurmonsters zijn met de in paragraaf 2.4.3 beschreven methodes geanalyseerd.

Naar verwachting zal de verlaging van het zwavelgehalte in het voer een verlaging van zwavelhoudende componenten in de stallucht tot gevolg hebben. Aanpassing in voer is echter niet het enige dat is gewijzigd in de periodes tussen de metingen. In Tabel 37 worden de geurconcentratieniveau en de bijdrage van de zwavelcomponenten aan de geurconcentraties vergeleken tussen het niveau tijdens de nulmeting en de niveaus na het verlagen van het zwavelgehalte.

In deze tabel staan alleen de waarden van geurmonsters die van de ingaande lucht in de luchtwasser zijn genomen. De geurmonsters zijn in duplo genomen en geanalyseerd (M1 en M2). De concentratie ammoniak en het ventilatiedebiet zijn gemiddelde waarden van de 2-uursperiode waarin de geurmonsters zijn genomen. In Tabel 38 is de concentratie van de verschillende geurcomponenten die zijn meegenomen in de som OAV individueel weergegeven.

***Tabel 37*** *Overzicht van geurresultaten en relevante parameters.*

| Datum | Sum OAV [ -- ] | Sum OAV [ % ] | Sum OAV zwavel comp. [ -- ] | Sum OAV zwavel relatief [ % ] | Aandeel zwavel comp. in geheel [ % ] | Sensorische waarde [ouE/m3] | Sensorische waarde [ % ] | NH3 [ppm] | pH [ -- ] | Ventilatie debiet [ % van max ] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 okt – M1 | 2743 | 100 | 2535 | 100 | 94 | 9143 | 100 | 16,9 | 6,4 | 99,6 |
| 16 okt – M2 | 3033 | | 2915 | | | 10842 | | | | |
| 24 okt – M1 | 5743 | 200 | 5603 | 206 | 97 | 10732 | 129 | 16,6 | 6,0 | 58,6 |
| 24 okt – M2 | 5797 | | 5631 | | | 15077 | | | | |
| 7 nov – M1 | 2209 | 78 | 2167 | 81 | 98 | 3104 | 49 | 31,7 | 6,5 | 49,9 |
| 7 nov – M2 | 2297 | | 2242 | | | 6644 | | | | |

***Tabel 38*** *Geurconcentratie (in OAV waardes) van de verschillende geurcomponenten in de stallucht ingaand in de luchtwasser.*

| Stoffen | 16 okt 2024 M1 | 16 okt 2024 M2 | 24 okt 2024 M1 | 24 okt 2024 M2 | 7 nov 2024 M1 | 7 nov 2024 M2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,3-Butanedione | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Acetic acid | 25,59 | 4,15 | 6,08 | 8,49 | 2,03 | 1,19 |
| Propionic acid | 1,7 | 0,38 | 0,26 | 0,94 | 0,12 | 0,05 |
| Isobutyric acid | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ |
| Butyric acid | 19,13 | 7,09 | 3,92 | 17,46 | NQ | NQ |
| Isovaleric acid | 2,51 | 0,93 | NQ | 2,45 | NQ | NQ |
| Valeric acid | 0,81 | 0,3 | 1,33 | 2,43 | NQ | NQ |
| Hexanoic acid | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ |
| Heptanoic acid | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ |
| Phenol | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| p-Cresol (4-methylphenol) | 139,45 | 96,69 | 116,8 | 124,24 | 36,11 | 50,16 |
| Indole | 1,04 | 0,44 | 0,74 | 0,49 | 0,56 | 0,38 |
| 3-methyl indole | 17,58 | 7,65 | 10,56 | 8,73 | 4,02 | 3,73 |
| **Hydrogen sulfide** | **2194,68** | **2548,78** | **5076,08** | **5088,8** | **2000,0** | **2084,0** |
| **Methyl mercaptan** | **339,75** | **365,50** | **526,42** | **541,6** | **166,0** | **157,0** |
| **Dimethyl disulfide** | **0,71** | **0,63** | **0,71** | **0,9** | **0,49** | **0,53** |

NQ = not quantifiable; de waarde is lager dan de laagste concentratie die de meetapparatuur kan meten. Zwavelhoudende componenten in vet gedrukt.

NA = niet bepaald voor deze berekening vanwege technische afwijkingen in een van de meetmomenten.

**Observatie en analyse**

Op 7 november was de geurconcentratie volgens beide meetmethoden (chemisch analytisch en sensorisch) lager dan op 16 en 24 oktober. Op 7 november was het ventilatiedebiet lager en waren de varkens zwaarder. Zonder maatregel is daarom een hogere geurconcentratie te verwachten, zoals ook te zien is in de ammoniakconcentratie. Op 7 november was de totale geurconcentratie lager dan op 16 oktober, de 'Som AOV' was 78% van de waarde op 16 oktober, een daling van 22%. Het aandeel van zwavelcomponenten hieraan is 81% en daarmee ongeveer evenredig gedaald als het geheel. Relatief gezien was het aandeel van zwavelcomponenten in de geur op 16 oktober en 7 november 94% en 98% van het totaal aan geurcomponenten.

De afname van circa 20% in concentratie van zwavelhoudende geurcomponenten op 7 november kan het beoogde gevolg zijn van het verlaagde gehalte zwavel/sulfaat in het voer, ook al was de periode tussen het ingaan van de maatregel en de effectmeting maar kort (3-4 dagen). Anderzijds is ook het totaal aan (andere) geurcomponenten gedaald. Dit kan betekenen dat deze eveneens door de voeraanpassingen zijn verlaagd of dat andere factoren een rol hebben gespeeld.

De gelogde ventilatiegegevens in de periode 15 okt – 5 nov laten bijzondere waarden zien. Er zijn veel hoge waarden (> 90% max debiet) te zien, ook in de nachten. Met enkele keren een lagere waarde, waaronder op de morgen van 24 oktober, tijdens de geurmeting. De veehouder heeft nadien aangegeven dat in de periode rond 24 oktober de luchtwasser last had van verstopping van het waspakket, slijmvorming. Dat hindert de luchtstroom; het werkelijk geventileerde debiet werd lager dan zou moeten op basis van het vermogen waarop de ventilatoren draaien.
Gehinderde luchtstroom in de luchtwasser kan de oorzaak zijn van de hoge ventilatiewaarden. De gelogde waarden zijn feitelijk het vermogen waarop de klimaatcomputer de ventilatoren laat draaien. De waarden zijn het beoogde ventilatiedebiet, niet het werkelijk gerealiseerde debiet.

Voorlopige conclusie:
Na de aanpassing in de voersamenstelling is de geurconcentratie verlaagd, volgens beide analysemethoden. Ook het gehalte zwavelcomponenten is verlaagd. De voermaatregel heeft hier waarschijnlijk een bijdrage aan geleverd, maar andere factoren ook.
De resultaten bieden perspectief voor vervolgonderzoek naar de mogelijkheden via de voeding de geuremissie te verlagen.

### 3.4.7 Integrale observaties en analyse - Locatie 4

#### 3.4.7.1 Ammoniakverwijdering

Bij veel biologische combi-luchtwasser is verzuring van het waswater een veel voorkomend probleem. Op locatie 4 is de pH van het waswater gedurende een groot gedeelte van de metingen echter te hoog (pH >7,5) (Tabel 39). Verklaring voor deze hogere pH is gevonden in de pH van het water dat wordt toegevoegd in de luchtwasser na spuien. Dit betreft osmosewater van een mestscheidingsproces, dit water is basisch (rond pH 9). Dit betekent dat bij elke spuibeurt de luchtwasser wordt bijgevuld met een basische vloeistof, die de pH doet stijgen. Bij een hogere pH (>7,5) is de ammoniakverwijdering slecht, waardoor er ook weinig nitrificatie in het waswater plaats vindt om de pH weer te laten dalen tot onder pH 7,5.
Om de pH te reguleren is op deze locatie een zuur (en loog) dosering geplaatst die bij een te hoge pH zuur kan doseren om de pH bij te sturen. Van meetperiode 3 tot meetperiode 5 nam hierdoor het ammoniakverwijderingsrendement toe tot boven de voorgeschreven 85% (Tabel 39). Echter doordat de dosering vlak bij het aanzuigpunt plaats vond, was de menging van het zuur in het waswater nog niet volledig voordat het waswater de pH-sensor passeert. In het elektronisch logboek is hierdoor de geregistreerde pH-waarde tussen pH 5 en 6,3 (toename in percentage tijd met pH < 6,5), terwijl de gemiddelde pH van het waswater waarschijnlijk binnen de bandbreedte was. Bij dosering van zuur en loog wordt afgeraden om deze middelen vlak bij het aanzuigpunt in het waswater in te brengen. Op deze locatie is het mogelijk om leidingwater te gebruiken in plaats van osmosewater. Als het leidingwater een minder hoge pH heeft, is geen of minder dosering van zuur nodig om te compenseren voor de te hoge pH. Deze maatregel is echter niet getest op deze locatie i.v.m. voorkeur van de gebruiker.
Over het effect van het zuurstofgehalte in het waswater zijn nog geen conclusies te trekken; de data ontbreekt nog.

***Tabel 39*** *Overzicht van de gemeten waardes per meetperiode bij locatie 4. Hierin is weergeven: het aantal dagen in de meetperiode, het gemiddelde gemeten ammoniakrendement over deze meetperiode verkregen met continue metingen, de standaard afwijking van het rendement over de periode, percentage van de tijd waarin de pH binnen de voorgeschreven bandbreedte was, percentage van de tijd dat de pH onder de 6,5 was, percentage van de tijd waarin de pH boven de 7,5 was, de vastgelegde hoeveelheid spuiwater in de meetperiode en de berekende spuiwaterproductie per dierplaats (dpl) per jaar gebaseerd op de spuihoeveelheid in die meetperiode.*

| | Periode 2 | Periode 3 | Periode 4 | Periode 5 |
|---|---|---|---|---|
| **Periodeduur (dagen)** | 48 | 83 | 79 | 86 |
| Gemiddeld ammoniakrendement | 86% | 33% | 52% | 86% |
| SD ammoniakrendement | 11% | 64% | 26% | 16% |
| Percentage tijd pH in bandbreedte (≥ 6,5 - ≤ 7,5) | 92% | 38% | 71% | 65% |
| Percentage tijd pH < 6,5 | 1% | 1% | 8% | 29% |
| Percentage tijd pH > 7,5 | 7% | 61% | 21% | 6% |
| Absolute spuiwaterproductie ($m^3$) | 62.90 | 228.97 | 138.90 | 181.43 |
| Berekende spuiwaterproductie in periode ($m^3$/dpl/jaar) | 0.60 | 1.26 | 0.80 | 0.96 |

### 3.4.7.2 **Geurresultaten**

De geurconcentraties en verwijderingsrendementen varieerden sterk gedurende het jaar. De hoofdgeurstoffen waren $H_2S$ en methylmercaptaan. In meetperiode 4 zijn hogere concentraties aan vetzuren gemeten dan in andere perioden. Mogelijkerwijs is de variatie in geurconcentratie en -samenstelling terug te leiden op een wisselende samenstelling van het brijvoer daarover is geen detailinformatie per periode beschikbaar. Uit de geurmetingen is geen duidelijk patroon af te leiden van invloeden of omstandigheden die mogelijk verwijderingsrendementen verslechteren of beïnvloeden. In de uitgaande lucht zijn door de chemisch analytische methode voornamelijk $H_2S$ en methylmercaptaan gedetecteerd. Daarbij werd volgens de chemische analytische methode gemiddeld 67% van $H_2S$ verwijderd, wat een duidelijk bovengemiddeld goed rendement is vergeleken met de andere bedrijven, waar gemiddeld slechts 38% van $H_2S$ werd verwijderd. Mogelijkerwijs is een oorzaak te vinden in de aanvoer door het basische osmosewater (pH 9) in plaats van leidingwater of bronwater waarmee deze luchtwasser werd gevoed.

***Tabel 40*** *Geurmetingen conventioneel (panel) uitgevoerd op een monster verkregen uit de ingaande en uitgaande luchtstroom uit de luchtwasser op locatie 4. Ventilatievracht van de ingaande lucht en de pH van het waswater in de luchtwasser op het moment van monstername zijn ook weergeven.*

| **Datum** | **15 nov 2024 P1** | **29 feb 2024 P2** | **22 mei 2024 P3** | **18 jul 2024 P4** | **21 aug 2024 P4** | **16 okt 2024 P5** | **23 okt 2024 P5** | **7 nov 2024 P5** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ventilatievracht ($m^3$/u) | | | | | | | | |
| pH | | | 7.2 | 7.3 | 6.8 | 6.6 | | 6.6 |
| | | | | | | | | |
| **Conventionele methode** | | | | | | | | |
| Ingaand conc. geur ($OU_E/m^3$) | 15310 | 4760 | 8617 | 7757 | 4230 | 9993 | 12904 | 4874 |
| Uitgaand conc. geur ($OU_E/m^3$) | 7076 | 6463 | 5824 | 5310 | 2770 | | 7041 | |
| Verwijderings-rendement geur (%) | 54% | -36% | 32% | 32% | 35% | | 45% | |
| | | | | | | | | |
| **Chemisch analytische methode** | | | | | | | | |
| Ingaand conc. geur (SumOAV) | n.b. | 4426 | 12872 | 3674 | 3173 | 2895 | 6496 | 2264 |
| Uitgaand conc. geur (SumOAV) | n.b. | 1793 | 2842 | 879 | 756 | | 1015 | |
| Verwijderings-rendement geur (%) | n.v.t. | 62% | 67% | 64% | 76% | | 84% | |

Uit de geurverwijderingsrendementen kan geen duidelijk patroon worden vastgesteld die verschillen in verwijdering kan verklaren. Op de locatie is wel in de laatste meetperiode 5 een verandering in de voersamenstelling aangebracht om de hoeveelheid zwavelcomponenten die de luchtwasser ingaan te verminderen; zie paragraaf 3.4.6.

#### 3.4.7.3 Deelconclusie

Uit de metingen en analyses zijn de volgende conclusies te trekken:

- Bij een pH waarde boven de 7,5 is de ammoniak oplosbaarheid in water laag en daardoor is het verwijderingsrendement van ammoniak ook laag.
- Bij aanvoer van schoon water met een hoge pH (>7,5) is zuurdosering nodig om goede ammoniakverwijdering mogelijk te maken.
- De plaats waar zuur- en loog gedoseerd wordt in het waswater dient zo geplaatst te zijn dat goede menging heeft plaatsgevonden voordat het waswater langs de pH-meter in de aanzuigleiding van de waswaterpomp komt.
- De aanpassing in de voersamenstelling om het gehalte aan zwavelcomponenten in het geurprofiel te verlagen leidde tot lagere geurconcentraties bij beide meetmethoden. Niet uit te sluiten is dat andere factoren ook hebben bijgedragen aan deze verlaging. De resultaten bieden perspectief voor vervolgonderzoek naar de mogelijkheden via de voersamenstelling de geuremissie te verlagen.

# 4 Discussie

Op vier locaties is onderzoek gedaan bij één biologische combi-luchtwasser per bedrijf gedurende minimaal een jaar. De gegevens uit het digitale logboek van de luchtwasser zijn verzameld, de concentraties ammoniak in de ingaande en uitgaande lucht van de luchtwasser zijn continu gemeten, op een aantal momenten zijn geurmonsters verzameld en met twee verschillende methoden geanalyseerd, incidenteel zijn concentraties $NO_x$ en $N_2O$ bepaald en relevante gebeurtenissen in de stal en rond de luchtwasser zijn genoteerd. In de loop van de tijd is ook het (beoogde) ventilatiedebiet gelogd. Bij iedere locatie zijn meetresultaten en analyses periodiek met een projectgroep besproken en maatregelen geformuleerd. Het geheel van gesprekken, metingen en analyses levert een aantal inzichten op over:

- De verwijdering van ammoniak
- De verwijdering van geur
- Het belang van informatievoorziening
- Het technisch functioneren en ontwerp van biologische combi-luchtwassers

## 4.1 Verwijdering ammoniak

In dit is onderzoek is gebleken dat voor consistente verwijdering van ammoniak met een rendement hoger dan 85% - zonder ongewenste neveneffecten – de zuurgraad (pH) van het waswater altijd binnen de voorgeschreven bandbreedte (pH 6,5 - 7,5) moet blijven. Bij een pH hoger dan 7,5 is de oplosbaarheid van ammoniak laag, waardoor het verwijderingsrendement afneemt, dit is op alle locaties aangetoond (Zie hoofdstuk 3). Bij een pH waarde lager dan 6,5 wordt een deel van de ammoniak omgezet in lachgas ($N_2O$) en/of stikstofoxiden ($NO_x$) in plaats van de zouten nitriet ($NO_{2-}$) en nitraat ($NO_{3-}$). Binnen dit project (locatie 1 en 2) is nogmaals aangetoond dat bij een pH in het waswater onder de 6,5 de ammoniak omzettingin stikstofgassen $NO_x$ en $N_2O$ meer dan 10% van de totale stikstof uit de stallucht kan bedragen. Dit benadrukt nogmaals dat de ondergrens in zuurgraad van pH 6,5 een zeer belangrijke grenswaarde is om aan te houden om de productie van lachgas en stikstofoxiden te voorkomen.

Door nitrificatie, waarbij ammoniak wordt omgezet in nitraat, wordt netto zuur ($H^+$) geproduceerd. Hierdoor zal, zonder ingrijpen, de pH-waarde van het waswater dalen en de pH-waarde lager dan 6,5 worden. Tijdens standaard gebruik van een luchtwasser wordt dit (deels) voorkomen door een deel van het waswater te spuien als de geleidbaarheid de maximaal toegestane waarde bereikt (EC 20 mS/cm). Het spuiwater voert, naast nitraat, ook een deel van het gevormde zuur af. Door vervolgens het waswater aan te vullen met schoon water met een neutrale of basische pH stijgt de pH weer. In dit onderzoek, met name op locatie 1 en 3, blijkt dat de nitrificatiesnelheid, en dus de verzuring over tijd, vaak niet in balans is met de afvoer van spuiwater en toevoer van schoon water, waardoor het waswater verzuurt (pH < 6,5). Ook uit andere onderzoeken zoals Maasdam et al. (2021) blijkt dat verzuring van het waswater vaak voorkomt bij biologische combi-luchtwassers. Om dit te voorkomen dient aan de volgende voorwaarden te worden voldaan:

1. Spuiwaterafvoer uit de waswaterput dient niet gelimiteerd te zijn in het besturingssysteem van de luchtwasser. Spuiwaterafvoer is gelimiteerd als zowel de frequentie als de hoeveelheid per spuimoment begrensd zijn.
   a) De benodigde hoeveelheid spuiwater per spuimoment is te berekenen aan de hand van de afname in pH na de toevoer van schoon water na het spuien en vlak voor het volgende spui moment. De pH-stijging die is te bereiken door het toevoegen van schoon water is afhankelijk van de hoeveelheid en de pH van het schone water.
   b) Als de hoeveelheid spuiwater per spui-moment is ingesteld op een vaste waarde dient het aantal spui-momenten per dag niet gelimiteerd te zijn. De benodigde afvoer van zuur is dan in te regelen door ook al bij een lagere EC-waarde (lager dan 20 mS/cm) te spuien. Het vinden van de juist EC-waarde die een spui-moment initieert is maatwerk, zie onder a). De pH van schoon water is niet

overal gelijk in Nederland en afhankelijk van de afkomst van het water, zodat deze afstelling om maatwerk vraagt.

2. Tijdig bijvoegen van schoon water
   Na het spuien is het niveau van het waswater in de waswaterput gedaald tot onder beoogd niveau. Het besturingssysteem zal de toevoer van schoon water activeren. Als deze toevoer een klein debiet/capaciteit heeft, duurt het lang (> 1 uur) voor het niveau weer op peil is. De nitrificatie en daarmee de vorming van zuur gaan in die tijd door. Dat kan tot gevolg hebben dat de pH onder de onderste grenswaarde (pH 6,5) komt en de productie van stikstofgassen op gang kan komen. De toevoercapaciteit van schoon water naar de luchtwasser en naar de stal dient zodanig gedimensioneerd te zijn dat bij maximaal waterverbruik nog voldoende capaciteit overblijft voor het aanvullen van de waswaterput. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het waterverbruik van de dieren bij warm weer, het verbruik bij reinigingswerkzaamheden in de stal en het verbruik van de luchtwasser (spui + verdamping) bij warm weer.

Aanvullende, geteste maatregelen voor een meer robuuste bewaking van de pH:

3. Automatische sturing van spuien op basis van gemeten pH en de trend van de pH. In de huidige praktijk spuien luchtwassers alleen bij het bereiken van een EC grenswaarde (20 mS/cm). De EC neemt toe als de hoeveelheid opgelost nitraat (en nitriet) toeneemt. Het is noodzakelijk om een automatische, adaptieve regeling in de besturing in te brengen die (ook) spuien initieert bij een bepaalde afname in pH over een tijdsperiode of als de pH-waarde de onderste grenswaarde van 6,5 bereikt. Hierdoor wordt schoon water toegevoegd en zal de pH weer stijgen, mits het schone water een pH heeft hoger dan 6,5. Deze maatregel is toegepast tegen het einde van dit onderzoek op locatie 1 en 2. Hun werking is kortdurend gezien, met beoogd resultaat. Nader onderzoek met een adaptieve besturing is gewenst om de effectiviteit beter aan te tonen.
4. Plaatsing van een zuur- en loogdosering, bij voorkeur aanvullend op een automatische, adaptieve regeling zoals bij het vorige punt benoemd. Deze combinatie is op locatie 2 en 4 effectief gebleken. Bij overschrijding van de pH bandbreedte wordt de pH gecorrigeerd door het toevoegen van base of zuur.

Bij locatie 1 en 2 is verzuring van het waswater waargenomen als gevolg van een afname in de ammoniakvracht die de luchtwasser in gaat. Tijdens het oplossen van ammoniak in water fungeert de ammoniak als een zwak base, paragraaf 2.2. Het geproduceerde zuur bij de nitrificatie wordt gedeeltelijk gebruikt bij het oplossen van ammoniak in het waswater. Bij een afname in ammoniakvracht zal tijdelijk netto minder zuur gebonden worden aan de afgevangen ammoniak, waardoor de pH sneller daalt. Mogelijke oorzaken voor vermindering van de ammoniakvracht in de ingaande lucht zijn: verandering in ventilatie, dierwisselingen in de stal (hoofdoorzaak bij locatie 1) en minder besmeurd oppervlak in de hokken en minder verdamping van ammoniak uit de mestkelder door een waterlaagje op de mest als gevolg van schoonmaakwerkzaamheden in de stal.

Op locatie 4 had het gebruik van schoon water met een pH-waarde ver boven 7,5 als gevolg dat het waswater een pH had die regelmatig hoger dan 7,5 was. Bij die pH lost ammoniak nog slechts in kleine hoeveelheden op in het waswater, waardoor het verwijderingsrendement laag is. Bij luchtwasser waar het schone water een pH hoger dan 7,5 heeft, is een zuurdosering nodig om de pH van het waswater onder de bovenste waarde (pH 7,5) van de bandbreedte te houden.

## 4.2 Verwijdering geur

Voor het onderzoek naar de verwijdering en productie van geur door de biologische combi-luchtwassers zijn 2 methoden gebruikt: de conventionele olfactometrische methode en een chemisch-analytische methode, die in ontwikkeling is (Mumm et al., 2025). De geurmetingen betreffen één of enkele momentopnames per meetperiode en geen continue metingen. Het beoordelen van geurconcentraties en geurrendementen per meetperiode in relatie tot een veranderende werkwijze van een luchtwasser levert daardoor beperkt inzichten op.

Bevindingen:

- De geurconcentraties, zoals op dezelfde luchtmonsters bepaald door de conventionele en chemisch analytische methode, variëren sterk tussen de verschillende meetperiodes en tussen de locaties. Er is geen directe link te leggen tussen geurconcentraties en meetperiode cq. seizoen te leggen. Ondanks de variatie van geurconcentraties op alle locaties gedurende het jaar waren de concentraties ingaand en uitgaand op locatie 1 gemiddeld wat lager dan op andere locaties. Het gemiddelde geurverwijderingsrendement op deze locatie op de verschillende meetmomenten varieerde nogal en was niet significant lager dan op andere locaties. Een mogelijke reden voor de lagere geurconcentraties zou een lagere geurvracht kunnen zijn en een langere verblijftijd van geurstoffen in de luchtwasser (dimensionering). Een directe relatie tussen geurconcentratie en het aantal dierplaatsen voor de luchtwasser is niet gevonden.
- Over de gehele meetperiode heen is geen duidelijke link gevonden tussen voertype (droogvoer op locatie 1 en 2, brijvoer op locatie 3 en 4) en de geurconcentratie (beide methodes) of geursamenstelling (chemisch analytisch).
- Uit de chemisch analytische metingen blijkt dat de geurconcentratie (gebaseerd op OAV waardes) van ingaande en uitgaande lucht gedurende het jaar vaak gedomineerd wordt door de zwavelhoudende componenten $H_2S$ en methylmercaptaan.
- Deze twee stoffen lijken volgens het OAV concept het meest bij te dragen aan de geur die nog in de uitgaande luchtstroom van de luchtwasser aanwezig is. In de uitgaande lucht van de luchtwasser zijn regelmatig concentraties van die stoffen gemeten die duidelijk boven de gemiddelde waarnemingsdrempel (OAV waardes >1) liggen. Op basis van gemeten concentraties bestaat tot wel 90% van de resterende geur in de uitgaande lucht vanuit de luchtwasser uit deze zwavelhoudende stoffen. Bij onderzochte biologische combi-luchtwassers is gezien dat deze de zwavelcomponenten vaak matig of niet kunnen verwijderen. Gemiddeld lag het rendement volgens de chemisch analytische methode voor $H_2S$ voor de hele periode en op alle locaties op 48% en voor methylmercaptaan op slechts 15%. Zwavelcomponenten lossen slecht op in water met een pH tussen 6,5 en 7,5 (en lagere waarden). Het is daarom aannemelijk dat dit bij alle biologische luchtwassers het geval is.
- Opvallend is dat het verwijderingsrendement voor $H_2S$ op locatie 4 gemiddeld duidelijk hoger was dan bij de andere locaties. Als enige van de onderzochte luchtwassers in dit onderzoek werd de luchtwasser op locatie 4 gevoed met osmosewater met een hoge pH uit de mestscheiding. Nader onderzoek is nodig om na te gaan of de $H_2S$-verwijdering is gecorreleerd met de eigenschappen van dat osmosewater.
- Op locatie 2 en 4 zijn voerproeven gedaan – zie paragraaf 3.2.6 en 3.4.6 - waaruit een indicatie volgt dat aanpassing van voersamenstelling tot een verlaging van de geuruitstoot kan leiden. In een ander publiek private samenwerkingsproject (C~AIR~EPig genaamd, LWV23.145) dat eind 2024 is gestart, vindt verder onderzoek plaats naar dit onderwerp.
- In sommige periodes is een hogere bijdrage van bepaalde vetzuren en p-cresol gemeten. Dit zou te maken kunnen hebben met factoren zoals temperatuur en wisselende biologische processen in de mestput.
- De andere meest voorkomende geurcomponenten in varkensgeur zijn goed te verwijderen door een biologische luchtwasser. Het gaat om de groepen zuren, fenolen en indolen. Deze lossen goed op in water met een pH tussen 6,5 en 7,5. Het is daarom aannemelijk dat dit bij alle biologische luchtwassers het geval is.
- Analyse van alle metingen over de hele meetperiode lijkt een trend zichtbaar te maken dat bij hogere pH-waarden de geurverwijdering beter is dan bij lagere pH-waarden. Een duidelijke conclusie bij deze hypothese is nog niet te geven. Het rapport (Mumm et al, 2025) van het parallel lopende project "anders meten geur" kan hier meer info over geven; dat bevat de analyse van de afzonderlijke componenten.
- In de huidige regelgeving (Omgevingsregeling) zijn de biologische combi-luchtwasser opgenomen met een verwijderingsrendement voor geur van 45%. In dit onderzoek is gebleken dat de onderzochte luchtwassers dit rendement, volgens de twee toegepaste methodes voor geurmetingen, op sommige meetmomenten niet hebben bereikt, op andere wel. Daarbij moet opgemerkt worden dat de rendementen zoals berekend via de twee methoden niet altijd op een lijn lagen.
- Een evaluatie van de conventionele en de chemische analytische methode voor het aspect reproduceerbaarheid laat zien dat de variatie tussen de duplo monsters bij de chemisch analytische methode duidelijk lager is dan bij de conventionele methode (Tabel 41). Bij de conventionele methode is soms sprake van grote spreiding tussen de duplo monsters. Dat wil zeggen: de berekende odour units van twee luchtzakmonsters die van dezelfde plek op hetzelfde moment zijn genomen varieerden sterk

(zie tabellen in hoofdstuk 3). Dat heeft invloed op de nauwkeurigheid van de rendementen die via de conventionele methode zijn berekend. Rendementen berekend op basis van de resultaten verkregen met de conventionele methode hebben een grotere onzekerheid dan resultaten verkregen met de chemisch analytische methode.

***Tabel 41*** *Variatie tussen duplo-monsters bepaald via de analytische en de sensorische methode op vier varkensbedrijven. Samples zijn voor en na een luchtwasser genomen. De kleuren geven verschillende meetronden aan.*

| Voor wasser | | Na wasser | |
|---|---|---|---|
| sOAV | Sensory | sOAV | Sensory |
| 12.8% | 29.6% | 6.1% | 7.0% |
| 0.9% | 5.6% | 20.9% | 67.9% |
| 2.4% | 1.0% | 16.8% | 94.2% |
| 10.1% | 17.1% | 6.9% | 11.1% |
| 1.6% | 31.8% | 4.1% | 26.9% |
| 1.9% | 27.6% | 2.2% | 95.0% |
| 3.1% | 11.1% | 0.3% | 22.4% |
| 5.0% | 19.8% | 9.8% | 39.5% |
| 8.1% | 20.2% | 2.7% | 29.3% |
| 22.1% | 7.7% | 15.6% | 19.1% |
| 7.3% | 46.6% | 7.6% | 5.5% |
| 1.0% | 2.2% | 0.4% | 22.7% |
| 2.8% | 64.2% | 5.3% | 24.9% |
| 5.1% | 52.6% | 0.5% | 40.8% |
| | | | |
| 6.0% | 24.1% | 7.1% | 36.2% |

Voor vermindering van geurvracht uit de stal zijn maatregelen nodig die het ontstaan van drie zwavelhoudende componenten methylmercaptaan, dimethylsulfide en $H_2S$ verminderen of voorkomen; dat lijkt niet mogelijk met eenvoudige aanpassingen aan bestaande biologische combi-luchtwasser. Mogelijkheden zijn bijvoorbeeld: het veranderen van de voersamenstelling (minder zwavelhoudende eiwitten en sulfaten voeren) of het sneller legen van de mestkelder, waarin door biologische processen ook waterstofsulfide wordt gevormd. Ook het optimaliseren van de microbiële samenstelling om zwavelcomponenten efficiënter de verwijderen zou een mogelijke aanpak kunnen zijn. In een studie van Hansen et al. (2018) was het verwijderingsrendement voor $H_2S$ in een drie-stap biologische luchtwasser bij de aanwezigheid van bepaalde schimmels duidelijk hoger dan zonder aanwezigheid van deze schimmels.

## 4.3 Informatievoorziening over de luchtwasser aan de gebruiker

Voor de beoordeling van de werking van een biologische combi-luchtwasser is goede informatievoorziening naar de eigenaar/beheerder zeer belangrijk. Doordat biologische luchtwassers gebruik maken van een microbiologische proces, kan de werking alleen indirect ingeschat worden aan de hand van veranderingen in omstandigheden en parameters. Bij het voorkomen en oplossen van problemen speelt goede informatievoorziening naar de gebruiker een belangrijke rol. Over het algemeen wordt in de huidige praktijk de data van metingen in/door de luchtwasser alleen weergegeven op een overzichtsscherm van de procescomputer van de luchtwasser. Dan betreft het echter enkel actuele waarden; er is geen zicht op het verloop van parameters over langere perioden. Daarnaast betekent het ontbreken van een digitale omgeving om data in te zien dat de eigenaar/beheerder eerst fysiek naar de luchtwasser moet gaan om data en storingen te kunnen inzien. Storingen of signalen van suboptimale werking worden hierdoor soms pas later opgemerkt.
Om de werking van de luchtwasser over langere perioden te kunnen beoordelen moet de gebruiker eerst ruwe data exporteren en bewerken. Dit vraagt om kennis van dataverwerking van de gebruiker en kennis van luchtwassers om de data te kunnen beoordelen. Binnen het project is tijdens de overleggen op de locaties gebleken dat het aanbieden van de data van een langere periode in grafieken, zoals weergeven in de resultaten van dit rapport, de gebruikers veel meer inzichten geeft dan alleen de huidige metingen op een scherm bij de luchtwasser en de ruwe data in getallen.

Het is technisch mogelijk om de dataverwerking en -opslag van data uit de (biologische combi-)luchtwassers te optimaliseren door data te verzenden naar een online platform. Automatische dataverwerking kan dan grafieken, data en informatie aanbieden in een vorm die relevant is voor de gebruiker: een periodeoverzicht met het verloop van parameters in de tijd. Bij storingen of afwijkende waardes van bijvoorbeeld de pH en EC kan het platform een automatische melding worden gedaan naar de gebruiker én de leverancier/onderhoudspartij. Het gebruiken van een onlineplatform voor dataverwerking van biologische combi-luchtwasser zal het signaleren en begrijpen van problemen en oplossen van storingen bespoedigen.

Tijdens de looptijd van dit onderzoek is gebleken dat bij de hierboven voorgestelde transitie van lokale dataopslag naar een online dataplatform soms data verloren kan gaan. Een dubbele opslag kan dit voorkomen: data zowel lokaal offline in/bij de procescomputer opslaan alsook in het online dataplatform. Zo is benodigde data altijd beschikbaar (te stellen) voor eigenaar, beheerder, leverancier en overheid.

## 4.4 Technisch functioneren en ontwerp van biologische combi-luchtwassers

Voor een goede werking van biologische combi-luchtwassers zijn een juist ontwerp, bouw en goed onderhoud van belang. In het Besluit activiteiten leefomgeving[6] (Bal) en Omgevingsregeling (Or) staan de regels waaraan luchtwassers moeten voldoen. In de systeembeschrijvingen[7] van de specifieke typen luchtwassers zijn de eisen in meer detail vastgelegd.
Biologische combi-wassers zijn complexe systemen die goed beheer en onderhoud nodig hebben om langdurig naar behoren te functioneren. De microbiologische processen in de luchtwasser kunnen verstoord raken door allerlei oorzaken. Dit is vaak zichtbaar aan de gevolgen: slijm- c.q. schuimvorming. Dat kan tot verstopping leiden, en ook tot verstoring en verslechterde verwijdering van stof, geur en ammoniak.

### 4.4.1 Ontwerp en bouw

Tijdens het onderzoek zijn rond het ontwerp en bouw van biologische combi-luchtwassers de volgende zaken opgevallen:

1. Bezinklaag en verstoppingen
   Een deel van het afgevangen stof uit de stallucht, (dode) biomassa en andere vervuiling zal bezinken onderin de waswaterput. Na verloop van tijd kan dit ophopen en via de waswaterpomp weer over het waspakket gesproeid worden. Dit kan als gevolg hebben dat zowel sproeiers als het waspakket verstopt raken. Tijdens het onderzoek is dat gebeurd op locatie 1 en 2. Door verstopte sproeiers komt niet alle stallucht meer in contact met het waswater, waardoor uitstoot van ammoniak en geur uit de luchtwasser toeneemt.
   Mogelijke oplossingen voor dit probleem zijn:
   a. Regelmatige afvoer van de bezinklaag met het spuiwater, door plaatsing van het aanzuigpunt voor het spuien onderin de waswaterput.
   b. Goede filtering – met eenvoudig te reinigen filters – in de aanvoerleiding naar het waspakket.
   c. Periodiek het waswater inclusief de bezinklaag volledige filteren of vervanging door de waswaterput leeg te zuigen met een externe tankwagen of pomp. Terugvoer van een deel van gefilterd waswater bekort de tijd die de biologische combi-luchtwasser nodig heeft voordat verwijderingsrendementen weer worden behaald.
2. Plaats van toevoer schoon water + van zuur en/of loog
   Voor een goede menging van het waswater is het van belang dat de toevoerpunten van schoon water, zuur en/of loog zich niet in de buurt van het aanzuigpunt van het waswater bevinden, zoals bij locatie 4 het geval was (zie par. 3.4.4 en par. 3.4.5). De aansturing van het spuien en de zuur/loog-dosering vindt mede plaats op basis van pH- en EC-waarden van het waswater. Over het algemeen worden de pH en EC

[6] https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/wet-regelgeving-luchtwassers/ en https://wetten.overheid.nl/BWBR0041330/2025-01-01 https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2025-01-01/0

[7] https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/wet-regelgeving-luchtwassers/systeembeschrijvingen-luchtwassers/ en https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/dierenverblijven/systeembeschrijvingen-stallen/systeembeschrijvingen-aanvullende-technieken/

van het waswater bepaald in de aanvoerleiding van het waswater naar het waspakket. Als de toevoerpunten van schoon water en zuur/loog dosering zich in de buurt bevinden van het aanzuigpunt van het waswater, fluctueert de samenstelling/pH van het waswater in de aanzuigleiding flink en is deze niet representatief voor het waswater in de gehele put. Voor een goed menging zou het doseerpunt in de buurt van de retourstroom van het waswater vanaf het waspakket naar de put geplaatst kunnen worden. Goede menging is ook van belang bij de aansturing van de luchtwasser.

3. Mengen van waswaterputten
   Het biologische proces van ammonium omzetten in nitraat is een aeroob proces, dit betekent dat er zuurstof nodig is voor deze omzetting. Tijdens het sproeien van het waswater over het waspakket lost zuurstof uit de (ventilatie)lucht op in het waswater. Voor een stabiele, voorspelbare werking is een homogene samenstelling van waswater met voldoende zuurstof nodig. Als er geen of te weinig zuurstof in het waswater aanwezig is zullen anaerobe processen, zoals denitrificatie plaatsvinden, waarbij nitraat wordt omgezet in stikstofgassen. Doordat dit in een ongecontroleerde omgeving plaats vindt kan dit resulteren in lachgas en $NO_x$ emissies.
   Als een waswaterput niet actief wordt gemengd en relatief groot is voor de benodigde hoeveelheid waswater voor de sproeiers, kan het voorkomen dat er 'dode hoeken' ontstaan. Het water in 'dode hoeken' wordt niet aangezogen door de waswaterpomp voor de sproeiers. Hierdoor vindt geen beluchting en opname van zuurstof plaats, en kan een anaerobe omgeving ontstaan. Mogelijke oplossing:
   a) het plaatsen van een mixsysteem (en beluchtingssysteem) in de waswaterput of
   b) De toevoerpunten van schoon water en aanzuigpunten voor de waswaterpomp zodanig ontwerpen en plaatsen dat een goede menging van de waswaterput is gegarandeerd.
4. De aansturing van de luchtwasser vindt mede plaats op basis van meetwaarden van sensoren (pH, EC). Deze zijn vaak geplaatst in de drukleiding na de waswaterpomp. Juiste meetwaarden zijn cruciaal voor een goede werking van de luchtwasser. Voor het garanderen van correcte meetwaardes van pH en EC is het belangrijk dat:
   a. Onderhoud en kalibratie volgens opgaaf fabrikant plaats vindt.
      Voor behoud van de werking mogen de sensoren nooit droog komen te staan.
   b. Voor borging van correcte metingen van de pH kan een bypass of y-splitsing in de toevoerleiding na de waswaterpomp worden gemaakt, met in beide een pH-sensor. Als de gemeten pH-waarde tussen beide sensoren verschilt (bijvoorbeeld meer dan 0,1 pH-punt) geeft de luchtwasser een melding voor onderhoud.
5. Waswater niveau aansturing (aanvoer van schoon water)
   De niveau-regeling van het waswater in de put vindt plaats met behulp van een sensor die het waterniveau uitleest. Bij een te lage waarde wordt er schoon water aangevoerd om het niveau weer bij te sturen. Hiervoor zijn verschillende typen sensoren in omloop. In het onderzoek zijn op locatie 1 en 4 uitvoeringen van niveaumeters aangetroffen die een verkeerde waarde aangeven bij schuimvorming in het waswater. Bij onjuiste waarden ontstaat een tekort aan waswater of de put 'overstroomt'; de luchtwasser stopt en meldt een storing.

### 4.4.2 Schuim- en slijmvorming

Op meerdere locaties is tijdelijk sprake geweest van schuimvorming in de waswaterput of slijmvorming in het waswaterpakket. Het is onduidelijk of deze schuim- en slijmvorming een gevolg is van niet-stabiele werking van de luchtwasser, resulterend in een stressresponse van de micro-organismen in het waswater of veroorzaakt is door groei van ongewenste micro-organismen. Bij het ontstaan van slijmvorming zal het waswaterpakket verstoppen en de drukval over de luchtwasser toenemen. Dit heeft als gevolg dat ventilatie in de stal met meer vermogen moet draaien om het gewenste stalklimaat te bereiken en meer stroom verbruikt. Bij een toename in drukval over tijd is het advies om visueel het waswaterpakket te inspecteren om verstoppingen te constateren en te verhelpen. Omdat de luchtwassers binnen het project niet langdurig stabiel hebben gewerkt, is schuimvorming binnen dit onderzoek niet verder onderzocht. Pas als de luchtwassers geruime tijd stabiel draaien, en schuim- en slijmvorming nog steeds voorkomen, is vast te stellen of dit probleem is gerelateerd aan de werking en instellingen van de luchtwasser. Voor specifieke aanwijzingen waarom schuim kan ontstaan, zelfs bij goed functionerende luchtwassers, is dan nader onderzoek nodig. Twee mogelijk oorzaken die niet verder zijn onderzocht zijn: mechanische stress voor de micro-organismen en een tekort aan zuurstof in het waswater. Mechanische stress kan verminderd worden

door aanpassingen in het ontwerp van de luchtwasser. Zuurstof tekort zou mogelijk opgelost kunnen worden door het aanbrengen van een luchtpomp in de waswaterput.

### 4.4.3 Onderhoud

Een biologische luchtwasser is een combinatie van techniek en microbiologie. Nalatig of slecht onderhoud kan direct invloed hebben op effectiviteit van het luchtwasser systeem. Ook in dit onderzoek bleek dat op sommige locaties de sensoren niet goed gekalibreerd of sproeiers verstopt waren. Het regelmatig visueel controleren is belangrijk, evenals tijdig onderhoud - uitgevoerd conform de systeembeschrijving – om potentiële afwijkingen te vinden en op te lossen. Hieronder staan twee punten genoemd die binnen dit onderzoek naar voren kwamen als cruciale controlepunten voor een goede werking van de biologische combi-luchtwassers.

1. Controle van de pH- en EC-sensoren: de afvoer van waswater (en indirect pH neutraal houden door aanvoer van schoon water), de oplosbaarheid van ammoniak en het voorkomen van vorming van lachgas zijn direct afhankelijk van de gemeten pH en EC-waarde. Bij afwijkingen van de sensoren is niet goed in te schatten of de luchtwasser goed functioneert. Periodieke controle en kalibratie zijn nodig voor correcte meetwaarden.
2. Sproeiers: stof uit stallucht komt in het waswater terecht, wat na opvoer door de waswaterpomp verstoppingen kan veroorzaken in de sproeiers boven het waspakket. Bij een onvolledig sproeibeeld zal een deel van de stallucht ongefilterd/ongewassen uit de luchtwasser komen, met als gevolg een verhoogde ammoniak- en geuruitstoot. Het is daarom van belang het waswater goed te filteren, de sproeiers periodiek visueel te controleren en verstopte sproeiers te vervangen of schoon te maken.

## 4.5 Sensoren en rendementen

In het onderzoek zijn meetwaarden gebruikt van diverse sensoren. Ammoniaksensoren (par. 2.4.2) die speciaal voor dit onderzoek geplaats waren. Daarnaast zijn waarden uit het elektronisch logboek (par. 2.4.1) gebruikt, die veelal gegenereerd zijn door sensoren die al aanwezig waren in de onderzochte luchtwassers. Onderhoud en regelmatige kalibratie zijn nodig, zoals in paragraaf 4.4.3 benoemd, om de kwaliteit van meetwaarden te bewaken. Bij het beoordelen van meetwaarden blijft het van belang om rekening te houden met beperkingen van sensoren en mogelijk fouten in de software van de sensor die het meetsignaal genereert. Onverwacht hoge of lage meetwaarden kunnen de werkelijkheid representeren of gevolg zijn van beperkingen of keuzes in het meetsysteem. Uurgemiddelde meetwaarden (in het elektronisch logboek) geven een betere weergave van de realiteit dan de afzonderlijke metingen binnen dat uur.

De verwijderingsrendementen van ammoniak, geur en fijnstof die luchtwassers (moeten) halen zijn uitgedrukt als percentage. Het betreft de verhouding van concentraties ammoniak, geur en fijnstof in de ingaande lucht ten opzichte van de uitgaande lucht – een relatieve waarde (%). De absolute concentraties en het ventilatiedebiet zijn ook van belang voor de totale emissievracht en belasting van de omgeving (kg/jaar). Bijvoorbeeld: als de ingaande lucht naar de luchtwasser 30 ppm ammoniak bevat en deze luchtwasser heeft een verwijderingsrendement van 85%, dan resteert 4,5 ppm. Als de ingaande lucht 10 ppm ammoniak bevat (door ander management of bronmaatregelen) en de luchtwasser verwijderd 80%, dan resteert 2 ppm. In het laatste geval voldoet de luchtwasser niet, maar de belasting van de omgeving is lager, onder de aanname dat het ventilatiedebiet in beide gevallen gelijk is.

Bij beoordeling van de meetdata van de sensoren is het van belang om rekening te houden met het feit dat geen enkele techniek 100% van de tijd zal voldoen aan de voorgeschreven grenswaardes en bandbreedtes. Bij een biologisch systeem kan de werking van de biologie slechts indirect beoordeeld worden aan hand van de veranderingen in de tijd van de meetwaardes. Voornamelijk bij structurele herhaling van een verandering van een paramater, zoals bijvoorbeeld daling in pH, kan worden vastgesteld dat dit het gevolg is van de biologische processen in het waswater. Een eenmalige overschrijding kan ook het gevolg zijn van een omgevingsinvloed zoals verandering van seizoen of verandering van bedrijfsvoering of incident in de stal. Beoordelen van overschrijdingen van de parameters vereist dus zowel kennis over de werking van de biologische combi-luchtwasser als de invloeden buiten de luchtwasser.

# 5 Conclusies en Aanbevelingen

Op 4 locaties is onderzoek gedaan bij één biologische combi-luchtwasser per bedrijf gedurende ruim een jaar. Het geheel van gesprekken, metingen en analyses levert inzichten op over:

- De verwijdering van ammoniak
- De verwijdering van geur
- Het belang van informatievoorziening
- Het technisch functioneren en ontwerp van biologische combi-luchtwassers

Deze inzichten resulteren in maatregelen en aanbevelingen om de verwijdering van ammoniak en geur door een biologische combi-wasser te verbeteren.

## 5.1 Maatregelen

Voor een goede werking is het van belang gebleken dat de luchtwassers technisch goed functioneren en de pH binnen de bandbreedte 6,5 – 7,5 blijft. Technisch goed functioneren betekent: ontwerp en bouw zijn goed en onderhoud wordt volgens voorschriften uitgevoerd. Bij stilstand en bij te hoge pH (>7,5) is de emissie van $NH_3$ hoog. Bij een te lage pH (<6,5) ontstaan, naast het onschadelijk $N_2$, de schadelijke gassen $NO_x$ en $N_2O$. Samenvattend zijn de volgende maatregelen mogelijk om de werking van biologische combi-luchtwassers in de praktijk te verbeteren en te optimaliseren.

**Software en zuur/loogdosering**

1. Het (door-)ontwikkelen van de besturing van de luchtwasser zodat deze adaptief is. De besturing zal instellingen voor spuiwaterafvoer aanpassen aan de hand van het verloop van pH en EC-waardes over tijd in plaats van alleen op de grenswaarde voor EC (20 mS/cm). De luchtwasser kan hierdoor reageren op veranderingen in de tijd. Parameter trends die gebruikt kunnen worden om spui instellingen adaptief te veranderen zijn o.a.: ammoniakvracht, temperatuur, bezettingsgraad van de stal.
2. Verbeteren van huidige besturing van biologische combi-luchtwassers door aansturing van spuiwaterproductie en toevoer van schoon water aan te passen naar de bedrijfsspecifieke omstandigheden (Handmatige variant van punt 1). Het aanpassen van de hoeveelheid spuiwater en/of frequentie van spuien om de productie en afvoer van zuur in balans te brengen. Afstelling is afhankelijk van te verwerken ammoniakvracht, pH van het schone water en weersomstandigheden (seizoen). Denk ook aan het instellen van een onderste pH waarde waarbij ook wordt gespuid om verzuring te neutraliseren met schoon water. Veranderingen van deze instellingen kan verzuring van biologische luchtwasser ondervangen voordat bijsturing met een loogdosering vereist is.
3. Met acties uit punt 1 en 2 is de pH beter binnen de bandbreedte te houden. Voor het garanderen van correcte pH is een zuur- en loogdosering nodig. Deze kan – als achtervang - de pH van het waswater tussen de 6,5 en 7,5 houden. Bij veranderingen van omstandigheden waardoor de pH van het waswater buiten deze bandbreedte zou kunnen treden, voorkomt de zuur- en loogdosering dit. Ondertussen kan de gebruiker en/of monteur aan de hand van de data onderzoeken wat de mogelijke aanleiding is waardoor de pH veranderd is en hierop handelen. Na verhelpen van het probleem zou de dosering van zuur en/of loog weer moeten afnemen waardoor het gebruik van zuur en loog tot een minimum beperkt blijft, maar wel de verwijdering van ammoniak geborgd blijft.
   Een zuurdosering is nodig bij luchtwassers die schoon water toevoegen met een pH hoger dan 7,5.

**Informatievoorziening**

4. Informatievoorziening online en lokale back-up
   Inzicht in de werking van de luchtwasser is een belangrijke sleutel voor goed beheer en onderhoud van de luchtwasser. Hierbij is alleen inzicht in de huidige kenmerken en parameters zoals af te lezen op de display van luchtwasser niet voldoende. Voor een beoordeling van de werking van een biologische luchtwasser is het verloop van de belangrijke parameters (pH, EC, stroomverbruik, spuiwater productie over tijd, etc.) in de afgelopen periode een vereiste. Door deze gegevens online in een portal te

ontsluiten is deze eenvoudig te raadplegen door de veehouder en onderhoudspartij. Opslag van data dient dan zowel online als in de luchtwasser te gebeuren om het risico op verlies van gegevens te minimaliseren zoals is geobserveerd bij pilotlocatie 3.
Advies: voor alle luchtwassers software ontwikkelen en implementeren zodat deze rapporteren naar een online platform waar de parameters worden verwerkt in overzichtelijke figuren over de afgelopen periode. Daarnaast de data ook offline opslaan om dataverlies van het elektronisch logboek te voorkomen.

**Ontwerp, bouw en onderhoud**

5. Minimaliseren van onderhoudstijd (en dus stilstand van de luchtwasser).
   Dat kan in eigen beheer door de veehouder. Dat kan – aanvullend – ook vorm krijgen in een afspraak met de leverancier/onderhoudspartij, in een service level agreement (SLA). Deze partij kan van gangbare typen luchtwassers onderdelen op voorraad houden. In de SLA kunnen responstijden staan, en afspraken over garantie. Een concept als luchtwasser-as-a-service is denkbaar: lease luchtwasser + beheer en onderhoud door externe partij.
6. Controle uitvoeren op punten 1, 2, 3, 5 uit paragraaf 4.4.1 en zo nodig genoemde aanpassingen rond de waswaterput laten doorvoeren.
7. Dubbele uitvoering van pH- en EC-sensoren om correcte meting van de pH en EC te borgen. Zie paragraaf 4.4.1 punt 4.

**Geurverwijdering**

Voor het verbeteren van het reductierendement voor geur is de volgende maatregelen mogelijk:

1. pH van het waswater inregelen in het bovenste deel van de pH-bandbreedte
   Zwavelcomponenten lossen beter op bij een hogere pH. Als de pH-regelingen zoals hierboven voorgesteld stabiel werken en responsief zijn op veranderingen in omstandigheden, is het mogelijk om een smallere pH-bandbreedte in te stellen. Bijvoorbeeld een bandbreedte tussen de 7,0 en 7,4. Op dit punt is er echter sprake van tegenstrijdigheid met de gewenste situatie voor ammoniakverwijdering, die robuuster is bij een pH tussen 6,5 - 7,0.

Voor vermindering van geurvracht uit de stal zijn maatregelen nodig die het ontstaan van zwavelhoudende stoffen in de ventilatielucht verminderen of voorkomen; door de slechte oplosbaarheid van zwavelcomponenten is dat is niet mogelijk met kleinschalige aanpassingen in bestaande luchtwassers. Enkele bronmaatregelen om vorming van deze geurcomponenten te voorkomen zijn:

2. Aanpassing in samenstelling voer: minder zwavel- en sulfaat-houdende ingrediënten.
3. Snelle afvoer van mest. Mest is een bron van o.a. $H_2S$ die vrijkomt uit biologische processen in de mest (Timmerman, 2016). Door snelle afvoer van mest uit de stal zal de vorming van deze geurcomponenten in de stal voorkomen worden.

## 5.2 Aanbevelingen

In de looptijd van het onderzoek zijn – naast genoemde punten in voorgaande alinea's – punten naar voren gekomen waarmee de werking of het beheer van biologische combi-luchtwassers mogelijk verder te verbeteren is. Het betreft technische aanvullingen aan/rond de luchtwasser (punt 1 en 2) of aanpassingen in de besturing van de luchtwasser die nog nader onderzoeken nodig hebben (punt 3 en 4). Het laatste punt (5) betreft specifiek het onderwerp geur.

1. Ammoniaksensor(en) in uitgaande lucht
   Biologische combi-luchtwassers kunnen hoge verwijderingsrendementen (>85%) voor ammoniak realiseren als ze goed ontworpen en gedimensioneerd zijn, technisch goed functioneren en de pH van het waswater stabiel binnen de bandbreedte (pH 6,5 – 7,5) blijft.
   Het elektronisch logboek van de luchtwasser, met daarin onder andere de pH, en het overzicht van storingen (type, duur) geven inzicht in de werking van de luchtwasser. Voor de biologische werking betreft het echter beoordeling op basis van indirecte parameters.
   Direct inzicht in het resultaat van de werking van de luchtwasser is mogelijk door een ammoniaksensor op een representatieve plaats in de uitgaande lucht te monteren. Deze sensor meet de concentratie

ammoniak real time en continue. De sensor kan een eigen systeem hebben, met weergave en opslag van meetwaarden. Het is ook mogelijk om de sensor aan sluiten op het besturingssysteem van de luchtwasser.
Deze laatste optie heeft de voorkeur; de gemeten waarden krijgen een plaats in het elektronisch logboek en zijn op dezelfde wijze inzichtelijk als andere parameters. Ook ontstaat zo de mogelijkheid dat het besturingssysteem de gemeten waarden gebruikt bij de aansturing van de luchtwasser in een adaptieve automatische regeling. Deze sensor(en) hebben onderhoud en kalibratie nodig, net zoals de pH en EC sensoren, om valide waarden te kunnen meten.

2. Loggen van het ventilatiedebiet + ammoniaksensor(en) in de in- en uitgaande lucht
Door ammoniaksensoren in zowel de ingaande als uitgaande lucht op een representatieve plaats te monteren ontstaat de mogelijkheid om het verwijderingsrendement van de luchtwasser te berekenen. Met deze waarden is direct zichtbaar of de luchtwasser het voorgeschreven rendement behaald.
Door ook het ventilatiedebiet te loggen ontstaat de mogelijkheid om de ingaande en uitgaande vracht (kg $NH_3$ per uur) te berekenen. De data over ingaande vracht ammoniak maakt proactieve sturing van de luchtwasser mogelijk, met een adaptieve automatische regeling. Hiermee is een stabiele werking beter te realiseren onder veranderende omstandigheden door te sturen op de resulterende variatie in ingaande vracht ammoniak.
Als de uitgaande vracht bekend is, is het mogelijk om de ammoniakemissie over een bepaalde tijd te berekenen. Inzicht in deze cumulatieve emissie maakt een vergelijking met de vergunde, toegestane emissie mogelijk (doelvoorschrift). Een veehouder kan de impact op emissie zien van diverse situaties en vormen van bedrijfsmanagement.
Voor het loggen van ventilatie is nodig dat klimaatcomputers functionaliteit hebben om actuele debieten te registreren. Het betreft dan berekende, beoogde ventilatiedebieten, of de gecumuleerde waarde van alle ventilatoren als deze zijn uitgerust met meetwaaiers. Een algemeen, wettelijk verplicht communicatieprotocol maakt gebruik van ventilatiegegevens in diverse toepassingen eenvoudiger en sneller toe te passen.

3. Verlagen bovenwaarde pH van het waswater
De toegestane bovenwaarde voor pH van het waswater is 7,5. In dit onderzoek is meermaals gezien dat bij die waarde de opname van ammoniak in het waswater al kan verminderen. Met een goed functionerende adaptieve regeling is een iets lagere bovenwaarde - bijvoorbeeld pH 7,3 – mogelijk realiseerbaar zonder verdere inzet van een zuur/loogdosering.
Een iets lagere pH is beter voor de verwijdering van ammoniak, echter de verwijdering van geur – met name zwavelhoudende componenten – lijkt beter te werken bij hogere pH. De optimale balans, en daarmee de bovenwaarde van pH, is daarmee mede afhankelijk van de omgeving waarin de luchtwasser staat.

4. Reduceren van de hoeveelheid waswater over het waspakket bij dalende pH, als onderdeel van adaptieve automatische regeling
Als sprake is van verzuring door te hoge nitrificatie snelheid, zie paragraaf 4.1, is dat bij te sturen door extra te spuien. In de huidige praktijk wordt een luchtwasser vaak tijdelijk (1-2 dagen) uitgezet als sprake is van verzuring van het waswater. De verwachting is dat een deel van de nitrificerende biomassa afsterft en waarschijnlijk vindt denitrificatie plaats in een deel van de waswaterput. Dit heeft als gevolg dat de pH stijgt in het waswater. Mogelijk is dit principe bruikbaar bij de regulering van de pH: in heel gedoseerde vorm de groei/activiteit van nitrificatie remmen door minder waswater over het waspakket te sproeien door de waswaterpomp op een lagere frequentie te laten draaien. De eerste resultaten op locaties 1 (par. 3.1.6) en locatie 2 (par. 3.2.7), waar dit in de besturing is ingebouwd, laten een positief resultaat zien. Maar dit zal eerste verder moeten worden onderzocht of dit daadwerkelijk werkt om pH daling te verminderen.
Bijkomend voordeel van deze regeling is een lager stroomverbruik van de waswaterpomp. Belangrijke voorwaarde: het sproeibeeld over het waspakket moet ten allen tijd volledig besproeid blijven; het sproeibeeld over het waspakket moet dekkend zijn. Anders ontstaan er plaatsen waar de ventilatielucht ongewassen de luchtwasser verlaat, met hoge ammoniak- en geuremissie tot gevolg. De minimale hoeveelheid waswater moet transparant en controleerbaar vastgesteld zijn, en bijbehorende frequentie van de waswaterpomp waarbij dit plaats vindt. Deze frequentie (+ veiligheidsmarge) moet in de besturing zijn vastgelegd als ondergrens. Voor de borging is nodig dat de pompfrequentie onderdeel wordt van het elektronisch logboek en de minimale frequentie is vastgesteld door een onafhankelijke partij.

5. (Door)ontwikkelen real time geurmetingen
   Het beoordelen van een luchtwasser aan de hand van discrete metingen levert beperkt inzichten op over variatie in samenstelling van geur en het verwijderingsrendement voor geur door de luchtwasser. De variatie in geurconcentratie en -samenstelling binnen en tussen bedrijven in dit onderzoek is groot. Een uitkomst hiervoor zouden continu metingen van geurstoffen zijn door middel van sensoren. De sensoren zouden in staat moeten zijn om relevante geurstoffen zoals $H_2S$, methylmercaptaan, fenolen en vetzuren te detecteren. Deze stoffen dienen dan als proxy voor de totale geurproductie.
   Uit de resultaten vanuit de chemisch analytische methode komt naar voren dat een flink deel van de resterende geur na de luchtwasser bestaat uit zwavelcomponenten. Mogelijk zijn sensoren voor deze componenten (door) te ontwikkelen naar toepassing in luchtwassers en/of varkenshouderij. Onderzoek is gewenst om na te gaan of zwavelcomponenten als proxy voor de totale geur kunnen dienen. Misschien kan $H_2S$, als meest voorkomende en bijdragende zwavelcomponent, als proxy dienen.
   Als sensoren voor geur gemaakt of gevonden zijn, kan hiervoor genoemde aanbevelingen 1 en 2 ook voor geur gebruikt worden om resultaat van verwijdering en sturing op verwijdering van geur te bevorderen.

Het gebruik van extra sensoren in combinatie met doorontwikkelde adaptieve besturing lijkt mogelijkheden te bieden om biologische combi-luchtwasser beter en stabieler te laten werken.

# Literatuur


CEN (2003). Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Brussels, Standardization ECf: 70

Deng, Q., Zhang, T., Zhao, F., Wang, H., & Yin, J. (2020). The Influence of Hydrogeology to Generation of Hydrogen Sulfide of Low-Rank Coal in the Southeast Margin of Junggar Basin, China. Geofluids, 2020. https://doi.org/10.1155/2020/8859100

Hansen, M. J., C. L. Pedersen, L. H. Søgaard Jensen, L. B. Guldberg, A. Feilberg and L. P. Nielsen (2018). Removal of hydrogen sulphide from pig house using biofilter with fungi. Biosystems Engineering 167: 32-39.

Hansen, M. J., A. P. S. Adamsen, C. Wu and A. Feilberg (2021) Additivity between Key Odorants in Pig House Air. Atmosphere 12, https://doi.org/10.3390/atmos12081008

Hansen, M. J. and A. Feilberg (2019). A protocol for chemical measurement of odour in relation to abatement technologies for animal production - version 1. Advisory report from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture. Aarhus, Aarhus University, Department of Engineering: 12.

Lewis, A. E. (2010). Review of metal sulphide precipitation. Hydrometallurgy, 104(2), 222–234. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.06.010

Maasdam, E., Melse, R. W., & Ogink, N. W. M. (2021). Onderzoek naar verbeterpunten voor combi-luchtwassers in de praktijk. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1337). Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/554345

Melse, R. W., Nijeboer, G. M., & Ogink, N. W. M. (2018). Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen: Deel 1: Oriënterend onderzoek naar werking gecombineerde luchtwassers en verschillen tussen geurlaboratoria. (Wageningen Livestock Research rapport; No. 1081). Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/441648

Melse, R. W., Nijeboer, G. M., & Ogink, N. W. M. (2018). Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen: Deel 2: Steekproef rendement luchtwassers in de praktijk. (Wageningen Livestock Research rapport; No. 1082). Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/441649

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. https://doi.org/10.18174/500006

Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink, (2021); Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020, 2022. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1377. https://doi.org/10.18174/572109

Mumm, R., N. W. M. Ogink (2025). Ontwikkeling chemisch-analytische geurmeetmethode voor toepassing in veehouderij; Optimalisatie en validatie. Wageningen, Wageningen University and Research: in voorbereiding.

Timmerman, M. (2016). Mestgassen uit melkveemest : jaarrond metingen van H2S-concentraties. (Livestock Research rapport; No. 1002). Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/401764

Ogink, N. W. M. (2011). Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 (Rapport / Wageningen UR Livestock Research; No. 491). Wageningen UR Livestock Research. https://edepot.wur.nl/179498

# Bijlage 1 Geur-analyses chemisch analytische methode

## B1.1 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 1

Berekende geurconcentratie (ppbv) van 18 geurstoffen op basis van concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode tijdens meetperioden 2 tot en met 5 op locatie 1.

***Tabel 42*** *Locatie 1 - meetperiode 2.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061308 | 2063506 | 2063651 | 2063511 | 2065291 | 2061306 | 2063666 | 2063504 | 2061367 | 2063278 | 2063639 | 2061251 |
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 32 | | | 230 | | | 255 | | | 268 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | NK | 0.58 | 0.68 | 0.42 | 0.50 | 0.49 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 165.2 | 17.5 | 30.4 | 100.0 | 243.3 | 45.5 | 227.3 | 237.5 | 207.2 | 227.9 | 373.4 | 236.0 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 1.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 1.8 | 0.6 | 2.3 | 2.0 | 2.2 | 2.9 | 2.3 | 3.2 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 2.6 | 0.7 | 0.6 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | 0.0 | NK | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.2 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.0 | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 237.9 | 238.6 | 229.8 | 284.1 | 283.7 | 265.4 | 67.8 | 68.1 | 63.9 | 71.2 | 70.1 | 66.6 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 7.7 | 6.8 | 7.3 | 8.6 | 8.3 | 7.3 | 2.5 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.1 | 2.0 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 6.2 | 4.4 | 3.4 | 7.1 | 4.9 | 4.1 | 4.0 | 3.8 | 3.4 | 5.0 | 4.2 | 3.7 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 40462.4 | 40462.4 | 40462.4 | 40462.4 | 40462.4 | 40462.4 | 1677.9 | 1677.9 | 1677.9 | 1677.9 | 1677.9 | 1677.9 |

***Tabel 43*** *Locatie 1 - meetperiode 3.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061420 | 2065352 | 2061039 | 2061415 | 2063649 | 2061308 | 2061273 | 2063278 | 2061279 | 2061224 | 2061222 | 2063511 |
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 216 | | | 280 | | | 197 | | | 298 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 1.3 | 1.1 | 1.2 | 0.9 | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 557.6 | 373.8 | 553.4 | 517.4 | 523.7 | 532.6 | 115.9 | 34.6 | 32.6 | 62.8 | 28.8 | 60.3 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 66.0 | 52.1 | 63.1 | 64.5 | 66.3 | 58.8 | 1.6 | 0.7 | 0.7 | 2.9 | 0.8 | 1.4 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 4.2 | 3.1 | 3.4 | 4.2 | 4.4 | 3.6 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 33.0 | 27.4 | 29.2 | 28.7 | 28.8 | 27.7 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.7 | 0.3 | 0.2 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 12.1 | 10.2 | 10.7 | 10.2 | 10.2 | 10.0 | NK | NK | NK | 0.0 | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 5.7 | 5.8 | 5.4 | 4.3 | 4.5 | 4.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | NK | 0.0 | NK | 0.1 | NK | 0.0 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | 0.2 | 0.2 | 0.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 1.1 | 1.1 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 238.2 | 240.8 | 248.1 | 248.0 | 241.2 | 239.0 | 167.9 | 172.5 | 184.1 | 165.3 | 168.0 | 164.0 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 8.2 | 5.8 | 6.2 | 5.9 | 5.5 | 5.4 | 5.0 | 4.2 | 5.3 | 4.6 | 5.3 | 5.1 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 15.0 | 4.9 | 4.7 | 4.7 | 4.3 | 4.4 | 10.2 | 4.1 | 3.9 | 5.4 | 4.8 | 4.3 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 24054.5 | 24054.5 | 24054.5 | 24054.5 | 24054.5 | 24054.5 | 9995.7 | 9995.7 | 9995.7 | 9995.7 | 9995.7 | 9995.7 |

***Tabel 44*** *Locatie 1 - meetperiode 4.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061374 | 2061185 | 2061415 | 2063495 | 2061279 | 2061418 | 2063509 | 2061306 | 2061420 | 2061273 | 2061367 | 2063278 |
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 145 | | | 174 | | | 277 | | | 266 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | 0.1 |
| 64-19-7 | Acetic acid | 417.9 | 438.0 | 413.4 | 374.7 | 405.0 | 408.0 | 329.8 | 415.8 | 398.2 | 288.7 | 216.5 | 285.3 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 47.0 | 48.1 | 47.8 | 48.7 | 48.6 | 47.4 | 16.9 | 16.9 | 16.1 | 3.4 | 3.0 | 6.8 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.6 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 21.4 | 22.4 | 24.9 | 20.8 | 23.6 | 24.9 | 6.6 | 7.0 | 6.8 | 0.9 | 0.8 | 1.9 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 7.8 | 8.9 | 8.8 | 6.0 | 7.6 | 8.4 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 |
| 109-52-4 | Valeric acid | 4.8 | 5.5 | 5.1 | 4.4 | 4.5 | 4.8 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.0 | NK | NK | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 173.4 | 172.4 | 171.5 | 150.1 | 155.1 | 151.3 | 142.0 | 141.8 | 141.5 | 149.5 | 151.1 | 144.9 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 3.5 | 6.6 | 4.0 | 3.5 | 4.1 | 3.1 | 4.1 | 3.2 | 2.9 | 2.8 | 2.6 | 2.7 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 3.3 | 13.8 | 3.7 | 3.5 | 3.0 | 2.9 | 8.5 | 4.0 | 2.6 | 3.6 | 2.9 | 6.6 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 21214.0 | 21214.0 | 21214.0 | 21214.0 | 21214.0 | 21214.0 | 791.0 | 791.0 | 791.0 | 791.0 | 791.0 | 791.0 |

***Tabel 45*** *Locatie 1 - meetperiode 5.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061254 | 2063651 | 2063666 | 2061273 | 2063506 | 2061251 | 2063509 | 2061265 | 2065352 | 2065291 | 2063523 | 2061263 |
| | Bedrijf | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | | Pilot 1 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 284 | | | 002 | | | 111 | | | 228 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 39.5 | 37.3 | 35.4 | 46.5 | 42.4 | 46.4 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 417.2 | 163.9 | 63.7 | 937.6 | 593.7 | 896.0 | 61.8 | 49.8 | 30.6 | 38.4 | 22.6 | 48.6 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 70.5 | 26.5 | 8.9 | 105.6 | 66.1 | 111.4 | 2.1 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 0.6 | 3.0 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 7.2 | 3.6 | 1.8 | 10.6 | 7.6 | 11.5 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 16.1 | 10.9 | 7.5 | 22.0 | 18.4 | 24.1 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.1 | 1.4 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 1.9 | 1.3 | 1.0 | 1.9 | 2.3 | 2.6 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.6 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 604.6 | 593.9 | 583.9 | 629.9 | 620.9 | 629.4 | 389.6 | 381.2 | 390.2 | 361.5 | 353.3 | 357.9 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 12.8 | 7.1 | 7.1 | 8.3 | 7.1 | 7.0 | 9.5 | 6.8 | 7.7 | 5.9 | 6.2 | 6.9 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 14.6 | 4.6 | 3.9 | 8.9 | 4.0 | 3.4 | 12.7 | 4.1 | 3.8 | 5.8 | 3.4 | 3.3 |

# B1.2 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 2

Berekende geurconcentratie (ppbv) van 18 geurstoffen op basis van concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode tijdens meetperioden 2 tot en met 5 op locatie 2.

***Tabel 46*** *Locatie 2 - meetperiode 2.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061313 | 2063511 | 2063506 | 2061251 | 2065291 | 2061308 | 2061306 | 2061367 | 2063278 | 2063523 | 2063666 | 2063639 |
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 014 | | | 248 | | | 202 | | | 227 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | NK | 0.4 | 0.4 | 0.3 | NK | 0.4 |
| 64-19-7 | Acetic acid | 54.7 | 52.8 | 18.5 | 42.3 | 115.2 | 106.9 | 52.0 | 18.6 | 13.1 | 34.4 | 22.0 | 67.8 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 1.2 | 0.4 | 0.9 | 0.6 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | NK | NK | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | 0.1 | 0.0 | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.0 | 0.0 | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.1 | 0.0 | 0.1 | NK | 0.1 | NK | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | NK | 0.2 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | NK | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | 0.0 | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1585.6 | 1550.8 | 1527.7 | 1596.9 | 1574.8 | 1532.2 | 352.0 | 331.4 | 333.9 | 280.8 | 271.6 | 265.7 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 9.5 | 9.2 | 9.3 | 9.3 | 9.6 | 9.4 | 10.8 | 9.5 | 9.8 | 9.5 | 8.0 | 7.7 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 3.8 | 3.2 | 3.2 | 3.7 | 3.1 | 3.3 | 6.0 | 3.7 | 3.4 | 5.0 | 3.5 | 3.3 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 34517.6 | 34517.6 | 34517.6 | 34517.6 | 34517.6 | 34517.6 | 15101.5 | 15101.5 | 15101.5 | 15101.5 | 15101.5 | 15101.5 |

***Tabel 47*** *Locatie 2 - meetperiode 3.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061401 | 2061251 | 2061265 | 2061185 | 2063651 | 2063509 | 2061413 | 2063639 | 2061340 | 2063504 | 2061374 | 2061424 |
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 128 | | | 174 | | | 033 | | | 096 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | NK | 3.3 | 3.6 | 3.5 | 3.6 | 3.8 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.1 | NK | 1.1 |
| 64-19-7 | Acetic acid | 116.0 | 117.9 | 141.8 | 33.2 | 19.2 | 41.1 | 180.7 | 183.6 | 77.8 | 295.2 | 597.2 | 342.0 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 2.7 | 2.1 | 2.9 | 1.1 | 0.6 | 1.3 | 4.5 | 3.7 | 2.1 | 3.7 | 20.0 | 4.7 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.4 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 1.0 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 3.4 | 0.7 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | 0.0 | NK | NK | NK | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 0.2 |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 0.3 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.3 | 0.1 | 0.1 | NK | NK | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.4 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.2 | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.9 | 2.6 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | 0.1 | 0.1 | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1645.2 | 1631.8 | 1653.2 | 1556.1 | 1609.3 | 1636.9 | 1373.3 | 1378.8 | 1368.1 | 1366.8 | 1391.3 | 1419.1 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 10.9 | 11.4 | 11.9 | 10.8 | 10.2 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 11.1 | 14.7 | 10.7 | 10.3 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 5.6 | 4.0 | 4.2 | 6.8 | 4.1 | 2.8 | 4.4 | 4.0 | 4.2 | 13.8 | 4.6 | 3.2 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 34997.1 | 34997.1 | 34997.1 | 34997.1 | 34997.1 | 34997.1 | 5273.5 | 5273.5 | 5273.5 | 5273.5 | 5273.5 | 5273.5 |

***Tabel 48*** *Locatie 2 - meetperiode 4.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2063509 | 2065291 | 2061254 | 2061420 | 2063511 | 2061374 | 2065352 | 2063506 | 2061308 | 2061413 | 2061418 | 2063651 |
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 226 | | | 075 | | | 049 | | | 051 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| **431-03-8** | **2,3-Butanedione** | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.8 | 1.3 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 |
| **64-19-7** | **Acetic acid** | 1228.0 | 1397.5 | 1346.6 | 1281.7 | 1224.6 | 1248.0 | 72.9 | 34.0 | 89.9 | 88.1 | 80.6 | 127.3 |
| **79-09-4** | **Propionic acid** | 106.4 | 127.2 | 125.1 | 128.0 | 123.2 | 135.8 | 1.8 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 1.1 | 6.0 |
| **79-31-2** | **Isobutyric acid** | 4.4 | 5.9 | 5.2 | 5.0 | 5.0 | 6.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **107-92-6** | **Butyric acid** | 67.4 | 76.2 | 83.2 | 85.5 | 81.0 | 76.7 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.7 |
| **503-74-2** | **Isovaleric acid** | 35.9 | 39.1 | 42.4 | 42.0 | 38.4 | 36.2 | NK | NK | NK | NK | NK | 0.0 |
| **109-52-4** | **Valeric acid** | 38.6 | 41.4 | 41.7 | 41.0 | 37.3 | 35.8 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| **142-62-1** | **Hexanoic acid** | 4.5 | 5.0 | 5.2 | 4.7 | 4.2 | 4.0 | NK | 0.2 | NK | 0.0 | NK | NK |
| **111-14-8** | **Heptanoic acid** | NK | NK | NK | NK | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **108-95-2** | **Phenol** | 0.6 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| **106-44-5** | **p-Cresol (4-methylphenol)** | 2.2 | 2.4 | 2.2 | 2.2 | 1.9 | 2.0 | 0.1 | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| **123-07-9** | **4-ethylphenol** | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **120-72-9** | **Indole** | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **83-34-1** | **3-methyl indole** | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **7783-06-4** | **Hydrogen sulfide** | 663.8 | 658.7 | 658.3 | 657.2 | 676.0 | 676.5 | 520.3 | 526.3 | 526.8 | 525.9 | 526.6 | 524.3 |
| **74-93-1** | **Methyl mercaptan** | 8.6 | 8.2 | 8.1 | 8.3 | 9.9 | 8.8 | 9.0 | 9.4 | 9.0 | 9.6 | 9.4 | 9.3 |
| **624-92-0** | **Dimethyl disulfide** | 5.4 | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 5.3 | 3.4 | 2.8 | 3.6 | 2.5 | 2.8 | 2.9 | 3.3 |
| **7664-41-7** | **Ammonia** | 32791.8 | 32791.8 | 32791.8 | 32791.8 | 32791.8 | 32791.8 | 16683.5 | 16683.5 | 16683.5 | 16683.5 | 16683.5 | 16683.5 |

***Tabel 49*** *Locatie 2 - meetperiode 5.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061222 | 2063504 | 2061306 | 2063649 | 2061420 | 2061413 | 2061039 | 2061185 | 2061279 | 2061415 | 2063635 | 2063511 |
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 149 | | | 233 | | | 206 | | | 269 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| **431-03-8** | **2,3-Butanedione** | 29.8 | 34.3 | 29.4 | 36.0 | 31.9 | 65.3 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | NK | NK | 0.5 |
| **64-19-7** | **Acetic acid** | 48.0 | 90.7 | 86.1 | 124.9 | 59.0 | 205.8 | 33.4 | 43.9 | 74.5 | 24.0 | 33.8 | 52.2 |
| **79-09-4** | **Propionic acid** | 2.5 | 7.2 | 8.1 | 4.9 | 2.4 | 5.5 | 4.5 | 1.3 | 2.2 | 0.5 | 1.3 | 1.1 |
| **79-31-2** | **Isobutyric acid** | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **107-92-6** | **Butyric acid** | 0.7 | 1.9 | 3.4 | 1.1 | 0.5 | 1.2 | 1.7 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.3 | 0.2 |
| **503-74-2** | **Isovaleric acid** | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **109-52-4** | **Valeric acid** | NK | 0.4 | 0.9 | 0.3 | NK | 0.3 | 0.5 | NK | NK | NK | NK | NK |
| **142-62-1** | **Hexanoic acid** | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | NK | 0.1 | NK | NK | NK | 0.2 | NK | NK |
| **111-14-8** | **Heptanoic acid** | 0.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.3 | NK | NK |
| **108-95-2** | **Phenol** | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| **106-44-5** | **p-Cresol (4-methylphenol)** | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.2 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| **123-07-9** | **4-ethylphenol** | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **120-72-9** | **Indole** | 0.1 | 0.0 | NK | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **83-34-1** | **3-methyl indole** | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| **7783-06-4** | **Hydrogen sulfide** | 256.7 | 254.8 | 265.7 | 259.9 | 252.5 | 271.1 | 167.7 | 166.7 | 168.2 | 170.0 | 170.6 | 169.5 |
| **74-93-1** | **Methyl mercaptan** | 6.9 | 4.9 | 4.8 | 5.9 | 4.5 | 4.7 | 10.1 | 4.0 | 3.7 | 3.4 | 3.3 | 3.5 |
| **624-92-0** | **Dimethyl disulfide** | 13.1 | 3.5 | 3.2 | 7.5 | 3.2 | 2.9 | 15.4 | 3.4 | 2.9 | 5.8 | 2.9 | 3.0 |

***Tabel 50*** *Locatie 2 - meetperiode 5.*

| | | ppbv | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061306 | 2061224 | 2063635 | 2061420 | 2065352 | 2061251 |
| | Bedrijf | Pilot 2 | | | Pilot 2 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 061 | | | 208 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 18.8 | 20.1 | 35.2 | 75.4 | 106.7 | 167.5 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 1.3 | 0.5 | 0.7 | 13.1 | 5.8 | 10.5 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | 1.5 | 0.0 | 1.3 |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 5.4 | 2.8 | 6.0 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | 1.4 | 1.1 | 1.7 |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.4 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | NK | NK | 0.1 | NK | NK | 0.0 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.3 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 1.2 | 1.0 | 1.3 | 0.9 | 1.0 | 1.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.1 | 0.0 | 0.0 | NK | 0.0 | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 196.7 | 194.4 | 196.2 | 205.0 | 213.4 | 210.1 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 4.1 | 2.4 | 2.4 | 6.7 | 3.0 | 2.8 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 6.5 | 2.4 | 2.3 | 10.3 | 2.8 | 2.4 |

# B1.3 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 3

Berekende geurconcentratie (ppbv) van 18 geurstoffen op basis van concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode tijdens meetperioden 2 tot en met 5 op locatie 3.

***Tabel 51*** *Locatie 3 - meetperiode 2.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061231 | 2061263 | 2063278 | 2061265 | 2061251 | 2063666 | 2061374 | 2061424 | 2065056 | 2061313 | 2063523 | 2063651 |
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 042 | | | 180 | | | 176 | | | 211 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 1.4 | 1.0 | 1.4 | 0.7 | 0.9 | 1.2 | NK | NK | 0.3 | NK | 0.4 | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 152.2 | 343.9 | 25.6 | 18.3 | 30.1 | 11.8 | 16.9 | 48.0 | 30.7 | 15.8 | 30.4 | 52.4 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 1.4 | 2.0 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.1 | 0.4 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.1 | 0.1 | 0.0 | NK | 0.0 | 0.0 | NK | 0.1 | 0.0 | NK | NK | 0.1 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | NK | 0.0 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1689.6 | 1655.5 | 1650.9 | 1663.6 | 1655.8 | 1560.5 | 109.2 | 105.3 | 104.7 | 137.9 | 135.0 | 137.1 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 32.7 | 32.0 | 31.4 | 32.6 | 32.1 | 30.7 | 22.2 | 21.3 | 21.1 | 23.0 | 23.5 | 23.9 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 4.7 | 4.2 | 4.3 | 5.4 | 5.0 | 4.9 | 6.1 | 5.7 | 5.9 | 6.1 | 5.8 | 6.0 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 25025.3 | 25025.3 | 25025.3 | 25025.3 | 25025.3 | 25025.3 | 17690.3 | 17690.3 | 17690.3 | 17690.3 | 17690.3 | 17690.3 |

***Tabel 52*** *Locatie 3 - meetperiode 3.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061263 | 2061340 | 2063278 | 2061313 | 2061222 | 2061412 | 2061374 | 2065056 | 2063509 | 2061308 | 2061265 | 2061415 |
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 014 | | | 098 | | | 271 | | | 074 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | NK | 0.2275 | 0.2 | 0.1712 | 0.2211 | 0.2843 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 236.1 | 213.0 | 211.1 | 206.5 | 212.1 | 195.4 | 111.5 | 100.7 | 88.2 | 129.9 | 93.8 | 79.4 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 16.9 | 17.4 | 13.9 | 17.2 | 11.2 | 13.9 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.9 | 1.2 | 1.4 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 15.7 | 15.3 | 18.7 | 14.7 | 17.3 | 17.1 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | 0.5 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 0.1 | 0.2 | NK | 0.2 | 0.1 | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 6.0 | 5.4 | 5.9 | 4.4 | 5.1 | 5.3 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 1.1 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.2 | 0.9 | 0.2 | 0.1 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | 0.3 | NK | NK | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.5 | 0.7 | 1.2 | 0.6 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1055.8 | 1081.4 | 1130.8 | 1037.6 | 1046.9 | 1107.7 | 721.9 | 762.8 | 783.6 | 745.2 | 746.7 | 780.0 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 20.3 | 16.7 | 17.4 | 16.2 | 15.8 | 16.8 | 14.9 | 12.1 | 13.0 | 12.7 | 13.1 | 13.1 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 12.5 | 4.1 | 3.5 | 8.4 | 4.0 | 3.8 | 13.1 | 3.9 | 3.5 | 5.9 | 3.6 | 3.5 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 18697.1 | 18697.1 | 18697.1 | 18697.1 | 18697.1 | 18697.1 | 1150.6 | 1150.6 | 1150.6 | 1150.6 | 1150.6 | 1150.6 |

***Tabel 53*** *Locatie 3 - meetperiode 4.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061265 | 2063649 | 2061251 | 2063639 | 2063523 | 2063666 | 2065056 | 2061313 | 2065291 | 2061412 | 2063511 | 2065352 |
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 4 | | | Pilot 5 | | | Pilot 6 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 280 | | | 092 | | | 292 | | | 099 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 64-19-7 | Acetic acid | 541.1 | 529.6 | 532.4 | 577.1 | 632.5 | 660.7 | 138.0 | 262.1 | 133.7 | 320.8 | 343.8 | 231.2 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 52.1 | 54.4 | 47.6 | 49.7 | 50.4 | 49.3 | 7.3 | 7.2 | 3.4 | 17.2 | 17.6 | 12.0 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.3 | 1.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 34.0 | 37.1 | 36.2 | 37.5 | 34.3 | 33.1 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 5.7 | 5.6 | 4.8 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 12.5 | 13.4 | 12.8 | 14.6 | 12.3 | 12.7 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 1.2 | 1.1 | 0.9 |
| 109-52-4 | Valeric acid | 10.0 | 10.6 | 10.0 | 12.2 | 10.2 | 10.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 0.8 | 0.7 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 3.3 | 2.1 | 2.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 2.3 | 2.1 | 2.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.0 | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 877.2 | 829.2 | 854.3 | 845.9 | 892.0 | 859.0 | 566.6 | 613.2 | 582.8 | 614.5 | 604.1 | 599.4 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 20.1 | 15.4 | 16.1 | 15.3 | 20.9 | 15.9 | 13.4 | 15.4 | 13.8 | 15.4 | 14.5 | 14.0 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 11.0 | 2.5 | 2.9 | 2.3 | 11.4 | 2.9 | 2.4 | 7.2 | 2.4 | 5.3 | 3.1 | 2.7 |

***Tabel 54*** *Locatie 3 - meetperiode 5.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2065056 | 2061265 | 2061251 | 2061279 | 2063666 | 2065352 | 2061308 | 2061185 | 2061340 | 2063651 | 2061306 | 2063649 |
| | Bedrijf | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | | Pilot 3 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 221 | | | 290 | | | 190 | | | 251 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 20.4 | 29.1 | 26.0 | 17.5 | 7.3 | 13.2 | 70.2 | 58.1 | 29.0 | 124.7 | 95.1 | 115.6 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.7 | 1.4 | 0.4 | 3.8 | 1.6 | 1.5 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.4 | 0.3 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.0 | NK | 0.0 | NK | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1340.5 | 1334.3 | 1346.2 | 1292.3 | 1292.9 | 1267.8 | 1108.2 | 1113.8 | 1107.4 | 1022.9 | 1000.6 | 1002.4 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 21.5 | 21.4 | 21.7 | 21.3 | 21.1 | 20.4 | 17.2 | 16.9 | 17.2 | 16.5 | 15.5 | 15.7 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 3.2 | 2.8 | 2.7 | 3.4 | 2.7 | 2.7 | 3.2 | 2.3 | 2.4 | 3.0 | 2.4 | 2.7 |

# B1.4 Berekende geurconcentraties in ppbv – locatie 4

Berekende geurconcentratie (ppbv) van 18 geurstoffen op basis van concentraties gemeten met de chemisch-analytische methode tijdens meetperioden 2 tot en met 5 op locatie 4.

***Tabel 55*** *Locatie 4 - meetperiode 2.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061412 | 2065352 | 2063504 | 2063639 | 2061367 | 2063506 | 2063511 | 2061308 | 2065291 | 2061340 | 2061418 | 2061273 |
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 141 | | | 271 | | | 170 | | | 205 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 0.7 | 0.8 | 0.9 | NK | 0.7 | 0.7 | 0.2 | NK | NK | NK | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 43.6 | 136.7 | 57.6 | 34.8 | 16.0 | 29.4 | 16.7 | 74.7 | 74.4 | 64.9 | 68.9 | 451.9 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 1.1 | 3.4 | 1.4 | 1.9 | 0.7 | 1.1 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 1.8 | 4.2 | 3.5 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | 0.1 | 0.1 | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | NK | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 795.2 | 775.4 | 781.1 | 886.6 | 876.5 | 856.0 | 286.8 | 274.0 | 269.9 | 258.8 | 258.0 | 256.6 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 18.5 | 17.6 | 18.1 | 19.2 | 19.5 | 19.5 | 19.7 | 17.6 | 17.4 | 16.1 | 17.0 | 16.5 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 3.4 | 2.9 | 3.2 | 3.5 | 3.6 | 2.6 | 5.4 | 3.8 | 3.3 | 3.2 | 3.5 | 3.4 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 12512.6 | 12512.6 | 12512.6 | 12512.6 | 12512.6 | 12512.6 | 5033.8 | 5033.8 | 5033.8 | 5033.8 | 5033.8 | 5033.8 |

***Tabel 56*** *Locatie 4 - meetperiode 3.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2063635 | 2065291 | 2063639 | 2061413 | 2063511 | 2061251 | 2061224 | 2061039 | 2061306 | 2061279 | 2061185 | 2061420 |
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 202 | | | 035 | | | 180 | | | 248 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 182.9 | 139.5 | 133.1 | 143.6 | 107.5 | 100.8 | 145.1 | 77.2 | 112.4 | 50.0 | 117.5 | 27.7 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 26.7 | 14.2 | 12.5 | 17.4 | 11.4 | 13.7 | 2.8 | 1.0 | 2.0 | 0.9 | 4.2 | 0.5 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 23.2 | 24.4 | 22.6 | 15.6 | 15.9 | 12.4 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.2 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | 0.2 | 0.1 | 0.2 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 8.0 | 8.3 | 8.2 | 4.4 | 3.8 | 3.8 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.0 | NK | NK | 0.1 | 0.1 | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | NK | NK | NK | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 2213.3 | 2319.0 | 2460.4 | 2153.5 | 2231.6 | 2294.5 | 653.5 | 662.2 | 690.9 | 718.2 | 738.0 | 774.3 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 41.8 | 42.5 | 45.3 | 43.4 | 45.2 | 45.8 | 28.8 | 25.5 | 26.8 | 29.7 | 28.2 | 29.6 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 6.5 | 3.1 | 3.3 | 5.2 | 3.5 | 3.3 | 11.3 | 4.8 | 4.3 | 13.0 | 3.9 | 4.0 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 7083.3 | 7083.3 | 7083.3 | 7083.3 | 7083.3 | 7083.3 | 2948.4 | 2948.4 | 2948.4 | 2948.4 | 2948.4 | 2948.4 |

**Tabel 57** *Locatie 4 - meetperiode 4.*

| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061306 | 2063649 | 2063635 | 2061185 | 2063523 | 2063666 | 2061039 | 2061265 | 2061401 | 2061313 | 2061412 | 2061251 |
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 5 | | | Pilot 6 | | | Pilot 7 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 219 | | | 268 | | | 022 | | | 050 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 0.4 | 0.4 | NK | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | NK | NK |
| 64-19-7 | Acetic acid | 847.4 | 830.7 | 815.1 | 754.3 | 719.9 | 695.5 | 61.3 | 104.0 | 48.7 | 127.0 | 77.5 | 111.0 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 95.6 | 104.2 | 96.1 | 95.9 | 92.2 | 82.8 | 2.5 | 3.5 | 2.7 | 3.8 | 3.1 | 3.8 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | 2.2 | 2.8 | 2.0 | 2.1 | 1.8 | 1.6 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 44.4 | 47.1 | 44.7 | 42.7 | 44.9 | 41.9 | 0.6 | 0.9 | 0.7 | 1.3 | 1.0 | 1.4 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | 11.8 | 11.4 | 12.4 | 11.2 | 10.5 | 9.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| 109-52-4 | Valeric acid | 11.2 | 11.2 | 12.3 | 11.1 | 11.0 | 9.9 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.8 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 1.4 | 0.7 | 1.1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | NK | 0.0 | 0.0 | 0.1 | NK | 0.4 |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | NK | NK | NK | 0.0 | NK | NK |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 396.5 | 397.2 | 385.5 | 433.9 | 428.4 | 443.5 | 105.4 | 105.6 | 104.0 | 99.9 | 103.9 | 102.9 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 7.8 | 8.1 | 7.6 | 8.7 | 8.6 | 8.7 | 8.4 | 8.3 | 8.2 | 8.2 | 8.8 | 8.4 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 2.7 | 3.3 | 2.4 | 2.7 | 2.6 | 2.9 | 2.9 | 3.6 | 2.5 | 2.8 | 3.7 | 2.8 |
| 7664-41-7 | Ammonia | 17762.2 | 17762.2 | 17762.2 | 17762.2 | 17762.2 | 17762.2 | 10786.8 | 10786.8 | 10786.8 | 10786.8 | 10786.8 | 10786.8 |

**Tabel 58** *Locatie 4 - meetperiode 5.*

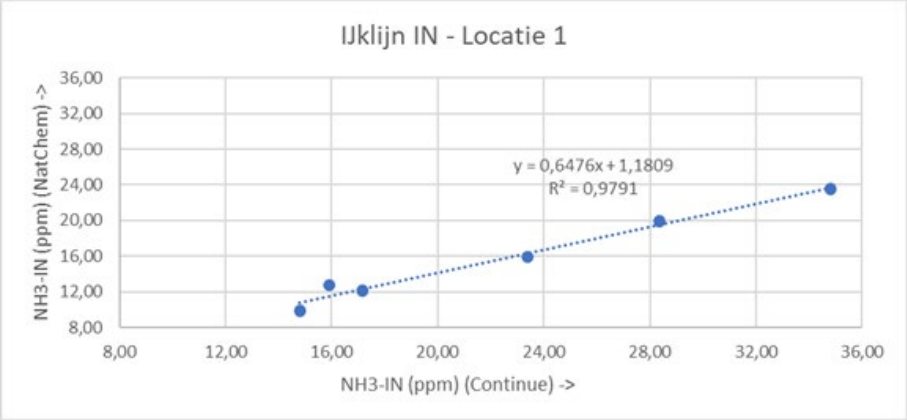
| | | ppbv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buisnummer | 2061308 | 2063278 | 2061313 | 2065056 | 2061224 | 2061418 | 2061340 | 2061412 | 2048283 | 2061401 | 2061367 | 2063639 |
| | Bedrijf | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | | Pilot 4 | | |
| | Positie (luchtwasser) | ingaand | | | ingaand | | | uitgaand | | | uitgaand | | |
| | Luchtzakmateriaal | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | | Nalofaan | | |
| | Zaknummer | 106 | | | 227 | | | 156 | | | 059 | | |
| | Technischereplica | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| CAS-NR | Naam | | | | | | | | | | | | |
| 431-03-8 | 2,3-Butanedione | 71.0 | 76.6 | 84.0 | 84.9 | 89.9 | 85.6 | 0.5 | 0.5 | NK | NK | 0.3 | 0.4 |
| 64-19-7 | Acetic acid | 50.9 | 29.2 | 71.2 | 32.1 | 67.7 | 111.7 | 29.4 | 90.0 | 30.2 | 54.1 | 34.8 | 72.6 |
| 79-09-4 | Propionic acid | 1.9 | 1.5 | 1.1 | 1.5 | 3.5 | 11.1 | 2.6 | 2.9 | 1.4 | 2.0 | 2.5 | 2.4 |
| 79-31-2 | Isobutyric acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 107-92-6 | Butyric acid | 0.7 | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 1.1 | 3.6 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 |
| 503-74-2 | Isovaleric acid | NK | NK | NK | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK |
| 109-52-4 | Valeric acid | 0.3 | NK | NK | NK | 0.1 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | NK | 0.5 | 0.2 |
| 142-62-1 | Hexanoic acid | 0.0 | NK | NK | NK | NK | 0.1 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 111-14-8 | Heptanoic acid | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 108-95-2 | Phenol | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 106-44-5 | p-Cresol (4-methylphenol) | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 123-07-9 | 4-ethylphenol | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 120-72-9 | Indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 83-34-1 | 3-methyl indole | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | NK | NK | NK | NK | NK | NK |
| 7783-06-4 | Hydrogen sulfide | 1017.0 | 1009.9 | 1018.7 | 994.6 | 1032.5 | 1026.2 | 128.3 | 134.4 | 133.2 | 132.3 | 133.6 | 138.6 |
| 74-93-1 | Methyl mercaptan | 21.4 | 20.7 | 21.1 | 22.4 | 21.7 | 20.9 | 12.5 | 13.0 | 12.8 | 12.6 | 12.8 | 13.1 |
| 624-92-0 | Dimethyl disulfide | 4.8 | 3.7 | 3.5 | 7.9 | 4.0 | 3.4 | 3.0 | 3.5 | 3.6 | 3.4 | 3.5 | 3.3 |

# Bijlage 2 Referentiemetingen ammoniak

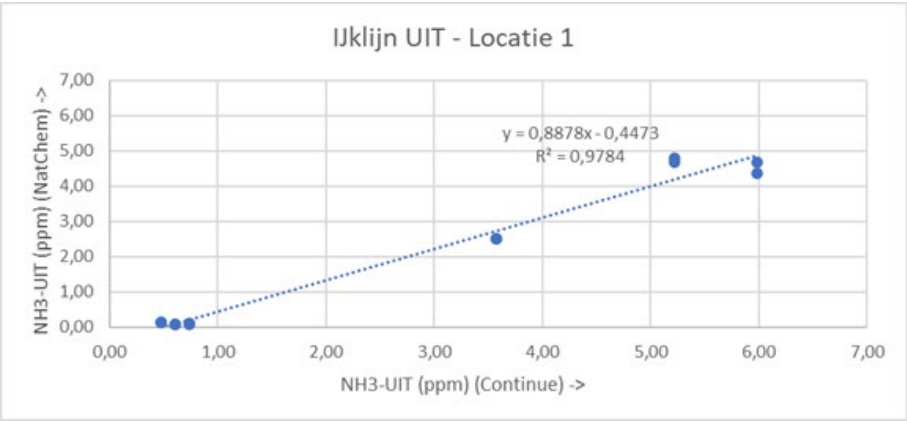
De onderstaande tabellen presenteren de resultaten van een lineaire regressieanalyse die is uitgevoerd ter vaststelling van een kalibratielijn. Deze kalibratielijn beschrijft de relatie tussen de gemeten ammoniak ($NH_3$)-concentratieniveaus uit continu-metingen en de concentratieniveaus die zijn bepaald met de nat-chemische methode, zoals beschreven in hoofdstuk *2.4.2 Ammoniakmetingen*, waarin wordt verwezen naar Mosquera et al. (2019). De tabellen zijn weergeven per locatie, waarbij per onderdeel de relevante resultaten worden gepresenteerd.

## B2.1 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 1

Op locatie 1 zijn op een zestal momenten, in duplo, referentiemetingen uitgevoerd. Ten tijde hiervan zijn ook continue-metingen gelogd en beschikbaar voor analyse. Onderstaand in Figuur B2.1 staat het resultaat weergegeven van de bemeten ingaande concentraties, en in Figuur B2.2 het resultaat van de bemeten uitgaande concentraties.



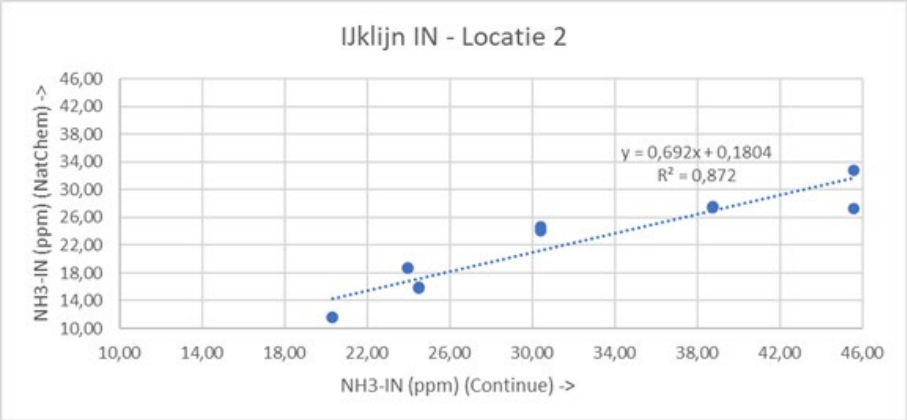

***Figuur B2.1*** *IJklijn - Ingaande $NH_3$-concentratie locatie 1.*



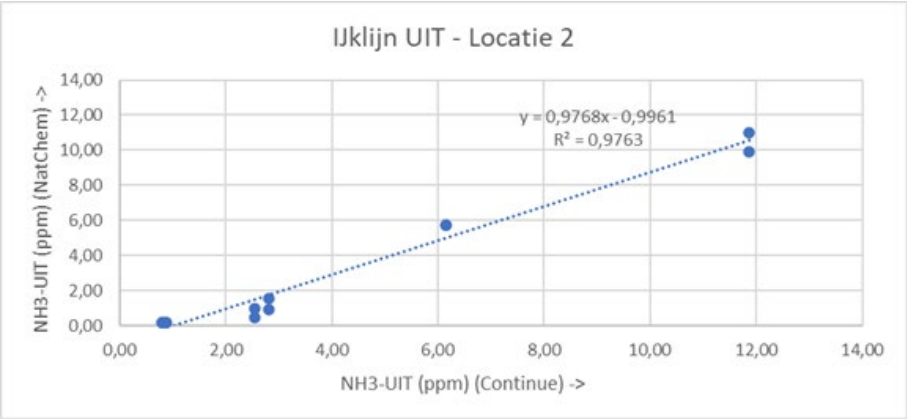

***Figuur B2.2*** *IJklijn - Uitgaande NH3-concentratie locatie 1.*

## B2.2 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 2

Op locatie 2 zijn eveneens op een zestal momenten, in duplo, referentiemetingen uitgevoerd. Ten tijde hiervan zijn ook continue-metingen gelogd en beschikbaar voor analyse. Onderstaand in Figuur B2.3 staat het resultaat weergegeven van de bemeten ingaande concentraties, en in Figuur B2.4 het resultaat van de bemeten uitgaande concentraties.




***Figuur B2.3*** *IJklijn - Ingaande NH3-concentratie locatie 2.*



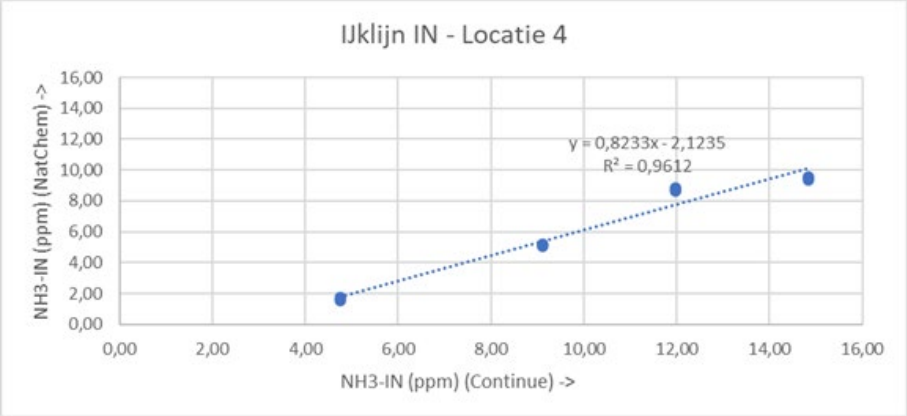

***Figuur B2.4 4*** *IJklijn - Uitgaande NH3-concentratie locatie 2.*

## B2.3 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 3

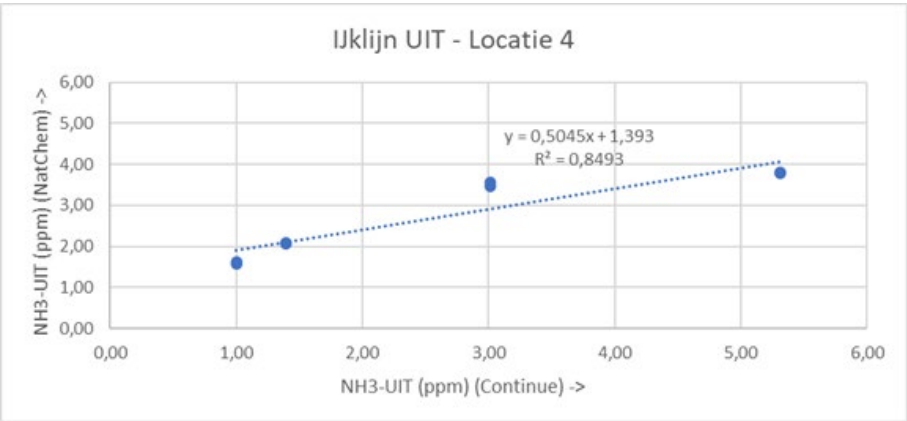
Op locatie 3 zijn op een vijftal momenten, in duplo, referentiemetingen uitgevoerd. Als gevolg van onvoldoende internetverbinding, zijn ten tijde van de referentiemetingen maar op één moment continue-metingen gelogd. Dit maakt de dataset te summier om een ijklijn voor deze locatie op te stellen.

## B2.4 Kalibratie ammoniaksensoren – locatie 4

Op locatie 4 zijn op een zestal momenten, in duplo, referentiemetingen uitgevoerd. Ten tijde van referentiemeting 2, 3, 4, & 5 zijn ook continue-metingen gelogd en beschikbaar voor analyse. Onderstaand in Figuur B2.5 staat het resultaat weergegeven van de bemeten ingaande concentraties, en in Figuur B2.6 het resultaat van de bemeten uitgaande concentraties.



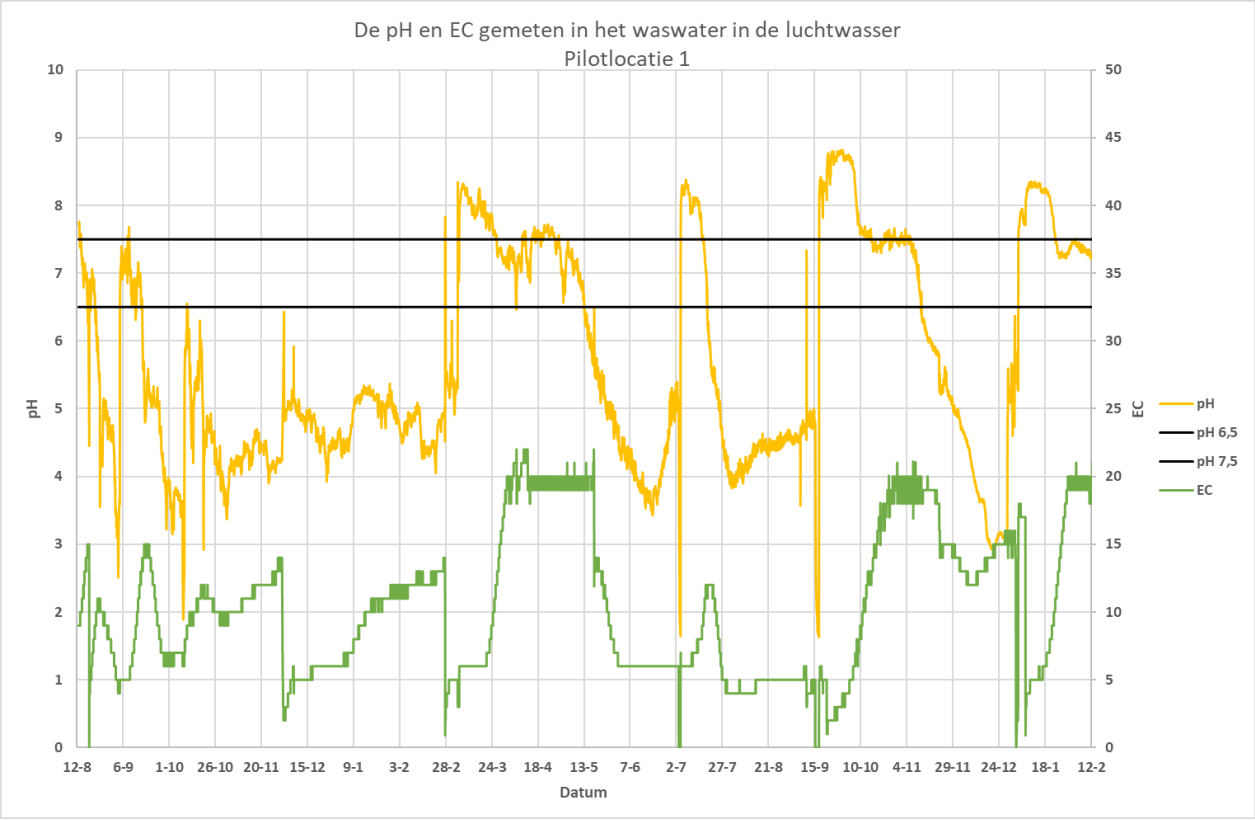

***Figuur B2.5*** *IJklijn - Ingaande NH3-concentratie locatie 4.*



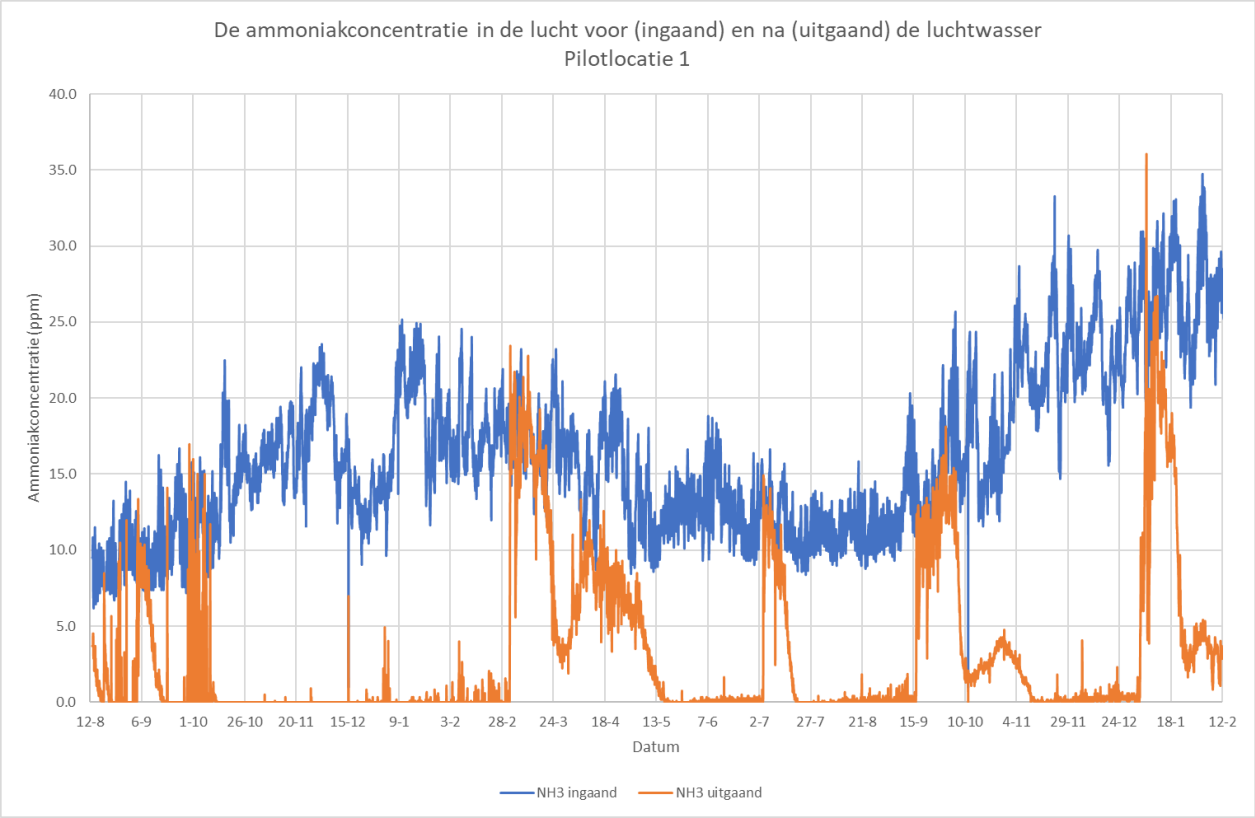

***Figuur B2.6*** *IJklijn - Uitgaande NH3-concentratie locatie 4.*

# Bijlage 3 Tijdreeksen van de locaties

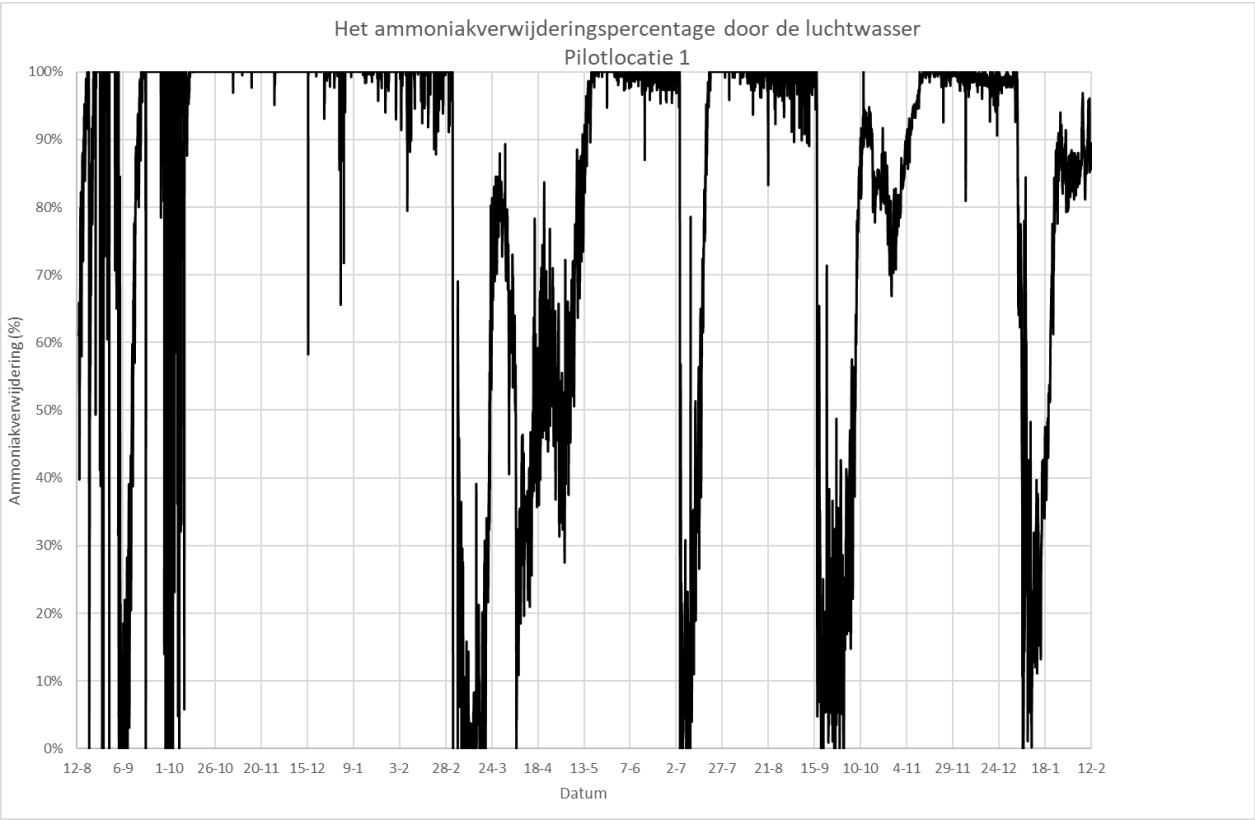
## B3.1 Tijdreeks locatie 1




***Figuur B2.7*** *pH en EC-waarden van de luchtwasser op locatie 1 van alle meetperiodes.*

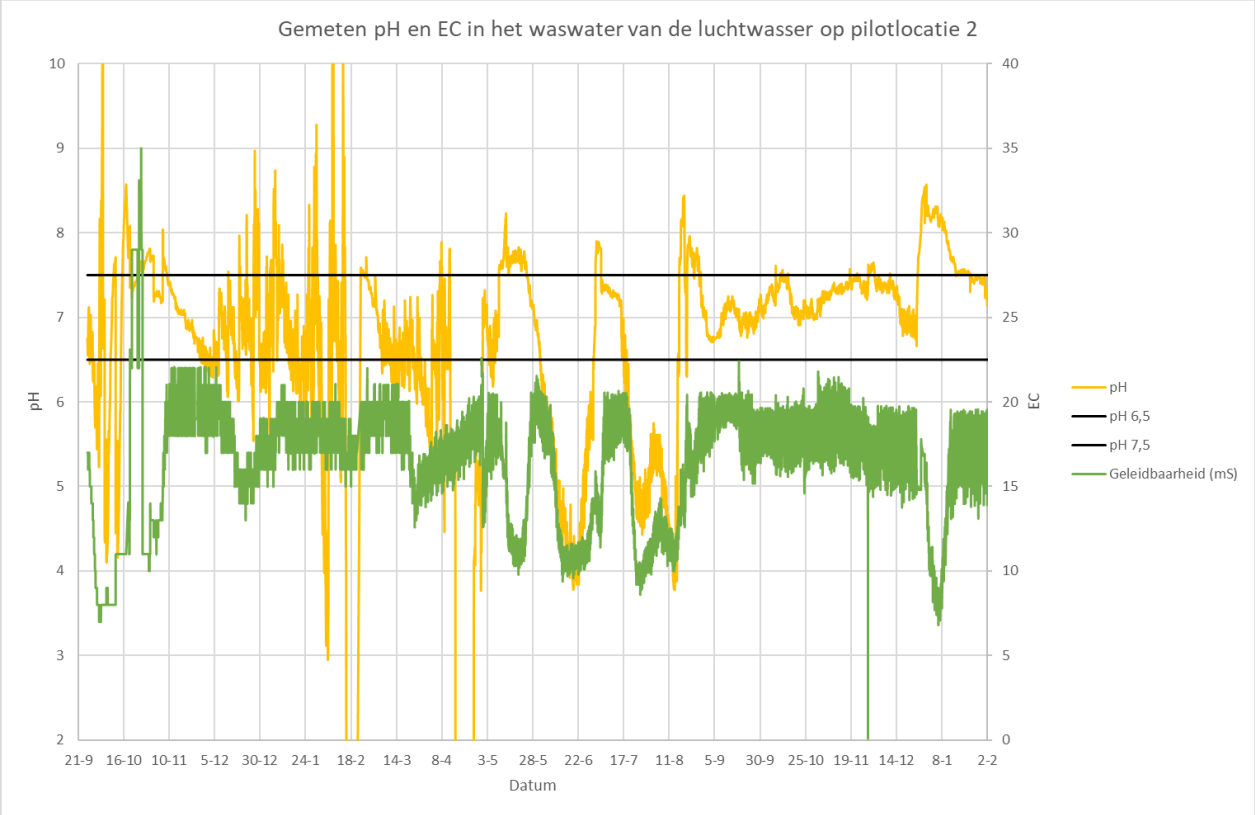



***Figuur B2.8*** *In- en uitgaande concentraties ammoniak bij de luchtwasser op locatie 1 van alle meetperiodes.*

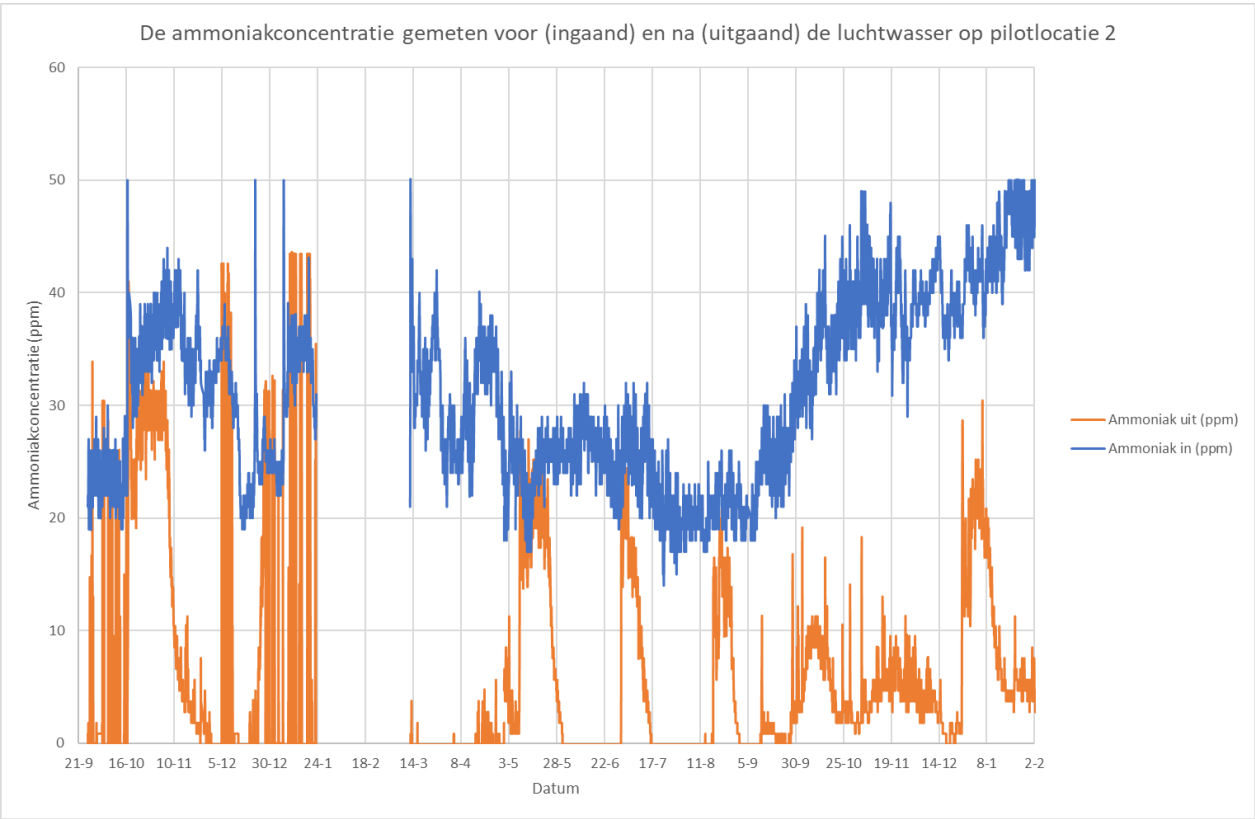



***Figuur B2.9*** *Ammoniakverwijderingsrendement op locatie 1 van alle meetperiodes.*

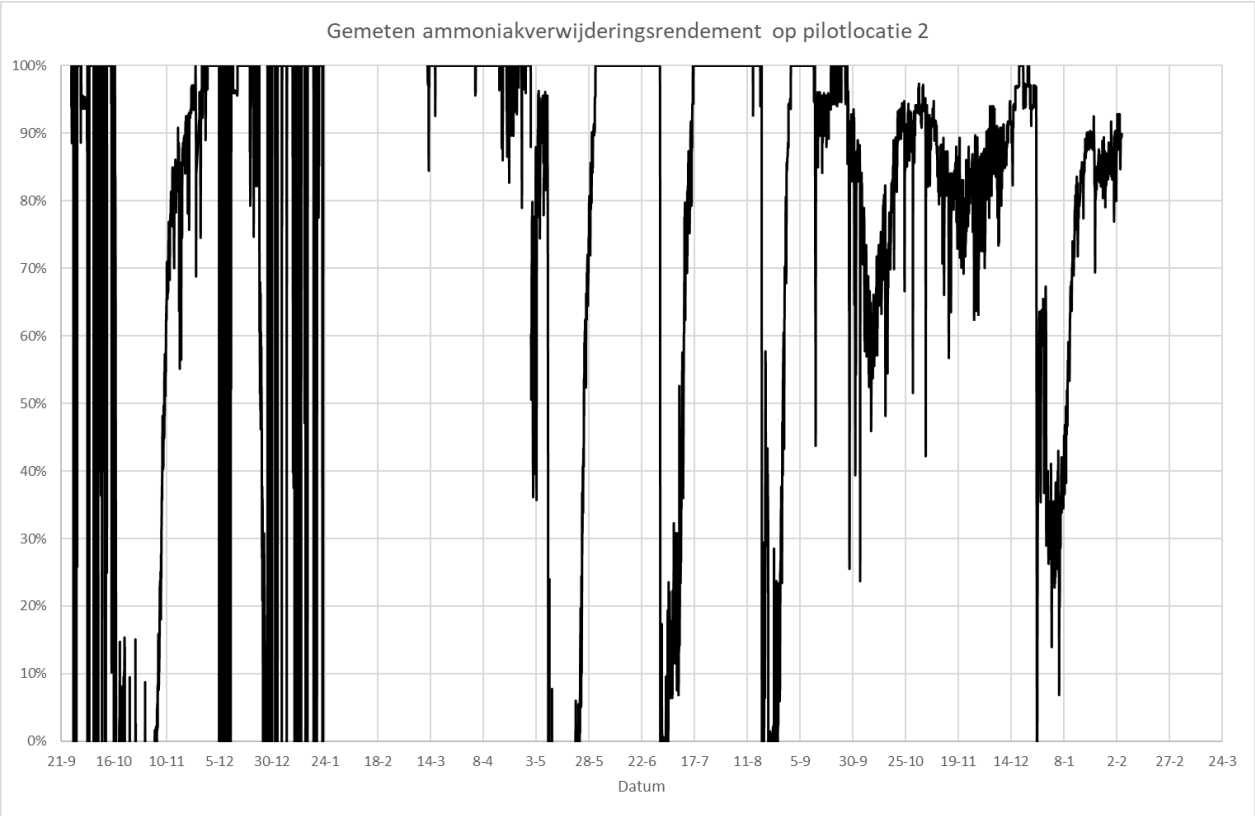
## B3.2 Tijdreeks locatie 2




***Figuur B2.10*** *pH en EC-waarden van de luchtwasser op locatie 2 van alle meetperiodes.*

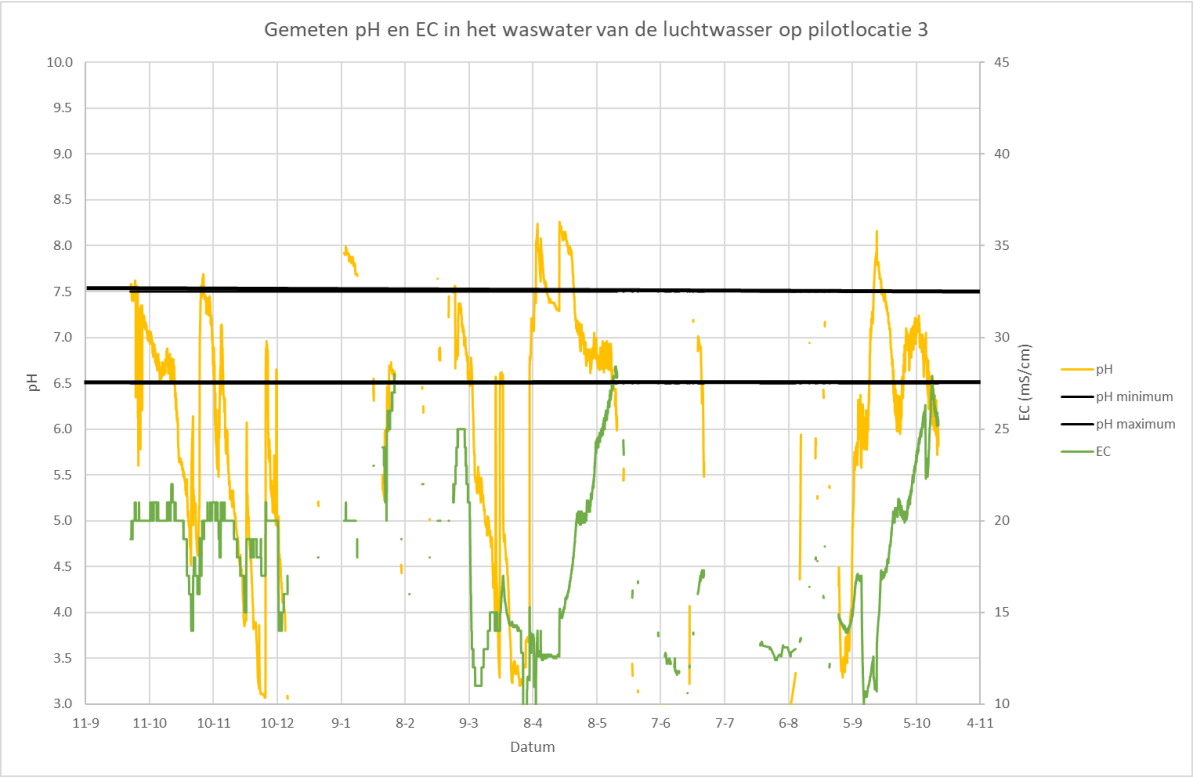



***Figuur B2.11*** *In- en uitgaande concentraties ammoniak bij de luchtwasser op locatie 2 van alle meetperiodes.*

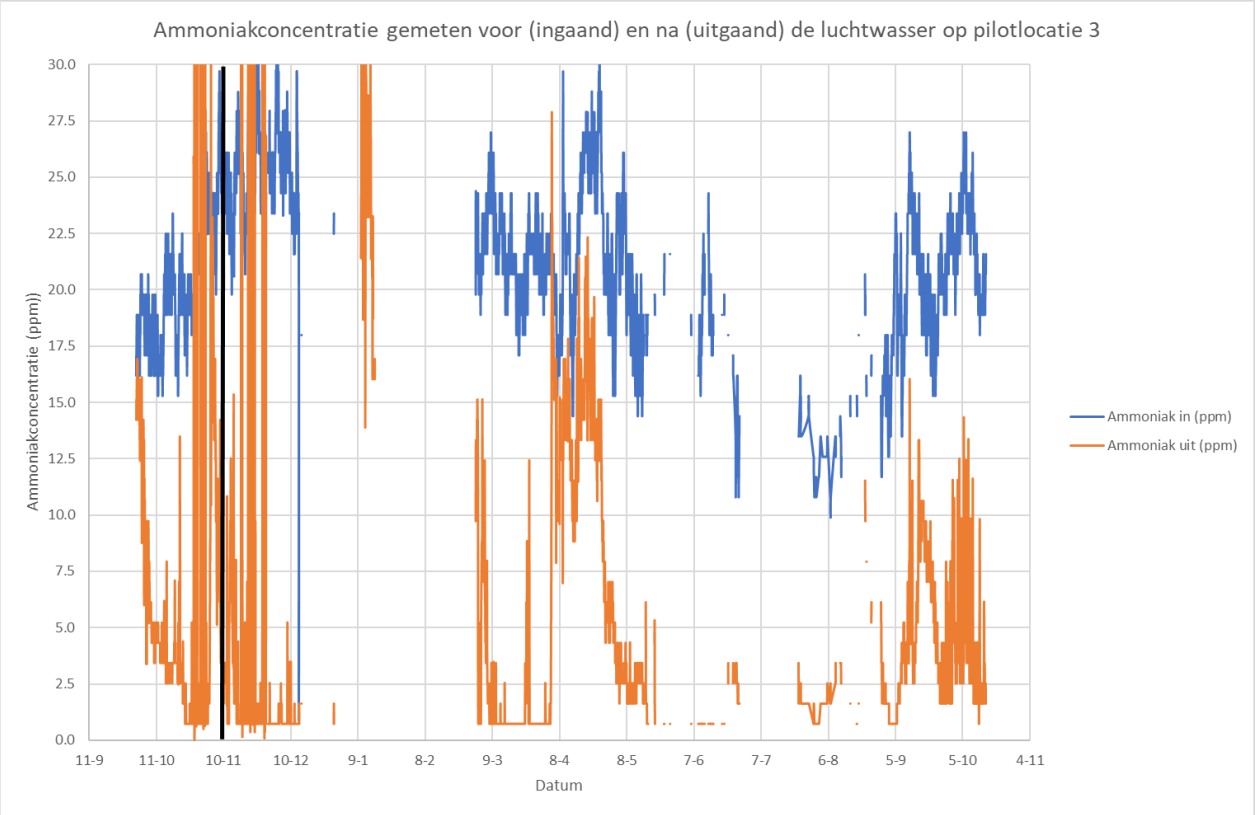



***Figuur B2.12*** *Ammoniakverwijderingsrendement op locatie 3 van alle meetperiodes.*

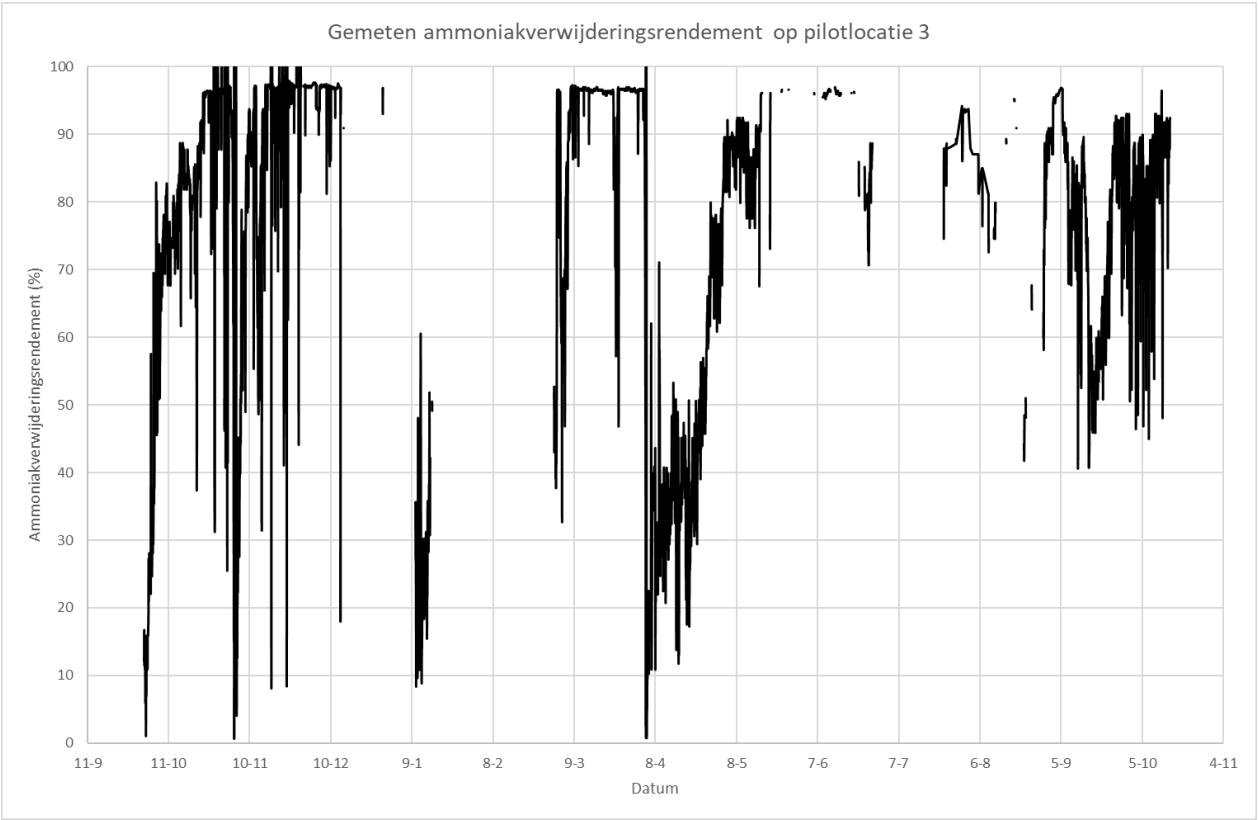
## B3.3 Tijdreeks locatie 3




***Figuur B2.13*** *pH en EC-waarden van de luchtwasser op locatie 3 van alle meetperiodes.*

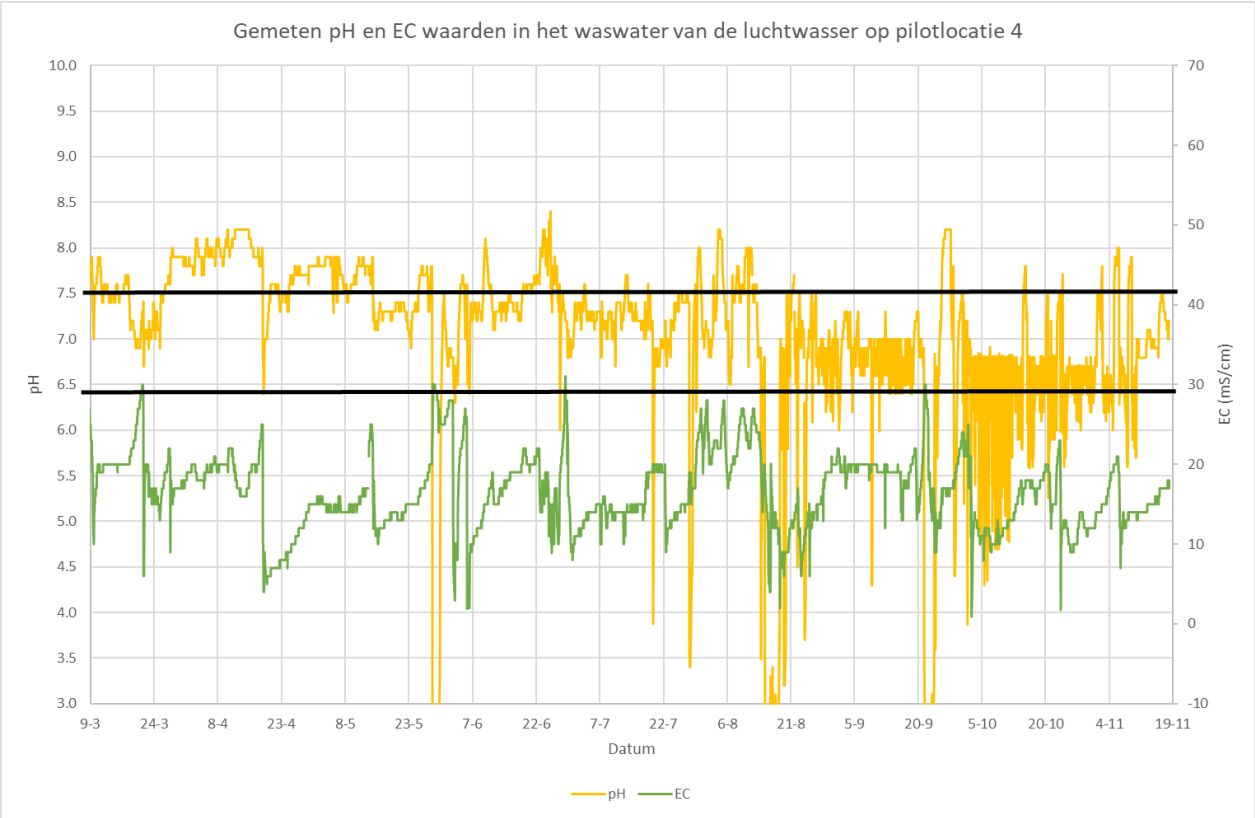



***Figuur B2.14*** *In- en uitgaande concentraties ammoniak bij de luchtwasser op locatie 3 van alle meetperiodes.*

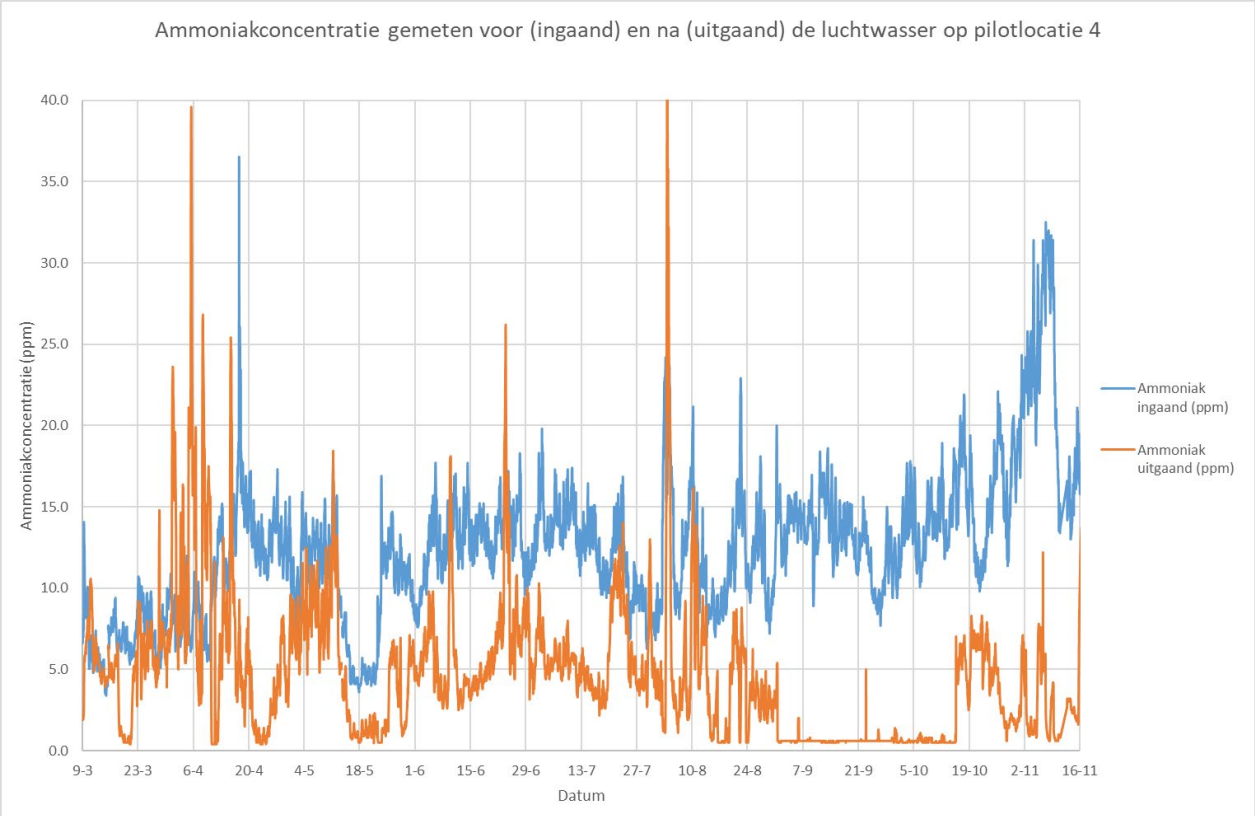



***Figuur B2.15*** *Ammoniakverwijderingsrendement op locatie 3 van alle meetperiodes.*

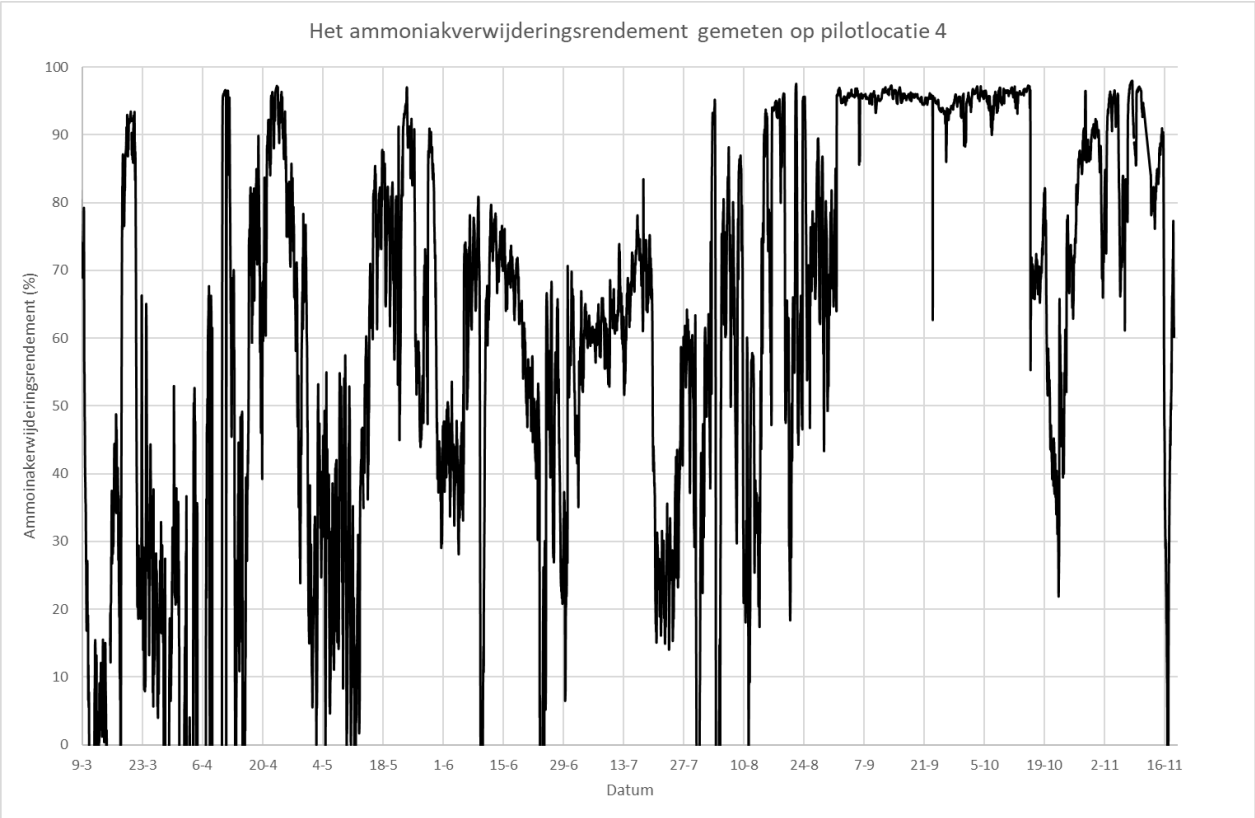
## B3.4 Tijdreeks locatie 4




***Figuur B2.16*** *pH en EC-waarden van de luchtwasser op locatie 4 van alle meetperiodes.*




***Figuur B2.17*** *In- en uitgaande concentraties ammoniak bij de luchtwasser op locatie 4 van alle meetperiodes.*




***Figuur B2.18*** *Ammoniakverwijderingsrendement op locatie 4 van alle meetperiodes.*

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.