



Stikstofverlies uit stallen op basis van stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest – vervolgonderzoek 2017-2022

Nico Ogink, Dennis ter Beest, Cor van Bruggen

Rapport 1516

Stikstofverlies uit stallen op basis van stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest – vervolgonderzoek 2017-2022

Nico Ogink¹, Dennis ter Beest², Cor van Bruggen³

1 Wageningen Livestock Research

2 Biometris – Wageningen UR

3 Centraal Bureau voor de Statistiek

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Duurzame voedselvoorziening & -productieketens & Natuur' (projectnummer BO-43.20-101-017).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, november 2024

Rapport 1516

Samenvatting

In deze studie is het verloop van stikstofverlies door ammoniakemissie uit stallen voor melkvee, leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens onderzocht door een statistische analyse van mestanalyses uit een landelijke database. Hierbij is gebruik gemaakt van N/P-verhoudingen in mesttransporten. Deze studie is een uitbreiding van een eerder gepubliceerde analyse over 2017-2020 (WLR rapport 1426) en beslaat de jaren 2017 tot en met 2022. Deze langere periode maakt het beter mogelijk te onderzoeken of er sprake is van trendmatige ontwikkelingen in het stikstofverlies van emissiearme stallen ten opzichte van conventionele huisvesting. Uit de analyse bleek dat geen algehele trendmatige afname of toename in %N-verlies zichtbaar was in de genoemde tijdsperiode. Uit een integrale analyse van alle data in de onderzochte periode 2017-2022 bleek dat het verschil in stikstofverlies tussen onderzochte staltypes en conventionele huisvesting consistent kleiner was dan verwacht zou mogen worden op basis van verschil in Rav-emissiefactoren, en bevestigt daarmee de conclusie van de voorgaande studie dat de emissiearme stalsystemen minder effectief zijn dan verwacht.

Summary

This study investigated the course of nitrogen loss due to ammonia emissions from animal housings for dairy cattle, laying hens, broilers and fattening pigs by means of a statistical analysis of manure analyses from a national database. N/P ratios in manure transports were used for this. This study is an extension of a previously published analysis over 2017-2020 (WLR report 1426) and covers the years 2017 to 2022. This longer period makes it easier to investigate whether there are trend-related developments in nitrogen loss from low-emission housing types compared to conventional housing. The analysis showed that no overall trend-related decrease or increase in %N loss was visible in the mentioned time period. An integrated analysis of all data in the period 2017-2022 showed that the difference in nitrogen loss between the examined housing types and conventional housing was consistently smaller than would be expected based on differences in Rav emission factors, thus confirming the conclusion of the previous study that the low-emission housing systems are less effective than expected.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/676041> 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, 2024

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

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

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

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

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
Summary	9
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Doelstelling en afbakening	13
2 Materiaal en methoden	14
2.1 Principe van de NP-methode	14
2.2 Toepassing van de NP-methode voor vergelijking stikstofverlies tussen stalssystemen als gevolg van ammoniakemissie	14
2.3 Analyse databestand	15
2.3.1 Samenstelling en bewerking databestand	15
2.3.2 Statistisch analyse-model	16
3 Resultaten	18
3.1 Melkvee	18
3.1.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen	19
3.1.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode	20
3.2 Leghennen	22
3.2.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen	22
3.2.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode	23
3.3 Vleeskuikens	24
3.3.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen	24
3.3.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode	25
3.4 Vleesvarkens	26
3.4.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen	26
3.4.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode	27
4 Discussie en conclusies	28
4.1 Discussie	28
4.2 Conclusies	29
Literatuur	31
Bijlage 1 Conversietabel OW-Rav code	32
Bijlage 2 Grafische weergave %N-verliezen analyse 2017-2020	33

Woord vooraf

Ammoniakemissie uit stallen in de veehouderij kan worden verminderd door over te schakelen naar emissiearme stallen. Het is voor het stikstofbeleid belangrijk dat deze staltechnieken in de praktijk effectief emissies verminderen. Er is echter twijfel ontstaan over de effectiviteit van brongerichte maatregelen na de publicatie in 2019 van een CBS-rapport die zijn conclusie baseerde op een grootschalige analyse van stikstof- en fosfaatgehalten in mest die wordt afgevoerd van veehouderijbedrijven. In een uitgebreider vervolgonderzoek door Wageningen UR in samenwerking met het CBS over de periode 2017-2020 werd bevestigd dat in de onderzochte diercategorieën het verschil in stikstofverlies tussen conventionele huisvesting en onderzochte emissiearme stallen minder is dan op basis van de Rav-emissiefactoren verwacht mag worden. Met andere woorden, dat de effectiviteit qua emissiereductie in de onderzochte periode achterblijft bij de verwachting.

Met het beschikbaar komen van meer data voor de jaren 2021 en 2022 wordt in dit rapport op verzoek van het ministerie Infrastructuur en Waterstaat en het ministerie Landbouw, Visserij, Voedselkwaliteit en Natuur door Wageningen UR in samenwerking met het CBS aanvullend onderzoek uitgevoerd naar stikstofverlies uit stallen.

De auteurs

Samenvatting

In de Nederlandse veehouderij zijn emissiearme staltypen ontwikkeld om ammoniakemissie terug te dringen. Momenteel bestaat het grootste deel van de stallen in de pluimvee- en varkenshouderij uit emissiearme stallen, en is het aandeel de afgelopen jaren ook in de melkveehouderij toegenomen. Het is voor het stikstofbeleid belangrijk dat de praktijktoepassing van emissiearme technieken effectief is. Het is mogelijk op basis van grootschalige analyse van N- en P- concentraties in mestmonsters uit stallen en informatie over de N- en P- excretie de effectiviteit van emissiearme staltypen te beoordelen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het gegeven dat N in de mest in de stal deels vervluchtigt (hoofdzakelijk als N-ammoniak) maar P niet. Het N-verlies in de mestopslag in de periode tussen excretie en afvoer kan daarmee afgeleid worden van de afname in de NP-verhouding tussen excretie en afvoer mest. Dit wordt de NP-methode genoemd.

Met de NP-methode vergeleek het CBS in 2019 het N-verlies tussen de groep ammoniak-emissiearme en de groep conventionele stallen over de periode 2015-2017, en concludeerde dat emissiearme stallen vermoedelijk minder effectief zijn dan verondersteld. In 2023 is een vervolgonderzoek gerapporteerd door Wageningen UR in samenwerking met het CBS met dezelfde NP-methode en aangevuld met een statistische analyse. Hierin werd het verschil in N-verlies onderzocht bij vier diercategorieën over een vierjarige periode (2017-2020). Hierbij is binnen diercategorieën het verschil in N-verlies van afzonderlijke staltypen ten opzichte van het conventionele staltype onderzocht. De hoofdconclusie van deze studie was dat in alle onderzochte diercategorieën het verschil in stikstofverlies tussen conventionele huisvesting en onderzochte emissiearme stallen minder is dan op basis van de Rav-emissiefactoren verwacht mag worden, m.a.w. dat de effectiviteit qua emissiereductie in de onderzochte periode achterblijft bij de verwachting. Voor een substantieel deel van de stalsystemen bleek dit ook (statistisch) significant aantoonbaar.

Om zicht te krijgen op het verdere verloop van stikstofverlies uit stallen is in deze nieuwe studie voor dezelfde diercategorieën als in de 2023-studie een verder uitgebreide database onderzocht. Door toevoeging van de gegevens uit de jaren 2021 en 2022 kon een zesjarige periode worden onderzocht. Deze langere periode maakt het beter mogelijk te onderzoeken of er sprake is van trendmatige ontwikkelingen in het stikstofverlies van emissiearme stallen ten opzichte van conventionele huisvesting.

Doel van dit onderzoek is:

- 1) Het uitvoeren van een statistische analyse op de verschillen in stikstofverlies tussen emissiearme en conventionele stalsystemen op een uitgebreide database met zes jaar gegevens over de periode 2017-2022. De onderzoeksvraag hier is in hoeverre de resultaten en conclusies hieruit overeenkomen of afwijken van de voorgaande studie over 2017-2020.
- 2) Het onderzoeken van trendmatige ontwikkelingen in de effectiviteit van emissiearme stallen in de vorm van toe- of afnemende verschillen in stikstofverlies ten opzichte van conventionele huisvesting.

In deze studie is gebruik gemaakt van dezelfde methoden als beschreven in de voorgaande studie uit 2023, zowel wat betreft dataverwerking als de opzet van de statistische analyse om het verschil in N-verlies tussen staltypen te onderzoeken. In afwijking van de studie van de 2023-studie wordt uitsluitend gebruik gemaakt van door CBS aangeleverde data en niet van data uit de Kringloopwijzer. De rapportage geeft een beknopt overzicht van de gebruikte methoden met verwijzing naar de voorgaande studie, en presenteert de resultaten op dezelfde grafische wijze als in de eerdere studie.

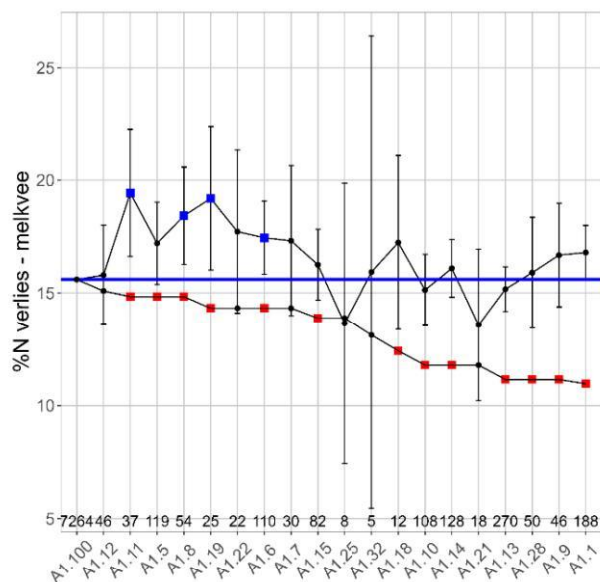
De resultaten uit de analyse van het verschil in %N-verlies tussen de referentiestaltypes (conventionele huisvesting) en de overige staltypes (emissiearme stallen) in de periode 2017-2022 zijn weergegeven aan het eind van de samenvatting in Figuren S1 t/m S4. In de hoofdttekst wordt per diercategorie in grafische vorm het verloop van het verschil in %N-verlies ten opzichte van de referentiestal weergegeven (Melkvee - Figuur 2; Leghennen - Figuur 4; Vleeskuikens - Figuur 6; Vleesvarkens - Figuur 8).

Het waargenomen patroon in %N-verlies van staltypes t.o.v. de referentiestal zoals weergegeven in Figuren S1 t/m S4 komt overeen met het eerdere beeld verkregen uit de analyse 2017-2020. Door het groter aantal waarnemingen zijn de betrouwbaarheidsintervallen kleiner en treden er vergeleken met de voorgaande studie vaker significante verschillen op met de referentiestal op. Dat wil niet zeggen dat de omvang van de gemeten verschillen structureel afweek van de voorgaande studie, maar betekent wel dat door de toegenomen nauwkeurigheid van de gemeten verschillen een betrouwbaarder algeheel beeld kon worden verkregen.

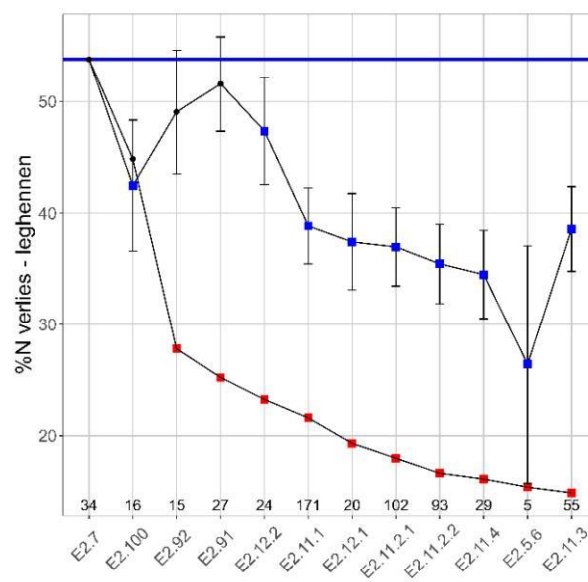
Conclusies van dit onderzoek:

Met betrekking tot de eerste onderzoeksvraag wordt geconcludeerd dat deze studie over de periode 2017-2022 de bevindingen van de eerdere rapportage over 2017-2020 bevestigen. Deze studie versterkt het in de voorgaande studie verkregen beeld en daaruit getrokken conclusie dat het verschil in stikstofverlies tussen onderzochte staltypes en conventionele huisvesting consistent kleiner is dan verwacht zou mogen worden op basis van verschil in Rav-emissiefactoren. In de melkvee-categorie is het geschatte %N-verlies voor bijna alle staltypen significant hoger dan verwacht. Bij leghennen en vleesvarkens is er sprake van significant minder N-verlies ten opzichte van de referentiestal maar minder dan verwacht. Bij vleeskuikens ligt het N-verlies voor de meeste staltypes lager dan de referentiestal, maar is er met uitzondering van 1 staltype geen sprake van significante verschillen.

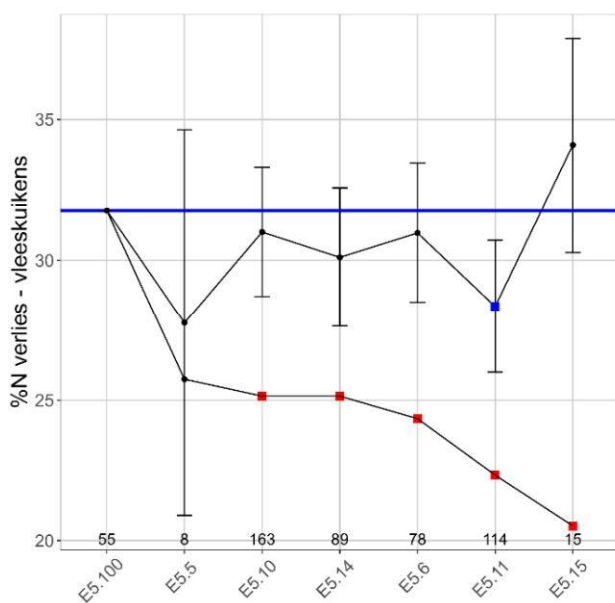
Wat betreft de tweede onderzoeksvraag is het algemene beeld over de diertakken heen dat er geen duidelijke algehele trendmatige afname of toename in %N-verlies ten opzichte van de referentiestal in de tijd zichtbaar is. Met name de stallen met veel waarnemingen laten een stabiel verschil in %N-verlies zien. Geconcludeerd wordt dat er geen trendmatige algehele verbetering of verslechtering van het emissie-reducerende vermogen binnen diercategorieën heeft plaatsgevonden gedurende de periode 2017-2022.



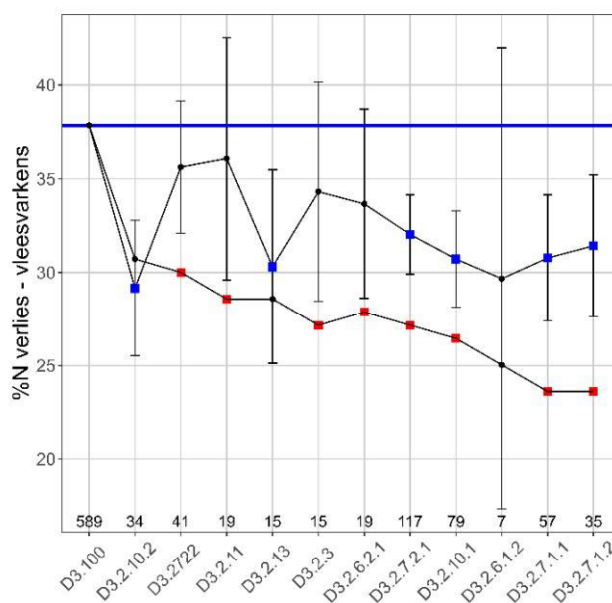
Figuur S1 Melkvee



Figuur S2 Leghennen



Figuur S3 Vleeskuikens



Figuur S4 Vleesvarkens

Figuur S1 t/m S4: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes van de staltypen en boven de code het bijbehorend aantal bedrijven. Het meest links gelegen eerste staltype op de horizontale as is de referentiestal.

De punten op de zwarte lijn geven per staltype de hoogte van het waargenomen N-verlies weer, en de bijbehorende verticale lijn de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal, en de punten op de onderste lijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal. Staltypes met significant hogere verliezen dan verwacht volgens de Rav-factor zijn gemarkeerd met rode vierkanten op de verwachtingslijn. Significant hogere verliezen dan de referentiestal zijn gemarkeerd met blauwe vierkanten op de lijn met de waargenomen verliezen.

Summary

In Dutch livestock farming, low-emission barn types have been developed to reduce ammonia emissions. Currently, the majority of barns in poultry and pig farming consist of low-emission barns, and the share has also increased in dairy farming in recent years. It is important for successful nitrogen policy that the practical application of low-emission techniques is effective. It is possible to assess the effectiveness of low-emission barn types based on large-scale analysis of N and P concentrations in manure samples from barns and information about N and P excretion. This uses the fact that N in the manure in the barn partly volatilizes (mainly as N-ammonia), but P does not. The N loss in the manure storage in the period between excretion and discharge can thus be derived from the decrease in the NP ratio between excretion and discharge of manure. This is called the NP method.

In 2019, CBS used the NP method to compare the N loss between the group of low-ammonia emission and the group of conventional barns over the period 2015-2017, and concluded that low-emission barns are probably less effective than assumed. In 2023, a follow-up study was reported by Wageningen UR in collaboration with CBS using the same NP method and supplemented with a statistical analysis. This study examined the difference in N loss in four animal categories over a four-year period (2017-2020). Within animal categories, the difference in N loss of individual barn types compared to the conventional barn type was examined. The main conclusion of this study was that in all animal categories examined, the difference in nitrogen loss between conventional housing and the low-emission barns examined is less than expected on the basis of the emission factors that are used in regulations and the permitting process (called Rav-emission factors). In other words, that the effectiveness in terms of emission reduction in the period examined lags behind expectations. For a substantial part of the livestock housing systems this also proved to be (statistically) significantly demonstrable.

In order to gain insight into the further course of nitrogen loss from livestock housing systems, this new study examined a further extended database for the same animal categories as in the 2023 study. By adding the data from the years 2021 and 2022, a six-year period could be examined. This longer period makes it easier to investigate whether there are trend-related developments in the nitrogen loss of low-emission stables compared to conventional housing.

The aim of this study is:

1. To perform a statistical analysis of the differences in nitrogen loss between low-emission and conventional housing systems on an extended database with six years of data for the period 2017-2022. The research question here is to what extent the results and conclusions from this correspond to or deviate from the previous study on 2017-2020.
2. To investigate trend-related developments in the effectiveness of low-emission stables in the form of increasing or decreasing differences in nitrogen loss compared to conventional housing.

This study uses the same methods as described in the previous study from 2023, both in terms of data processing and the design of the statistical analysis to investigate the difference in N loss between barn types. In deviation from the study of the 2023 study, only data supplied by CBS is used and not data from the Kringloopwijzer (database with dairy farm data provided by the ANCA-farm model). The report provides a brief overview of the methods used with reference to the previous study, and presents the results in the same graphical form as in the previous study.

The results from the analysis of the difference in %N loss between the reference barn types (conventional housing) and the other barn types (low-emission barns) in the period 2017-2022 are shown at the end of the summary in Figures S1 to S4. The main text shows the course of the difference in %N loss compared to the reference house for each animal category in graphic form (Dairy cattle - Figure 2; Laying hens - Figure 4; Broilers - Figure 6; Fattening pigs - Figure 8).

The observed pattern in %N loss of barn types compared to the reference barn as shown in Figures S1 to S4 is consistent with the previous picture obtained from the 2017-2020 analysis. Due to the larger number of observations, the confidence intervals are smaller and, compared to the previous study, significant differences with the reference barn occur more often. This does not mean that the magnitude of the measured differences structurally deviated from the previous study, but it does mean that a more reliable overall picture could be obtained due to the increased accuracy of the measured differences.

Conclusions of this study:

With regard to the first research question, it is concluded that this study for the period 2017-2022 confirms the findings of the previous report for 2017-2020. This study reinforces the picture obtained in the previous study and the conclusion drawn from it that the difference in nitrogen loss between the examined housing types and conventional housing is consistently smaller than would be expected based on the difference in Rav emission factors. In the dairy cattle category, the estimated %N loss is significantly higher than expected for almost all housing types. For laying hens and fattening pigs, there is significantly less N loss compared to the reference housing, but less than expected. For broilers, the N loss is lower for most housing types than the reference housing, but with the exception of 1 housing type, there are no significant differences.

With regard to the second research question, the general picture across the animal categories is that there is no clear overall trend-related decrease or increase in %N loss compared to the reference housing over time. In particular, the livestock housing systems with many farm observations show a stable difference in %N loss. It is concluded that there has been no trend-based overall improvement or deterioration in the emission-reducing capacity within animal categories during the period 2017-2022.

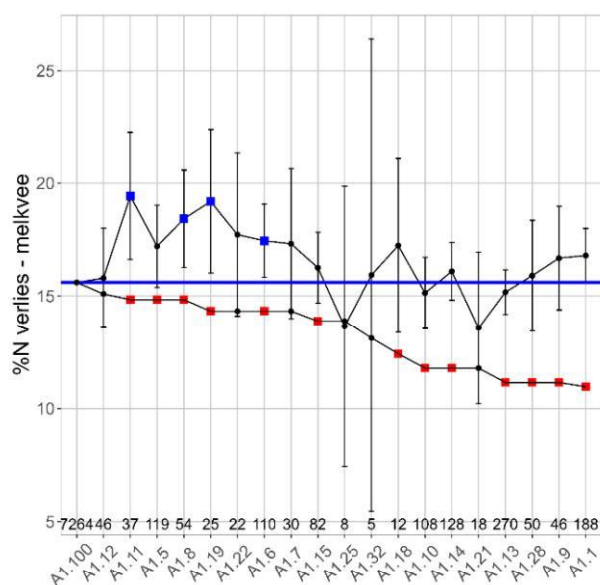


Figure S1 Dairy cattle

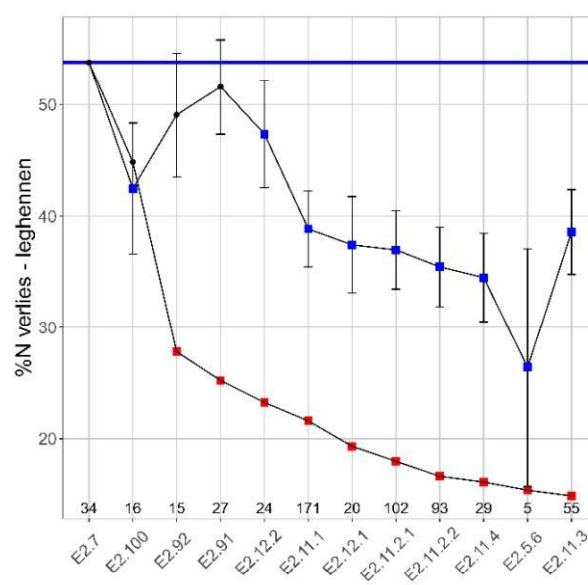


Figure S2 Laying hens

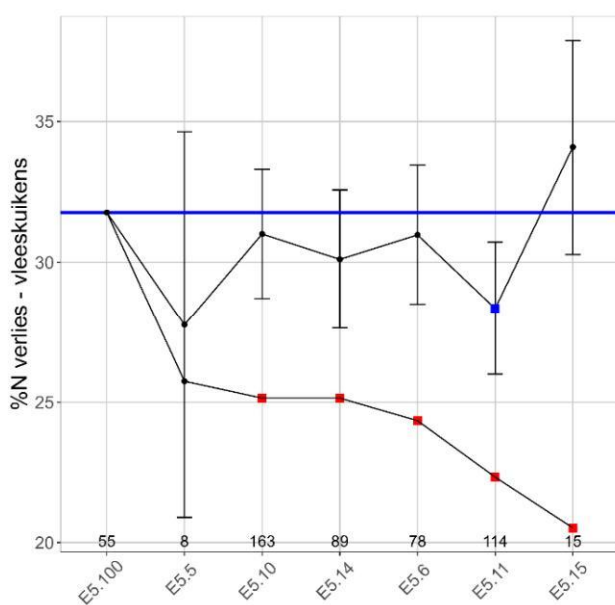


Figure S3 Broilers

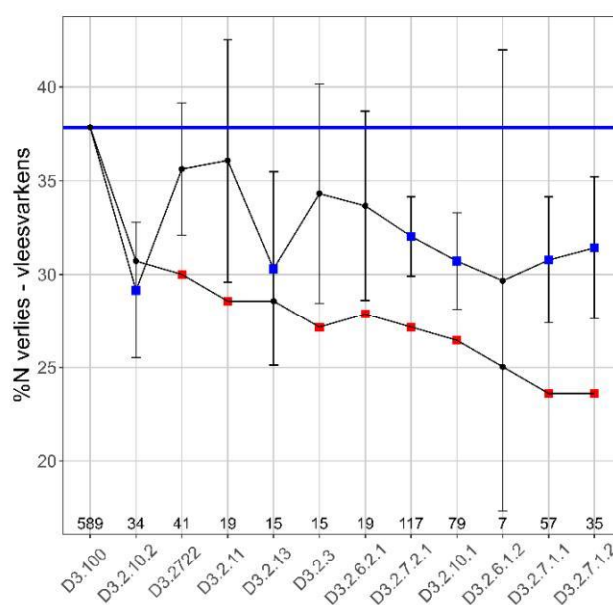


Figure S4 Fattening pigs

Figures S1 to S4: effect of barn types on N loss as a percentage of total N excretion, with the Rav codes of the barn types on the horizontal axis and the corresponding number of companies above the code. The first barn type furthest to the left on the horizontal axis is the reference barn. The points on the black line indicate the level of observed N loss per barn type, and the corresponding vertical line the bandwidth of the 99% confidence interval. The blue line indicates the level of the reference barn, and the points on the bottom line indicate the expected NH₃-N loss per barn type according to the Rav factor compared to the reference barn. Barn types with significantly higher losses than expected according to the Rav factor are marked with red squares on the expectation line. Significantly higher losses than the reference barn are marked with blue squares on the line with the observed losses.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de Nederlandse veehouderij zijn emissiearme staltypen ontwikkeld om ammoniakemissie terug te dringen. Momenteel bestaat het grootste deel van de stallen in de pluimvee- en varkenshouderij uit emissiearme stallen, en is het aandeel de afgelopen jaren ook in de melkveehouderij toegenomen. Het is voor het stikstofbeleid belangrijk dat de praktijktoepassing van emissiearme technieken effectief is. Er is echter twijfel ontstaan over de effectiviteit van brongerichte maatregelen na de publicatie in 2019 van een CBS-rapport (van Bruggen en Geertjes, 2019) dat zijn conclusie baseerde op een grootschalige analyse van stikstof- en fosfaatgehalten van afgevoerde mest van veehouderijbedrijven in de jaren 2015-2017. De methodiek voor de vaststelling van stikstofverlies in deze studie is gebaseerd op het verschil in de stikstof-fosfaat (N/P)-verhouding tussen verse mest en van het bedrijf afgevoerde mest (hierna verder NP-methode genoemd). In het in 2023 gepubliceerde vervolgonderzoek van Groenestein et al. (2023) in WLR-rapport 1426 is dezelfde NP-methode toegepast op data afkomstig uit de periode 2017-2020, waarbij een statistische analyse is uitgevoerd om de nauwkeurigheid in beeld te brengen van verschillen in stikstofverlies tussen stalsystemen. De hoofdconclusie van deze studie is dat in alle onderzochte diercategorieën het verschil in stikstofverlies tussen conventionele huisvesting en onderzochte emissiearme stallen minder is dan op basis van de Rav-emissiefactoren verwacht mag worden, m.a.w. dat de effectiviteit qua emissiereductie in de onderzochte periode achterblijft bij de verwachting. Voor een substantieel deel van de stalsystemen blijkt dit ook (statistisch) significant aantoonbaar.

Het rapport beveelt aan: "de NP-methode te gebruiken en verder door te ontwikkelen als instrument voor monitoren van het emissieniveau van stalsystemen op de Rav-lijst. Hiermee kan onvoldoende functioneren van emissiearme stalsystemen tijdig gesignaleerd worden. Met deze terugkoppeling kan vervolgens gekeken worden welke acties nodig zijn om het functioneren van de emissiearme systemen te verbeteren". Op basis van deze aanbeveling vraagt het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat om de analyse met de NP-methode voor dezelfde diercategorieën als in voorgaande studie opnieuw uit te voeren op een uitgebreide database waarin ook de meest recente gegevens van de jaren 2021 en 2022 zijn opgenomen, en daarbij nader te onderzoeken of er sprake is van trendmatige ontwikkelingen in het stikstofverlies van emissiearme stallen ten opzichte van conventionele huisvesting.

1.2 Doelstelling en afbakening

Doel van dit onderzoek is:

- Het opnieuw uitvoeren van een statistische analyse op de verschillen in stikstofverlies tussen emissiearme en conventionele stalsystemen conform de methode toegepast in het onderzoek van Groenestein et al. (2023) op een uitgebreide database met zes jaar gegevens over de periode 2017-2022. De onderzoeksvraag hier is in hoeverre de resultaten en conclusies hieruit overeenkomen of afwijken van de voorgaande studie over 2017-2020.
- Het onderzoeken van trendmatige ontwikkelingen in de effectiviteit van emissiearme stallen in de vorm van toe- of afnemende verschillen in stikstofverlies ten opzichte van conventionele huisvesting.

Deze studie maakt uitsluitend gebruik van geanonimiseerde data verkregen in de periode 2017-2022 die zijn aangeleverd door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). In afwijking van de studie van Groenestein et al. (2023) wordt uitsluitend gebruik gemaakt van door het CBS aangeleverde data en niet van data uit de Kringloopwijzer omdat uit de voorgaande studie bleek dat analyse van beide databestanden tot gelijksoortige conclusies opleverden. De rapportage geeft een beknopt overzicht van de gebruikte methoden met verwijzing naar de voorgaande studie, en presenteert de resultaten op dezelfde grafische wijze als de eerdere studie.

De staltypen zijn aangeduid met Rav-codes afkomstig uit de Regeling Ammoniak en Veehouderij (Rav). Deze codering is met de invoering van de Omgevingswet (OW) gewijzigd. Om de vergelijkbaarheid met voorgaande studies te bevorderen wordt in dit rapport nog gebruik gemaakt van de Rav-codes. In Bijlage 1 is de conversietabel voor OW-code naar Rav-code opgenomen.

2 Materiaal en methoden

In deze studie wordt van dezelfde methoden gebruik gemaakt als toegepast in de voorgaande studie over de jaren 2017-2020. De hoofdlijnen van deze aanpak worden hieronder toegelicht. Zie voor een meer gedetailleerde beschrijving van de NP-methode hoofdstuk 2.1 in het rapport van Groenestein et al. (2023).

2.1 Principe van de NP-methode

Vanaf het moment van uitscheiding (excretie) van mest in de stal tot aan afvoer van het bedrijf treden er gasvormige verliezen in de mest op (zowel in de stal- als buitenopslag). Een deel van de gasvormige verbindingen bevat N-componenten. De belangrijkste stikstofbevattende verbinding hierbij is ammoniak (NH_3), daarnaast vervluchtigen ook N-componenten in de vorm van lachgas (N_2O), stikstofoxiden (NO_x) en stikstofgas (N_2). Een aantal mineralen in de mest vervluchtigt niet uit de mest. Zo blijft de hoeveelheid fosfaat (P_2O_5) in de mest na excretie onveranderd. Dat betekent dat in de mest vanaf excretie de hoeveelheid N in verhouding tot de hoeveelheid P_2O_5 (verder aangeduid als NP-verhouding) afneemt. Deze afname wordt uitsluitend bepaald door de omvang van het N-verlies, en maakt het mogelijk het relatieve verlies van N uit de N-excretie gedurende de opslagperiode te berekenen uit mestanalyses en excretie-informatie. De berekeningsmethode wordt hierna toegelicht.

Het N-verlies als percentage van de N-excretie kan als volgt berekend worden:

$$\%N \text{ verlies} = \left(\frac{N_{\text{excretie}} - N_{\text{mest}}}{N_{\text{excretie}}} \right) * 100 \quad (1)$$

Waarin N_{excretie} staat voor de hoeveelheid N op het moment van uitscheiding en N_{mest} voor de hoeveelheid N in de mest op het moment van afvoer. Omdat de hoeveelheid P_2O_5 bij uitscheiding gelijk is aan de hoeveelheid P_2O_5 die met de mest wordt afgevoerd kunnen de onderdelen van vergelijking (1) gedeeld worden door P_2O_5 -excretie en P_2O_5 -mest, en kan de vergelijking ook geschreven worden als:

$$\%N \text{ verlies} = \left(\frac{NP_{\text{excretie}} - NP_{\text{mest}}}{NP_{\text{excretie}}} \right) * 100 = \left(1 - \frac{NP_{\text{mest}}}{NP_{\text{excretie}}} \right) * 100 \quad (2)$$

Waarbij:

%N-verlies	= verlies aan totale N als percentage van de N in de excretie
NP_{excretie}	= de verhouding van N en P_2O_5 in de excretie
NP_{mest}	= de verhouding van N en P_2O_5 gemeten in afgevoerde mest

Het vaststellen van het procentuele verlies van N uit de N-excretie op basis van het verschil tussen de NP-verhouding in verse mest en NP-verhouding in afgevoerde mest (formule 2) wordt de NP-methode genoemd. NB: in het gehele rapport wordt de verhouding tussen N en P_2O_5 vereenvoudigd aangeduid als NP, en wordt het P_2O_5 -gehalte in de mest verder aangeduid als P-gehalte.

2.2 Toepassing van de NP-methode voor vergelijking stikstofverlies tussen stalsystemen als gevolg van ammoniakemissie

Voor een bedrijf kan met de NP-methode, op basis van jaarlijks berekende excretiefactoren voor N en P (door de Werkgroep Uniformering Mestcijfers (WUM)) en mestanalyses met N- en P-gehalten in de

afgevoerde stalmest, het %N-verlies over een gegeven periode worden berekend. Voorwaarde hierbij is wel dat de N- en P-gehalten in de afgevoerde mest representatief zijn voor alle geproduceerde mest op het bedrijf. Voor twee recent in de Rav opgenomen systemen (A1.36 en A1.39) is sprake van gescheiden afvoer: bij A1.39 (Lely Sphere) is dat spui van de luchtwasser (met hoofdzakelijk N), een dikke mestfractie en een dunne mestfractie (al of niet achteraf samengevoegd). Bij A1.36 (Cowtoilet) is dat opgevangen urine en de resterende meststroom. De N/P-verhoudingen zullen verschillen tussen deze stromen, om de gemiddelde afgevoerde N/P-verhouding te kunnen bepalen zou dan ook de massa-verhoudingen tussen deze stromen beschikbaar moeten zijn. Deze informatie is echter niet voorhanden is. De NP-methode is eveneens niet geschikt voor stallen met luchtwassers omdat hier N in de vorm van ammoniak (aangeduid als N-NH₃, berekend door vermenigvuldiging van de hoeveelheid NH₃ met 14/17) wordt afgevangen en afgevoerd via het spuiwater van de wasser en niet in de afgevoerde mest.

De NP-methode geeft informatie over het totale N-verlies en maakt geen onderscheid naar de omvang van dat verlies per N-component (NH₃, NO_x, N₂O en N₂). Niettemin geeft de NP-methode wel inzicht in de omvang van N-NH₃ verlies van staltypes ten opzichte van een referentiestaltype. Met de NP-methode kunnen verschillen in gemiddeld N-verlies tussen bedrijven met hetzelfde staltype en bedrijven met het referentiestaltype worden berekend. Vervolgens kan getoetst worden of het gemiddelde verschil in N-verlies uit onderzochte staltypen afwijkt het verwachte verschil op basis van het verschil tussen de NH₃-emissiefactoren. Het verwachte effect van ammoniakemissie-reductie van een emissiearme stal op het verschil in %N-verlies met een conventionele stal kan vooraf uit ammoniakemissie-factoren en excretie-factoren voor N en P worden berekend, zoals hierna toegelicht.

De eerste stap voor het bepalen van te verwachten verschillen in %N-verlies is de NH₃-emissiefactor (kg NH₃/dierplaats per jaar) om te rekenen naar de hierbij geëmitteerde hoeveelheid N -NH₃. Vervolgens kan deze N-NH₃ emissie als percentage van de N-excretie (kg N/dier per jaar) worden uitgedrukt. Hoe lager de NH₃-emissiefactor hoe lager het N-verlies als percentage van de N-excretie zal zijn. Voor elk emissiearm staltype met een eigen emissiefactor kan op deze wijze vervolgens het verwachte verschil in %N-verlies ten opzichte van conventionele huisvesting worden berekend. Met de NP-methode kan uit de verkregen mestanalyses met behulp van formule (2) worden berekend wat het gemiddeld waargenomen %N-verlies van een staltype in de praktijk is geweest en kan getoetst worden of de waargenomen gemiddelde verschillen tussen staltypes overeenkomen met de verwachte verschillen. *NB: het verwachte verlies voor melkveestallen is in deze aanvullende studie gebaseerd op dezelfde Rav-emissiefactoren als gebruikt in de studie van 2023.*

Voorwaarde voor toepassing van de NP-methode is dat het verwachte verschil in %N-verlies uit de excretie enkel door het verschil in ammoniakemissie wordt veroorzaakt en niet door verschillen in de overige N-verliezen. Het moet dus aannemelijk zijn dat het %N-verlies als gevolg van N-N₂O, N-NO_x en N₂ emissies gelijk mag worden verondersteld voor te vergelijken staltypes. In deze studie wordt dat als aannemelijk beschouwd, zie hiervoor ook toelichting in het 2023-rapport. Dat maakt het mogelijk om de reducerende werking van emissiearme staltypen ten opzichte van conventionele stallen te evalueren zonder rechtstreeks het N-verlies uit mest door ammoniakemissie te meten.

2.3 Analyse databestand

2.3.1 Samenstelling en bewerking databestand

Voor deze studie is gebruik gemaakt van het eerder door het CBS aangeleverde databestand over de jaren 2017-2020 en een nieuw aangeleverd databestand met mestanalyses over de jaren 2021-2022. Het nieuwe databestand is op dezelfde manier als in de voorgaande dataset samengesteld uit de mestanalyses (N- en P-gehalten) uit de databank van RVO die door het CBS zijn gekoppeld aan bedrijfsinformatie uit de Gecombineerde Opgave. De samenstelling van de door het CBS aangeleverde geanonimiseerde dataset met een detail-toelichting van de gekoppelde bedrijfsinformatie komt overeen met die beschreven in Bijlage 1

van de NP-rapportage uit 2023. Bedrijven met meer dan één staltype per diergroep zijn door het CBS uit de selectie verwijderd omdat in dat geval niet bekend is uit welke stal de mest is afgevoerd. Aan elk mest-record is de verhouding tussen N en P van het mestmonster (NP-mest) en de verhouding tussen N en P van de excretie in de stal (NP-excretie) toegevoegd. Voor de NP-excreties zijn de jaarlijks bijgestelde WUM-excretiefactoren gebruikt. Tenslotte is voor elk record het N-verlies als percentage van de N-excretie als volgt berekend: $(1 - \text{NPmest}/\text{NPexcretie}) * 100$ (zie ook vergelijking (2); paragraaf 2.1). Het %N-verlies heeft betrekking op alle gasvormige N-verliezen uit de opgeslagen mest vanaf excretie tot aan afvoer van het bedrijf.

De 2017-2020 en 2020-2021 databestanden zijn voor de statistische analyse samengevoegd tot één bestand. Hieruit zijn voor de analyse uitsluitend bedrijven geselecteerd met stallen voor de diergroepen A1 (melkkoeien), D3 (vleesvarkens), E2 (legkippen) en E5 (vleeskuikens). Gelijk aan de 2023-studie zijn extreme N- en P-gehalten per mestsoort verwijderd (0,5% laagste en 0,5% hoogste waarden). In een tweede stap zijn de laagste en hoogste 0,5% NP-verhouding verwijderd. Omdat de N- en P-gehalten van het krachtvoer ook extreme waarden kunnen bevatten zijn, in aanvulling hierop, de records met de laagste/hogste N- en P-waarden eveneens verwijderd, analoog aan de gehalten in de mest. In de statistische analyse is gecorrigeerd voor het bedrijfskenmerk grootvee-eenheid (GVE) per ha (alleen voor melkkoeien) en tevens voor de hoeveelheid N en P in het krachtvoer. Indien deze gegevens ontbreken zijn de bijbehorende mestmonster-records verwijderd. De mestmonsters zijn geanalyseerd in verschillende laboratoria. Voor een laboratorium-effect kan in de analyse alleen gecorrigeerd worden als er voldoende waarnemingen beschikbaar zijn voor een laboratorium. Daarom zijn waarnemingen van rundveemest en vleesvarkensmest met onvoldoende laboratoria-gegevens verwijderd.

2.3.2 Statistisch analyse-model

De analyse is uitgevoerd om de volgende twee onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Hoe groot is het verschil in %N-verlies tussen het conventionele staltype, verder aangeduid als referentiestal, en de overige staltypes over de gehele periode 2017-2022.
2. Kunnen er trends in de tijd waargenomen worden in het verschil in %N-verlies ten opzichte van de referentiestallen voor de afzonderlijke staltypes binnen elke diercategorie.

De analyse is gericht op het onderzoeken van het effect van staltype op het N-verlies als percentage van N-excretie. Deze variabele worden hierna ook aangeduid als de respons-variabele. Om het effect van staltype zo goed mogelijk te kunnen bepalen zijn naast staltype meerdere mogelijk verklarende factoren aan het analysemodel toegevoegd. Vraagstelling bij het effect van staltype was in de eerste plaats gericht op het verschil tussen het conventionele staltype, in de analyse aangeduid als de referentiestal, en de emissiearme staltypen.

Voor elke diercategorie is een aparte analyse uitgevoerd per jaar en over de periode 2017-2022 (over-jaren analyse). Daarbij is het volgende model gebruikt voor melkvee:

$$\text{Respons-variabele} = \text{staltype} + \text{GVE-ha} + \text{regio} + \text{maand} + \text{laboratorium} + \text{NP krachtvoer} + \text{bedrijf} + \text{rest}$$

Hierin is 'staltype' de staluitvoering volgens de Rav-systematiek, 'GVE-ha' het aantal grootvee-eenheden per ha (een maat voor beschikbare ruimte voor toepassing mest van het eigen bedrijf), 'regio' staat voor de locatie van bedrijf (Noordwest- of Zuidoost-Nederland), 'maand' voor het tijdstip van mestmonstering, 'laboratorium' voor het lab dat de mestanalyse heeft uitgevoerd.

Voor de pluimvee en varkens zijn de niet relevante variabelen GVE-ha en regio weggelaten uit het model. De variabele aangeduid als 'NP krachtvoer' is als volgt toegepast: het berekende procentuele N-verlies wordt gecorrigeerd voor de NP-verhouding in het krachtvoer. In het model representeert 'bedrijf' de variatie tussen bedrijven en 'rest' de variatie tussen mestmonsters van hetzelfde bedrijf. Deze modelcomponenten zijn onderstreept om aan te geven dat het een zogenoemde random term betreft. In dit rapport wordt alleen gebruikt gemaakt van de over-jaren analyse. Hier representeert 'maand' de 72 verschillende maanden in de

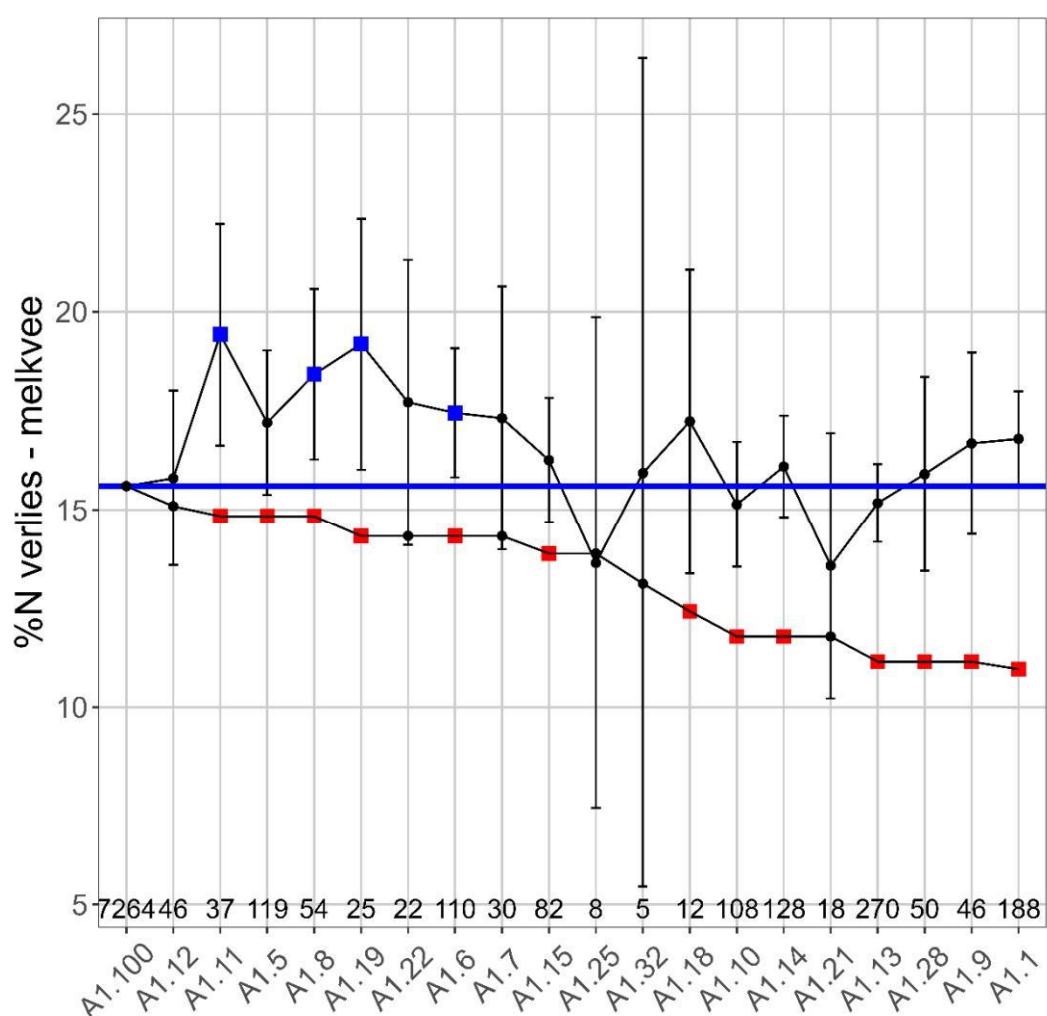
periode 2017-2022 en is de random term jaar.bedrijf gebruikt in plaats van bedrijf. Het random model impliceert dat verschillen tussen staltypen met name getoetst worden tegen de tussen-bedrijven variantie. In de trend analyse is additioneel een interactie meegenomen tussen staltype en jaar. In de model vergelijking betekent dit dat de term "staltype" wordt vervangen voor de term "staltype:jaar", waar ":" een interactie weergeeft. Deze interactie term maakt het mogelijk om het effect van staltype per jaar te schatten.

De analyses zijn uitgevoerd met het statistische pakket R (4.3.2) (R Core Team, 2022) en de modellen zijn gefit met R package lme4 (Bates et al., 2015). Voor respons-variabele N-verlies is over de jaren getoetst of er een significant verschil is tussen elk afzonderlijk staltype en het referentie staltype. Daarbij is een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1% gehanteerd. Daarnaast is per staltype getoetst of het verschil afwijkt van het verlies dat, conform de Rav-emissiefactoren, verwacht mag worden ten opzichte van de referentiestal. In de trendanalyse is per jaar voor elke staltype de afwijking tot de referentie-stal geschat, ook met een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%.

3 Resultaten

De resultaten worden in dit hoofdstuk per diercategorie besproken aan de hand van grafieken waarin het verschil in %N-verlies tussen de referentiestal en de emissiearme staltypes wordt besproken voor de periode 2017-2022. Om de resultaten te kunnen vergelijken met de eerder gerapporteerde analyse over 2017-2020 zijn in Bijlage 2 de corresponderende grafieken van deze analyse opgenomen. Per diercategorie wordt verder aan de hand van grafieken per staltype het verloop van het verschil in %N-verlies ten opzichte van de referentiestal besproken.

3.1 Melkvee



Figuur 1 Melkvee: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes van de staltypen en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte lijn geven per staltype de hoogte van het waargenomen N-verlies weer, en de bijbehorende verticale lijn de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal A1.100, en de punten op de onderste lijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal. Staltypes met significant hogere verliezen dan verwacht volgens de Rav-factor zijn gemarkeerd met rode vierkanten op de verwachtingslijn. Significant afwijkende (hogere) verliezen dan de referentiestal zijn gemarkeerd met blauwe vierkanten op de lijn met de waargenomen verliezen.

3.1.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen

In Figuur 1 wordt op een vergelijkbare wijze als in de voorgaande studie over 2017-2022 het verschil in gemiddelde N-verlies van staltypen ten opzichte van de referentiestal weergegeven. In de grafieken staan de Rav-codes van de staltypen op de horizontale as, van links naar rechts gerangschikt naar afnemende hoogte van de Rav-emissiefactor. Op de horizontale as staat tevens voor elk staltype het aantal beschikbare bedrijven in de analyse. Ter vergelijking met de overige staltypen is het %N-verlies van de referentiestal als blauwe horizontale lijn weergegeven. De geschatte gemiddelden per staltype staan met zwarte punten weergegeven. Het verschil tussen deze zwarte punten en de blauwe referentielijn is het verschil in %N-verlies met de referentiestal. Om trends ten opzichte van de afnemende omvang van emissiefactoren op de horizontale as weer te kunnen geven zijn deze punten met een zwarte lijn verbonden. De nauwkeurigheid van het geschatte verschil met het referentie staltype is als 99%-betrouwbaarheidsinterval met een verticale lijn boven en onder het punt weergegeven. Het verwachte %N-verlies per staltype volgens de Rav-emissiefactor is door onder de blauwe lijn liggende punten weergegeven, die eveneens verbonden zijn door zwarte lijnstukken. Door de rangschikking naar afnemende emissiefactor daalt deze lijn. Per staltype is zichtbaar of het %N-verlies significant afwijkt van de referentiestal. Wanneer het betrouwbaarheidsinterval voor een staltype de blauwe referentielijn niet doorsnijdt is er sprake van een significant verschil met het referentiestaltype; dit is aangeduid met blauwe vierkanten in de zwarte lijn. Op gelijke wijze maakt de grafiek zichtbaar of het geschatte verschil in %N-verlies afwijkt van het verwachte verschil in %N-verlies op basis van de Rav-emissiefactor. Wanneer een betrouwbaarheidsinterval de onderste lijn niet doorsnijdt is het verschil in %N-verlies significant kleiner dan verwacht, dit is aangeduid met rode vierkanten. Rode vierkanten geven dus aan dat staltypen significant minder N-verlies reduceren dan verwacht.

Niet geheel verrassend komt het waargenomen patroon in grote mate overeen met die in de voorgaande analyse over 2017-2020 (figuur 2 in Groenestein et al., 2023) omdat vier van de zes beschikbare jaren dezelfde informatie bevat. Door de uitbreiding met twee jaren neemt de nauwkeurigheid van waargenomen verschillen in N-verlies toe en is er vergeleken met de voorgaande analyse een scherper afgetekend gelijksoortig patroon zichtbaar. De linkerhelft van de lijn met oudere staltypen (staltypen A1.12 t/m A1.7) met hogere emissiefactoren dan de later geïntroduceerde staltypen in de rechterhelft toont voor het merendeel hogere N-verliezen dan de referentiestal, met daarbij voor een viertal types (A1.11, A1.8, A1.19 en A1.6) significant meer N-verlies dan de referentie. Drie staltypen binnen dit viertal zijn gebaseerd op dichte vloeren met profiel, hellende groeven/sleuven en mestschuif (A1.11, A1.8 en A1.6). Meer N-verlies kan hier samenhangen met slechte afvoer van urineplassen door dichtslibbende groeven en sleuven, en mogelijk slecht werkende mestschuiven. Bij slechte afvoer zullen emissies juist bij dichte vloeren fors toenemen in tegenstelling tot roostervloeren waar de afvoer door de korte afstand tot roosterspleten veel gemakkelijker plaatsvindt (Snoek, 2016). Staltype A1.19 is gebaseerd op roostervloer met hellende groeven en afsluitkleppen in de spleten. Ook hier kunnen dichtslibbende groeven en dichtslibbende kleppen snelle urineafvoer belemmeren met als gevolg meer achterblijvende urineplassen die volledig uit emitteren.

De overige staltypen aan de rechterzijde van de gerangschikte staltypen (A1.15 tot A1.1) variëren rond het referentieniveau zonder daar significant van af te wijken, en vertonen evenals in de voorgaande analyse geen neerwaartse trend bij afnemende Rav-emissiefactoren. Bij de hier meest voorkomende staltypen is er sprake van significant minder emissiereductie ten opzichte van de referentiestal dan verwacht. Het N-verlies is bij twee meest voorkomende nieuwere staltypen (A1.14 met 128 bedrijven, en A1.13 met 270 bedrijven) met <1%-punt afwijking nagenoeg gelijk aan de referentiestal.

De beoogde reducerende werking van de sinds 2000 ontwikkelde staltypen is gebaseerd op verminderde luchtuitwisseling met onderliggende kelder om emissie uit de kelder terug te dringen en snelle afvoer van urineplassen om emissie van de vloer in toom te houden. Het significant grotere N-verlies van de eerste groep staltypen en het ontbreken van significant lagere N-verliezen bij de daarna op de Rav-lijst verschenen stallen maakt duidelijk dat de uitvoering van dit werkingsprincipe in de praktijk problemen oplevert. De meest plausibele verklaring hiervoor is dat urine niet voldoende snel kan worden afgevoerd door mestophoping in groeven en sleuven en niet voldoende functionerende mestschuiven. Door het verkleinen van mestdoorlaten om de luchtuitwisseling te beperken kan dit resulteren in een forse vloeremissie die veel groter is dan emissie van roostervloeren, en zoals hiervoor besproken bij de oudere staltypen zelfs tot significant hogere N verliezen ten opzichte van de referentiestal leidt. In de rapportage van Bremmer et al.

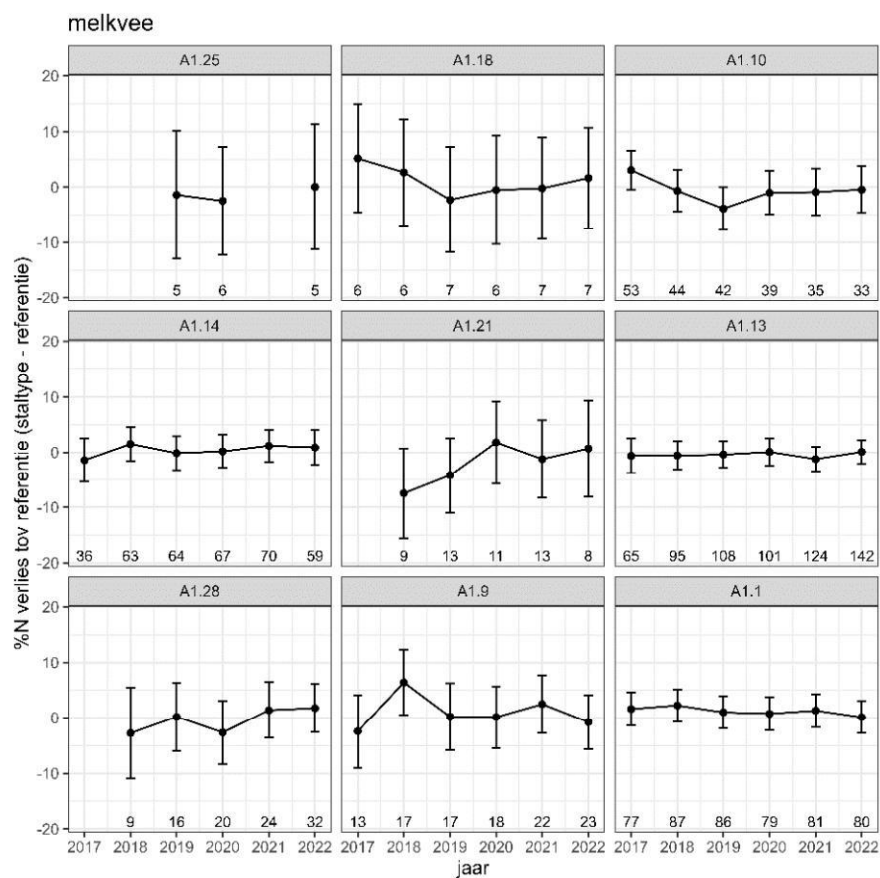
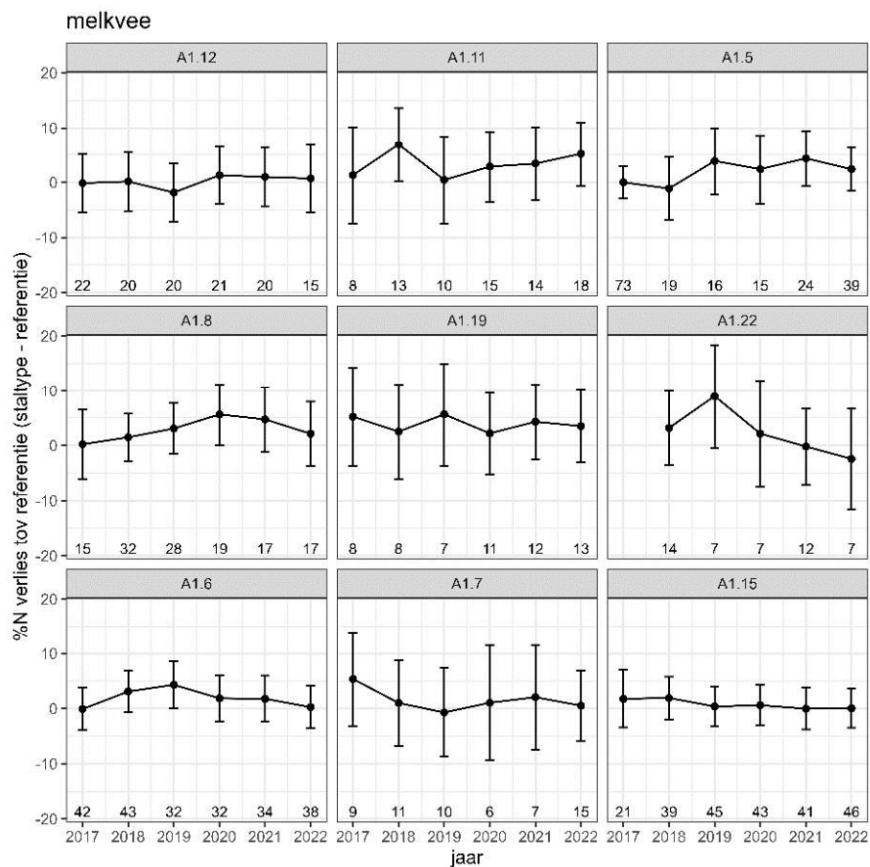
(2022) worden alle aspecten die een rol kunnen spelen bij de effectiviteit van reducerende staltechnieken in de praktijk besproken.

3.1.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode

In Figuur 2 is voor elk stalsysteem het verloop van het waargenomen gemiddelde verschil in N-verlies met de referentiestal in de tijd weergegeven, inclusief het 99%-betrouwbaarheidsinterval per waarnemingspunt. De staltypes zijn hier van linksboven naar rechtsonder regelgewijs gerangschikt op aflopende Rav-factor, conform de rangschikking in Figuur 1. NB: verschil in N-verlies wordt voor een betreffend jaar niet berekend als het aantal bedrijven van een staltype in de analyse kleiner is dan 5, daardoor is er voor enkele staltypes sprake van een onvolledige trendlijn.

In Figuur 2 is geen gemeenschappelijk patroon waar te nemen dat wijst op een collectief gestaag afnemend of toenemend N-verlies. Wel zijn er tegenstrijdige trends waarneembaar tussen afzonderlijke staltypes. Staltype A1.22 laat bijvoorbeeld over de laatste vier jaar een sterke daling zien van 9%-punten verschil tot iets onder 0% zien, en A1.11 over de laatste vier jaar de sterke stijging van 0 tot 5%.

De trends bij de staltypes met veel bedrijven zoals A1.14, A1.13 en A1.1 geven een stabiel niveau weer qua verschil in N-verlies met de referentiestal. Samengevat zijn er geen aanwijzingen van over de gehele linie genomen structurele verschuivingen in N-verlies in de tijd. Voor enkele staltypes is er wel sprake van een stijgende of afnemende trend.

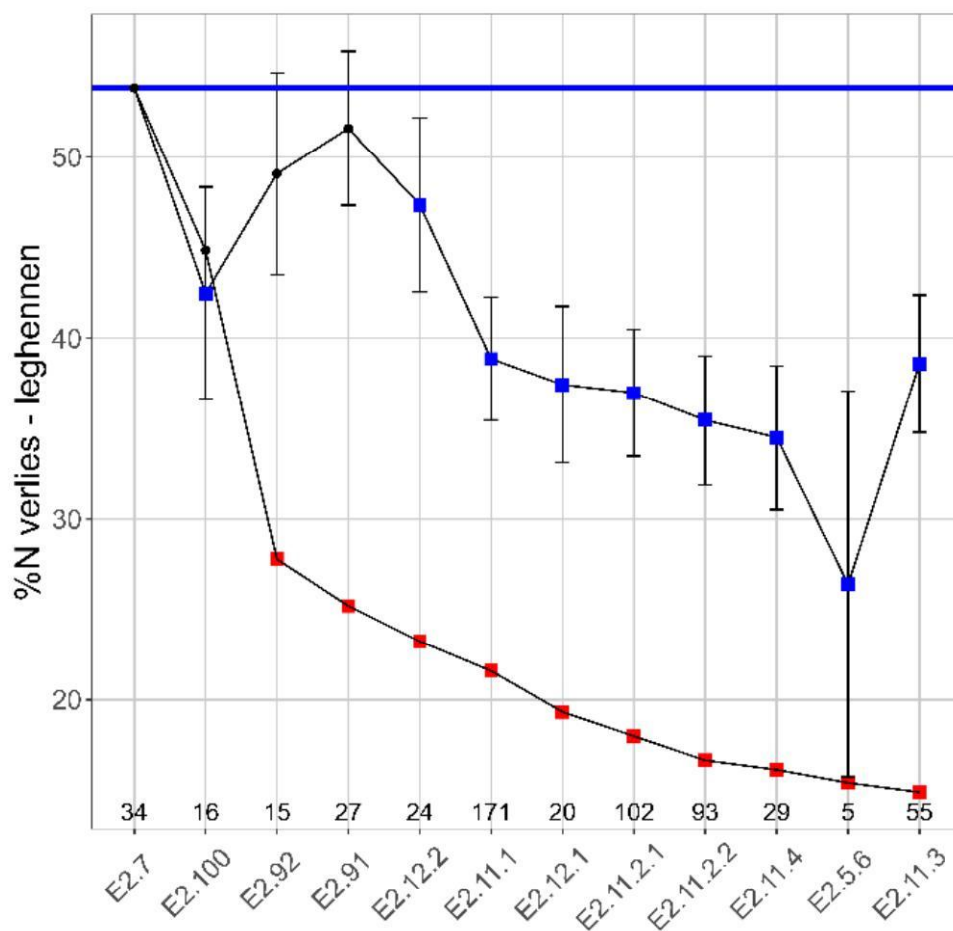


Figuur 2 Melkvee: verloop in de periode 2017-2022 van verschil in N-verlies als percentage van N-excretie tussen staltype en referentiestal A1.100, weergegeven per jaar voor staltypes A1.12 tot en met A1.1, van linksboven tot rechtsonder gerangschikt naar aflopende Rav-factor. Boven de horizontale as is het aantal bedrijven vermeld. De verticaal weergegeven bandbreedtes van waargenomen verschillen geven het 99%-betrouwbaarheidsinterval weer.

3.2 Leghennen

3.2.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen

Het N-verlies als percentage van de N-excretie in stallen voor leghennen wordt in Figuur 3 als het verschil tussen staltypen en referentiestal E2.7 weergegeven over de periode 2017-2022. De aanvulling van de waarnemingsperiode met 2 jaren levert nagenoeg hetzelfde beeld op als de voorgaande analyse. Er is een duidelijke relatie tussen toegekende Rav-factoren en het waargenomen verschil in N-verlies, en er is sprake van significante reductie bij het merendeel van de stallen (zie blauwe vierkanten). Het verschil in N-verlies met de referentiestal is echter voor praktisch alle staltypen significant minder dan verwacht (zie de markering met rode vierkanten), met andere woorden er is sprake van een lagere emissiereductie.

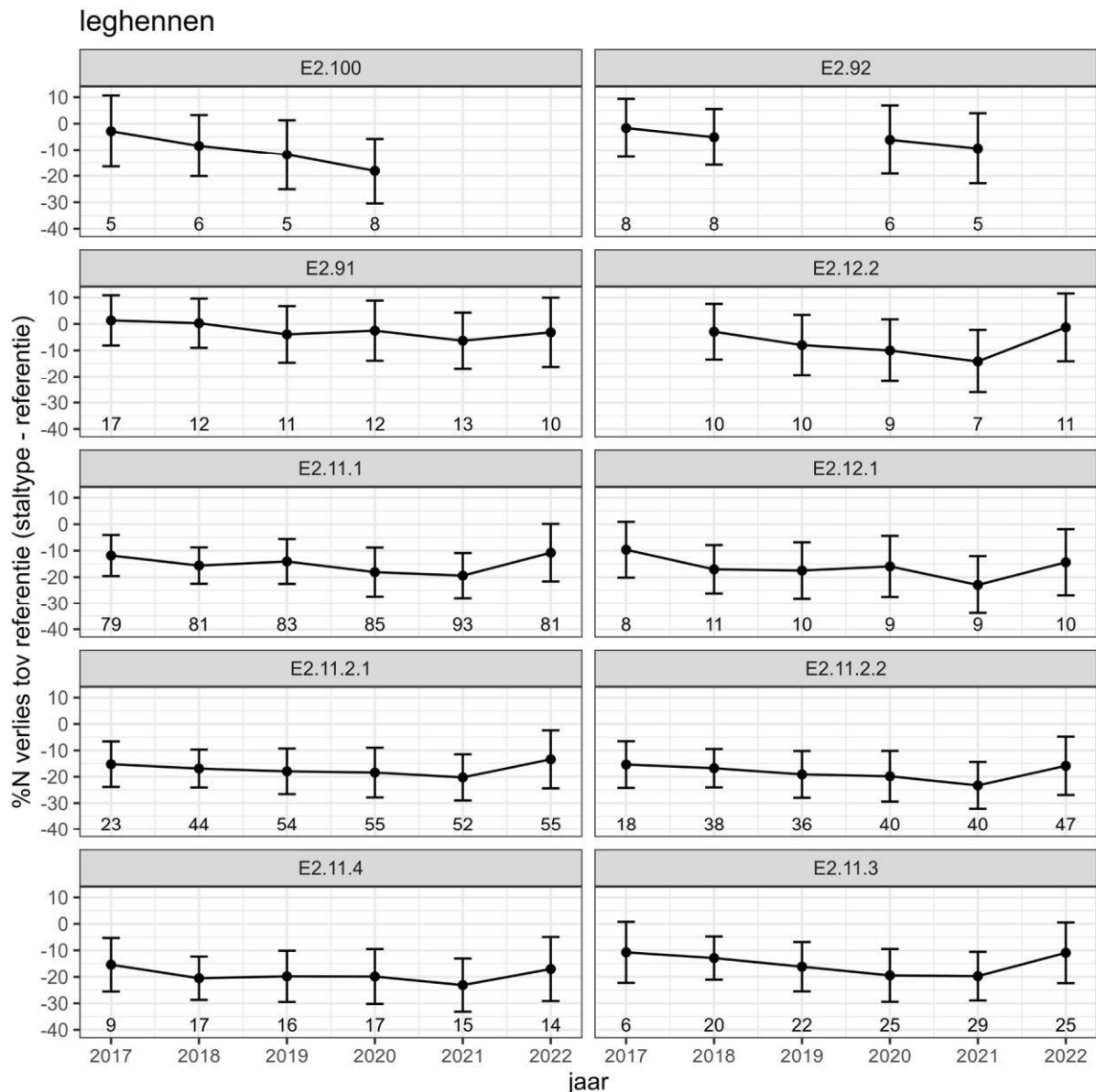


Figuur 3 Leghennen: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes van de staltypen en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte lijn geven per staltype de hoogte van het waargenomen N-verlies weer, en de bijbehorende verticale lijn de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal E2.7, en de punten op de onderste lijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal. Staltypen met significant hogere verliezen dan verwacht volgens de Rav-factor zijn gemarkeerd met rode vierkanten op de verwachtingslijn. Significant afwijkende (lagere) verliezen dan de referentiestal zijn gemarkeerd met blauwe vierkanten op de lijn met de waargenomen verliezen.

3.2.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode

In Figuur 4 is voor elk stalstelsel het verloop van het waargenomen gemiddelde verschil in N-verlies met de referentiestal in de tijd weergegeven, inclusief het 99%-betrouwbaarheidsinterval per waarnemingspunt. De staltypes zijn hier van linksboven naar rechtsonder gerangschikt op aflopende Rav-factor, conform de rangschikking in Figuur 3.

Er is sprake van een overeenkomend patroon over de staltypes heen. Doordat per jaar het aantal waarnemingen zowel in de referentiestal als de afzonderlijke staltypes relatief beperkt is deze methode van trendweergave gevoelig voor schommelingen in N-verlies in de referentiestal. Dat verklaart mogelijk het jaareffect van 2022 die bij alle staltypes een afnemende reductie ten opzichte van de referentiestal laat zien. Het overkoepelende beeld met inachtneming van de onzekerheidsmarges in de figuur is dat het verschil in N-verlies over de jaren geen structurele verbetering of verslechtering laat zien.

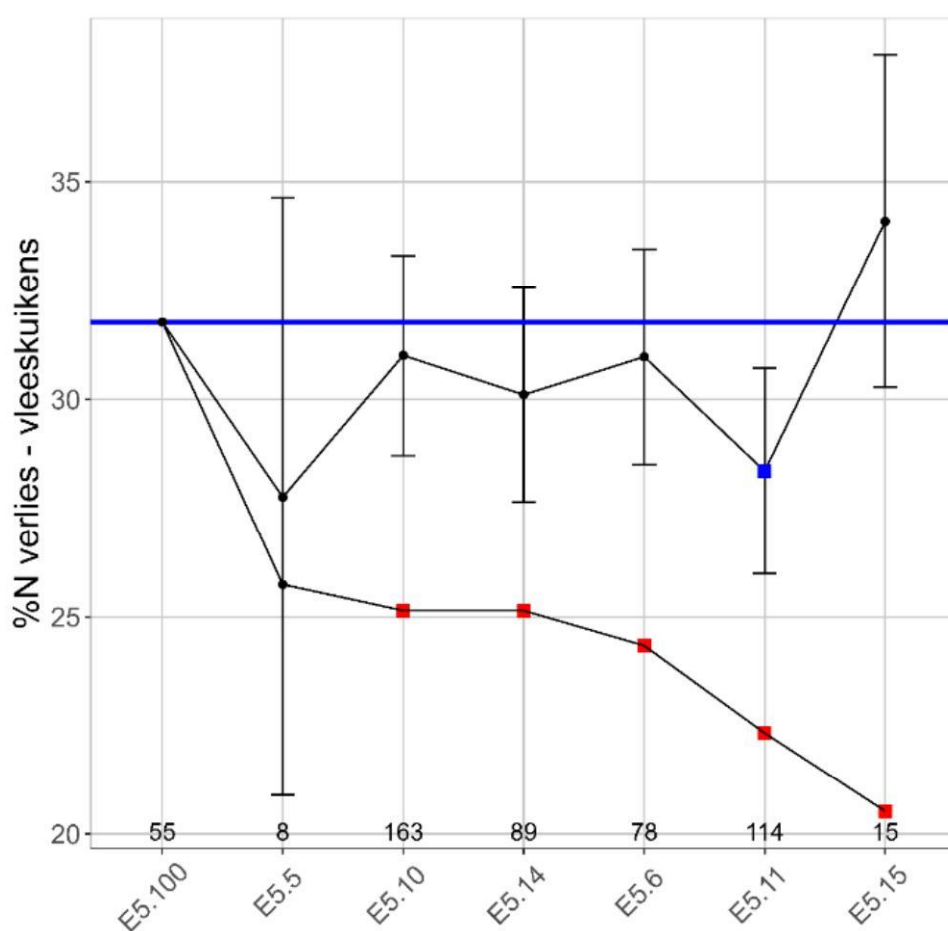


Figuur 4 Leghennen: verloop in de periode 2017-2022 van verschil in N-verlies als percentage van N-excretie tussen staltype en referentiestal E2.7, weergegeven per jaar, van linksboven tot rechtsonder gerangschikt naar aflopende Rav-factor. Boven de horizontale as is het aantal bedrijven vermeld. De verticaal weergegeven bandbreedtes van waargenomen verschillen geven het 99%-betrouwbaarheidsinterval weer.

3.3 Vleeskuikens

3.3.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen

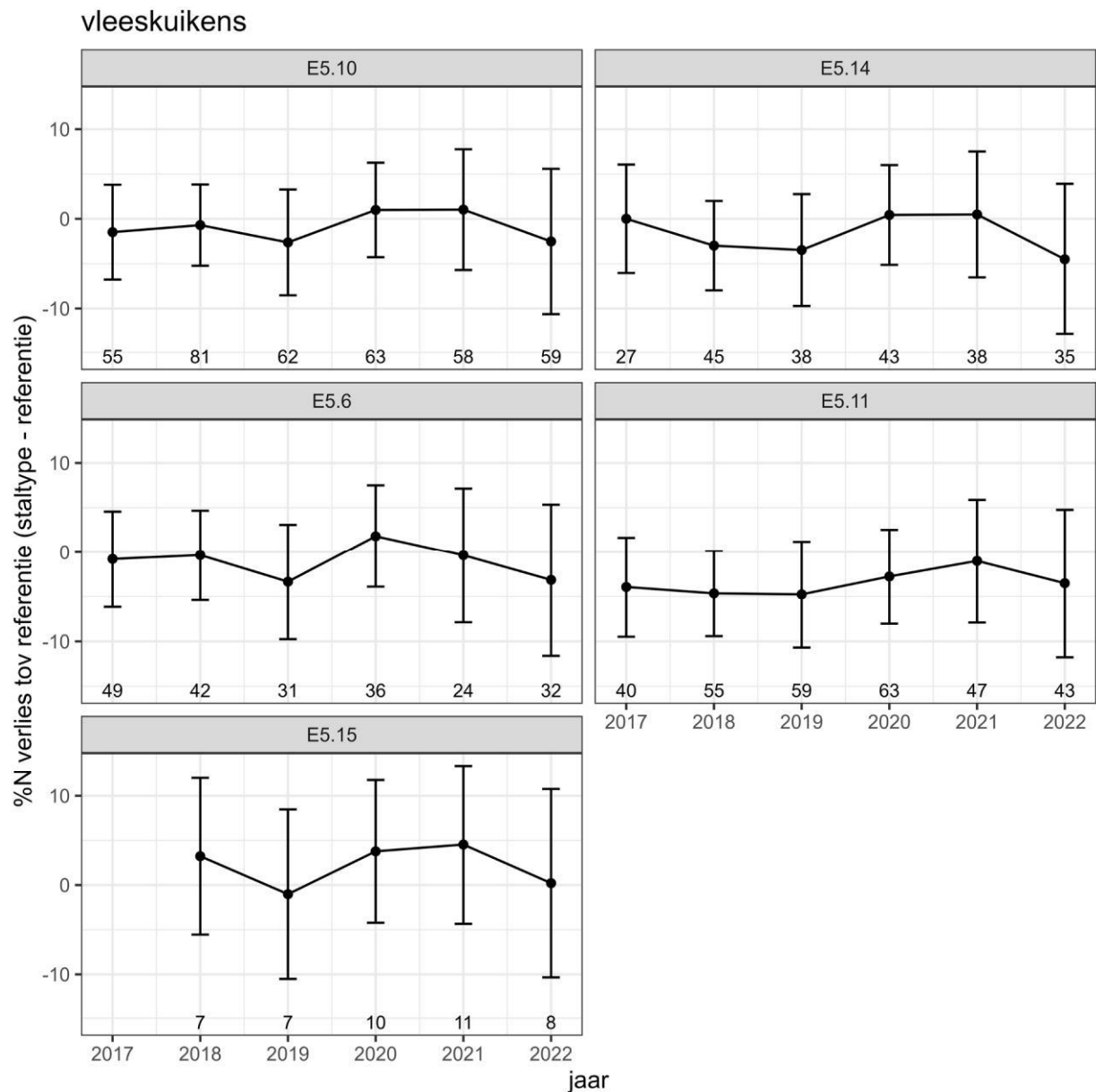
Het N-verlies als percentage van de N-excretie in stallen voor vleeskuikens wordt in Figuur 5 als het verschil tussen staltypen en referentiestal E2.100 weergegeven over de periode 2017-2022. De aanvulling van de waarnemingsperiode met 2 jaren levert nagenoeg hetzelfde beeld op als de voorgaande analyse. Het merendeel van de staltypen heeft een wat lager N-verlies dan de referentiestal, maar zoals in de voorgaande analyse is dit enkel significant lager voor staltype E5.11. Er is geen sprake van een duidelijke relatie tussen toegekende Rav-factoren en het waargenomen verschil in N-verlies. Het verschil in N-verlies is minder dan verwacht. De emissiereductie ten opzichte van de referentiestal is voor het merendeel van de staltypen significant minder is dan verwacht (zie markering met rode vierkanten).



Figuur 5 Vleeskuikens: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes van de staltypen en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte lijn geven per staltype de hoogte van het waargenomen N-verlies weer, en de bijbehorende verticale lijn de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal E5.100, en de punten op de onderste lijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal. Staltypen met significant hogere verliezen dan verwacht volgens de Rav-factor zijn gemarkeerd met rode vierkanten op de verwachtingslijn. Significant afwijkende (lagere) verliezen dan de referentiestal zijn gemarkeerd met blauwe vierkanten op de lijn met de waargenomen verliezen.

3.3.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode

In Figuur 6 is voor elk stalstelsel het verloop van het waargenomen gemiddelde verschil in N-verlies met de referentiestal in de tijd weergegeven, inclusief het 99%-betrouwbaarheidsinterval per waarnemingspunt. De staltypes zijn hier van linksboven naar rechtsonder gerangschikt op aflopende Rav-factor, conform de rangschikking in Figuur 5. Het overkoepelende beeld met inachtneming van de onzekerheidsmarges in de figuur is dat het verschil in N-verlies over de jaren geen structurele verbetering of verslechtering laat zien.

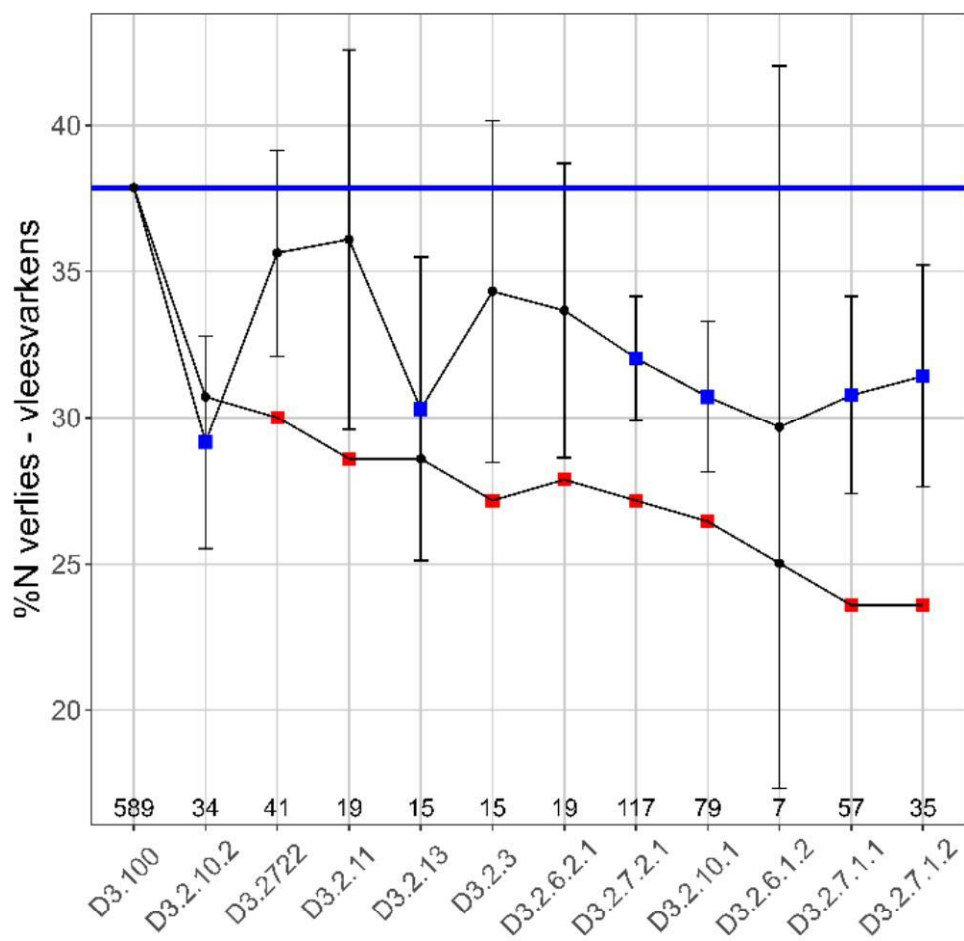


Figuur 6 Vleeskuikens: verloop in de periode 2017-2022 van verschil in N-verlies als percentage van N-excretie tussen staltype en referentiestal E5.15, weergegeven per jaar, van linksboven tot rechtsonder gerangschikt naar aflopende Rav-factor. Boven de horizontale as is het aantal bedrijven vermeld. De verticaal weergegeven bandbreedtes van waargenomen verschillen geven het 99%-betrouwbaarheidsinterval weer.

3.4 Vleesvarkens

3.4.1 Verschillen in N-verlies tussen staltypen

Het N-verlies als percentage van de N-excretie in stallen voor leghennen wordt in Figuur 3 als het verschil tussen staltypen en referentiestal D3.100 weergegeven over de periode 2017-2022. De aanvulling van de waarnemingsperiode met 2 jaren levert een beeld dat vergelijkbaar is met voorgaande analyse. Het waargenomen verschil in N-verlies vertoont een dalende trend met afnemende Rav-factor. Bij iets meer dan de helft van de stallen is er sprake van significante reductie (zie blauwe vierkanten).

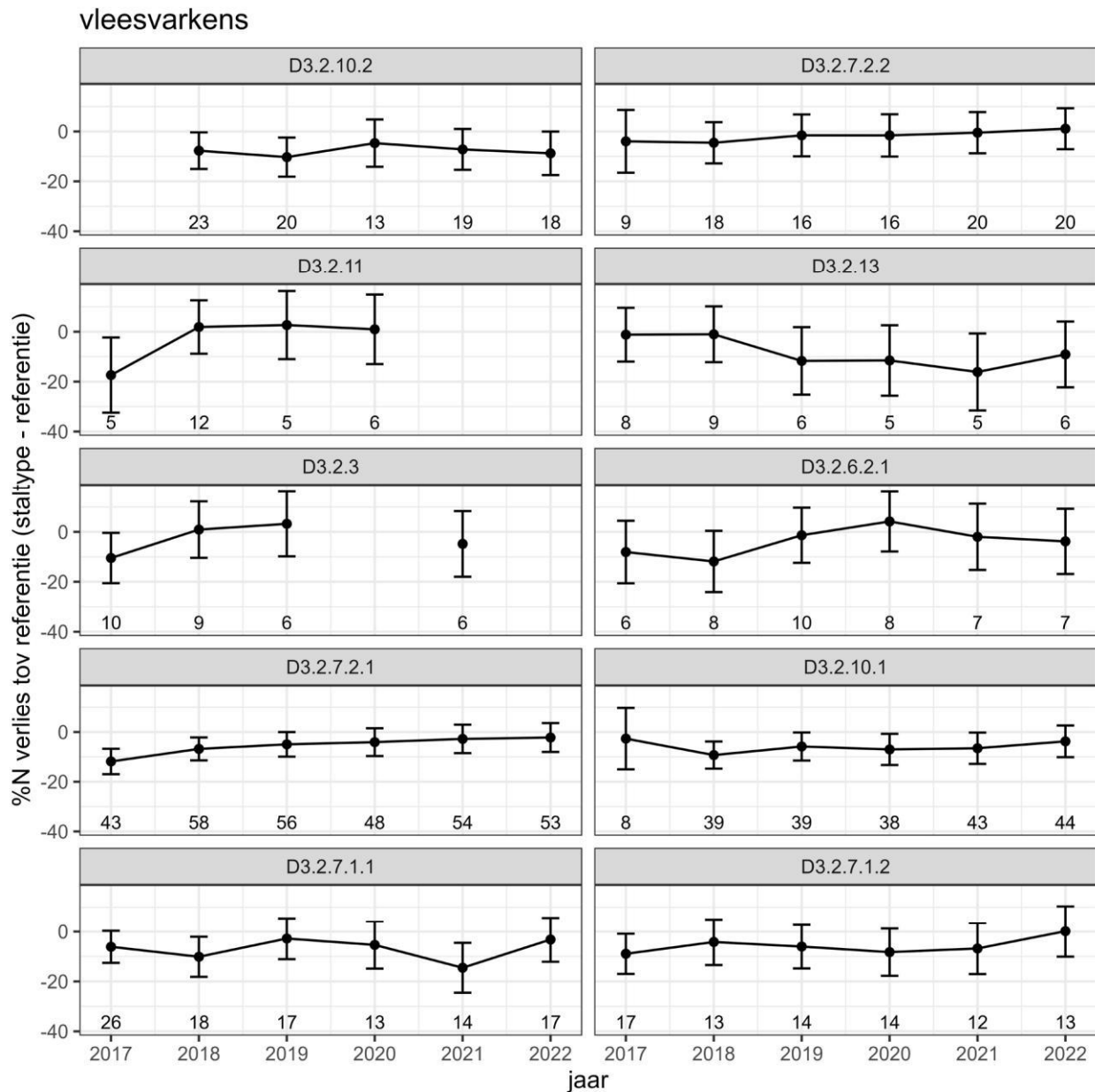


Figuur 7 Vleesvarkens: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes van de staltypen en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte lijn geven per staltype de hoogte van het waargenomen N-verlies weer, en de bijbehorende verticale lijn de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal D3.100, en de punten op de onderste lijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal. Staltypen met significant hogere verliezen dan verwacht volgens de Rav-factor zijn gemarkeerd met rode vierkanten op de verwachtingslijn. Significant afwijkende (lagere) verliezen dan de referentiestal zijn gemarkeerd met blauwe vierkanten op de lijn met de waargenomen verliezen.

Het verschil in N-verlies met de referentiestal is echter voor het merendeel van de staltypen significant minder dan verwacht (zie de markering met rode vierkanten), met andere woorden er is sprake van een lagere emissiereductie.

3.4.2 Trends in verloop N-verlies per staltype over de waarnemingsperiode

In Figuur 8 is voor elk stalstelsel het verloop van het waargenomen gemiddelde verschil in N-verlies met de referentiestal in de tijd weergegeven, inclusief het 99%-betrouwbaarheidsinterval per waarnemingspunt. De staltypes zijn hier van linksboven naar rechtsonder gerangschikt op aflopende Rav-factor, conform de rangschikking in Figuur 7. Er is geen sprake van een collectief gestaag stijgende of afnemende trend in het verschil N-verlies met de referentiestal.



Figuur 8 Vleesvarkens: verloop in de periode 2017-2022 van verschil in N-verlies als percentage van N-excretie tussen staltype en referentiestal D3.100, weergegeven per jaar, van linksboven tot rechtsonder gerangschikt naar aflopende Rav-factor. Boven de horizontale as is het aantal bedrijven vermeld. De verticaal weergegeven bandbreedtes van waargenomen verschillen geven het 99%-betrouwbaarheidsinterval weer.

4 Discussie en conclusies

4.1 Discussie

De uitbreiding van de database met mestanalyses met twee extra jaren levert in de analyse met de NP-methode een groter onderscheidend vermogen op. Zoals toegelicht in de voorgaande studie van Groenestein et al. (2023) is voor het onderscheiden van verschillen in %N-verlies tussen staltypes het aantal bedrijven en (in mindere mate) het aantal waarnemingen per bedrijf van belang. Met name in de analyse van melkvee-data komt dit tot uiting door kortere betrouwbaarheidsintervallen van het verschil in %N-verlies, met in de huidige studie voor praktisch alle staltypes vaker significant N-verlies ten opzichte van de referentiestal dan verwacht. Dat wil niet zeggen dat de gemeten verschillen structureel afwijken van de vorige studie, maar dat de nauwkeurigheid van het verschil een betrouwbaardere uitspraak toelaat.

Het verwachte verschil in N-verlies tussen staltypes is in deze studie gebaseerd op Rav-factoren die zijn uitgedrukt als percentage van de N-excretie. De NH_3 -emissiefactoren zijn hierbij gebaseerd op meetreeksen van de NH_3 -emissie op praktijkbedrijven uitgedrukt in $\text{kg NH}_3/\text{jaar}$ per dierplaats. Voor het omrekenen naar het percentage N-verlies in de N-excretie is gebruik gemaakt van de bij die meetperiode horende N-excretieniveaus die jaarlijks door de werkgroep WUM worden bepaald. In het NEMA-model dat voor nationale schattingen van N-emissies wordt gebruikt worden emissies berekend uit periodiek gerapporteerde N-excreties en de emissies van staltypes die als een constant percentage van de bij de meetperiode horende N-excretie zijn vastgesteld. Op dezelfde wijze wordt dit in NEMA ook toegepast op de emissies van N_2O , NO_x en N_2 . Opgeteld kan hieruit ook het totale N-verlies als percentage van de N-excretie worden berekend. Op deze wijze kan het effect van jaarlijkse fluctuaties in de N-excreties op de nationale emissie worden ingeschat. In het rapport van Groenestein et al. (2023) is in Tabel 1 aangegeven wat het verwachte % totaal N-verlies van de referentiestaltypes per diercategorie is. Wat opviel in de analyse over 2017-2020 en zich herhaalt in de analyse over 2017-2022 is dat bij de referentiestallen het gemeten % totaal N-verlies in de N-excretie in alle gevallen hoger ligt dan verwacht op basis van de gesommeerde emissiefactoren van de N-componenten. Dit verschil wordt Rest-N genoemd. Voor melkvee wordt 11,5% totaal N-verlies verwacht maar is het gemeten verlies 16%, met Rest-N +4,5% (Figuur 1), voor leghennen is verwacht 45% en gemeten 53%, met Rest-N +8% (Figuur 3), voor vleeskuikens verwacht 15% en gemeten 32%, met Rest-N +17% (Figuur 5) en voor vleesvarkens verwacht 24% en gemeten 34%, met Rest-N +10% (Figuur 7). Uit de NP-methode kan niet afgeleid worden welke N-component(en) de Rest-N veroorzaken. Het kan hierbij gaan om hogere stalemissies, maar ook om meer verliezen uit externe mestopslagen. Een andere mogelijke oorzaak voor positieve Rest-N is een te hoge N/P-verhouding in de N-excretie, door een overschatting van N-excretie of onderschatting van de P-excretie. Om de vragen rond het optreden van Rest-N te beantwoorden is nader onderzoek naar genoemde mogelijke oorzaken nodig.

Het aspect van rest-N en nauwkeurigheid van de NP-methode komt ook ter sprake in een onlangs door het Vlaams Wetenschappelijk Comité Luchtemissies Veeteelt (WeComV) uitgebrachte review van Groenestein et al. (2023). In deze review wordt de betrouwbaarheid van de NP-methode besproken en de daaraan gekoppelde vraag wat de resultaten uit het Nederlandse onderzoek voor de Vlaamse regelgeving zou kunnen betekenen (WeComV, 2024). In deze review wordt ingegaan op het effect van een mogelijk ander aandeel van de NH_3 -emissie in de gasvormige N-verliezen dan verwacht volgens de emissiefactoren. In de review wordt betoogd dat als het aandeel van NH_3 in de totale N-emissie afneemt (uitgedrukt in absolute waarden, kg/dag), doordat bijvoorbeeld de N_2 -emissie veel hoger is dan aangenomen, dit leidt tot een geringere betrouwbaarheid van de NP-methode omdat de aan te tonen verschillen in N-concentraties in de mest hierdoor volgens de review zou afnemen. De in de NP-studie gepresenteerde power-analyse zou dan niet meer geldig zijn. Deze interpretatie gaat voorbij aan het gegeven dat een afname van het aandeel NH_3 in de totale gasvormige emissie niet betekent dat het aandeel NH_3 in de N-excretie daarmee anders wordt. Meer N_2 -emissie dan verwacht resulteert uitsluitend in een hoger percentage N_2 in de N-excretie en een hoger totaal percentage totaal-N dat uit de N-excretie emitteert. De NP-methode richt zich uitsluitend op verschillen tussen staltypes die zijn uitgedrukt als percentage van de N-excretie en vergelijkt die met een

verwachte waarde volgens huidige NH₃-emissiefactoren. Deze verschilpercentages zijn niet gevoelig voor toename van %N-verlies uit de excretie door andere gasvormige N-componenten. Het aan te tonen verschil in %N-verlies en daarmee corresponderende verschillen in N-concentraties in de mest van te vergelijken staltypes blijft onveranderd. Er is dus geen reden om de geldigheid van de power-analyse en de betrouwbaarheidsintervallen van de verschillen in %N-verskil te twijfelen.

In de voorgaande rapportage is ook besproken welke factoren een verstorend effect zouden kunnen hebben op het met de NP-methode gemeten verschil in N-verlies. Omdat de analyse zich richt op verschillen in N-verlies tussen staltypes is het daarbij telkens van belang na te gaan of een verstorende factor dan juist bij het ene staltype wel optreedt en bij het andere niet. Als dat niet het geval is valt het effect in een verschilmeting tegen elkaar weg. Zo kunnen in de melkvee-analyse factoren als verschil in beschikbaar loopoppervlak en het voorkomen in de praktijk van het gebruik van dikke fractie als boxstrooisel verstorend werken. Zo lang er echter geen aanwijzingen zijn dat de impact van deze factoren in de praktijk verschilt tussen staltypes is het niet aannemelijk dat deze een groot effect hebben gehad op de verschilmeting. In dit verband ligt het voor de hand om impact van verstorende factoren aanvullend te onderzoeken door cohort-vergelijkingen, waarbij een groep bedrijven met het hoogste %N-verlies wordt vergeleken met een groep met het laagste %N-verlies. Daarbij zou via aanvullende informatie van deze bedrijven het optreden van verstorende factoren kunnen worden onderzocht. Bovendien levert dit ook anderszins waardevolle informatie op ten aanzien van bijvoorbeeld verschillen in bedrijfsvoering die N-verlies beïnvloeden, waaruit lessen voor effectiever management van emissiereducerende technieken kunnen worden getrokken.

Door de uitbreiding van de mestanalyse-database met twee jaar kunnen trendmatige ontwikkelingen in %N-verlies van stallen ten opzichte van de referentiestal beter in beeld komen. Het al of niet optreden van trends is het best zichtbaar bij staltypes met veel bedrijven in de analyse, omdat hierdoor de bandbreedte van het betrouwbaarheidsinterval kleiner wordt, en trends in de tijd beter zichtbaar wordt. Dit levert met name in de melkvee-categorie bij de staltypes met meer dan 50 bedrijven per jaar een stabiel beeld op, met een constant verschil in %N-verlies met het referentieniveau. Het algemene beeld over de diertakken heen is dat er geen duidelijke algehele trendmatige afname of toename in %N-verlies in de tijd zichtbaar is. Dat betekent dat er geen trendmatige algehele verbetering of verslechtering van het emissie-reducerende vermogen binnen diercategorieën heeft plaatsgevonden gedurende de periode 2017-2022.

4.2 Conclusies

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusie voor de gestelde onderzoeksvragen getrokken worden:

Onderzoeksvraag 1: In hoeverre komen de resultaten en conclusies uit de integrale analyse over de periode 2017-2022 overeen met de voorgaande studie over 2017-2020?

Het waargenomen patroon in %N-verlies van staltypes t.o.v. de referentiestal zoals weergegeven in Figuur 1, 3, 5 en 7 komt overeen met het eerdere beeld verkregen uit de analyse 2017-2020. Door het groter aantal waarnemingen zijn de betrouwbaarheidsintervallen kleiner en treden er vergeleken met de voorgaande studie vaker significante verschillen met de referentiestal op. Dat wil niet zeggen dat de omvang van de gemeten verschillen structureel afweek van de voorgaande studie, maar betekent wel dat door de toegenomen nauwkeurigheid van de gemeten verschillen een betrouwbaarder algeheel beeld kon worden verkregen.

Geconcludeerd wordt dat deze studie over de periode 2017-2022 de bevindingen van de eerdere rapportage over 2017-2020 bevestigen. Deze studie versterkt het in de eerdere studie verkregen beeld en daaruit getrokken conclusie dat het verschil in stikstofverlies tussen onderzochte staltypes en conventionele huisvesting consistent kleiner is dan verwacht zou mogen worden op basis van verschil in Rav-emissiefactoren. In de melkvee-categorie is het geschatte %N-verlies voor bijna alle staltypen significant hoger dan verwacht. Bij leghennen en vleesvarkens is er sprake van significant minder N-verlies ten opzichte van de referentiestal maar minder dan verwacht. Bij vleeskuikens ligt het N-verlies voor de meeste staltypes

lager dan de referentiestal, maar is er met uitzondering van 1 staltype geen sprake van significante verschillen.

Onderzoeksvraag 2: zijn er trends in het verloop van het %N-verlies van staltypes ten opzichte van de referentiestal in de tijd waar te nemen.

Het algemene beeld over de diertakken heen is dat er geen duidelijke algehele trendmatige afname of toename in %N-verlies ten opzichte van de referentiestal in de tijd zichtbaar is. Met name de stallen met veel waarnemingen laten een stabiel verschil in %N-verlies zien. Geconcludeerd wordt dat er geen trendmatige algehele verbetering of verslechtering van het emissie-reducerende vermogen binnen diercategorieën heeft plaatsgevonden gedurende de periode 2017-2022.

Literatuur

- Bates D., Mächler M., Bolker B. & S. Walker, 2015. "Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4." *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Bremmer, B., Huisman, I., Toemen, F., Ellen, H.H., Harn, J. van, Dooren, H.J., van, Jonge, I. de, Stouthart, F. & Ogink, N.W.M., 2022. Verbetering van effectiviteit emissiearme stalsystemen in de praktijk: inventarisatie, analyse kritische factoren en advies voor verbetering van toepassing van ammoniak reducerende technieken. Wageningen Livestock Research, Rapport 1380. <https://edepot.wur.nl/573878>
- Bruggen, C. van, K. Geertjes, 2019. Stikstofverlies uit opgeslagen mest - Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag.
- Groenestein, C.M., Goedhart, P.W., Bruggen van, C., Jonge de, I. en N.W.M. Ogink, 2023. Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest - Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype. Wageningen Livestock Research, Rapport 1426. <https://edepot.wur.nl/631641>
- R Core Team, 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Snoek, D.W.J., 2016. Refining a model-based assessment strategy to estimate the ammonia emission from floors in dairy cow houses. PhD thesis, Wageningen University.
- WeComV, 2024. Advies Dossier 2023.ST.A WUR studie N-P balans. Wetenschappelijk Comité Luchtemissies Veeteelt, Vlaanderen.

Bijlage 1 Conversietabel OW-Rav code

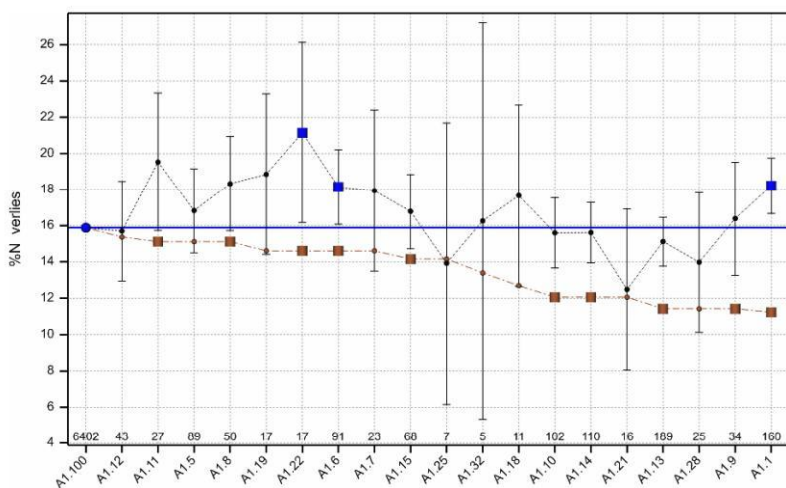
Bron IPLO: <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/dierenverblijven/systeembeschrijvingen-stallen/conversietabel-bijlage-rav-code/>

OW-code - omschrijving	Rav-code - omschrijving
RUNDEREN	RUNDEREN
HA1 - melk- en kalfkoeien van 2 jaar en ouder (inclusief kalveren jonger dan 14 dagen)	A 1 - melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar
VARKENS	VARKENS
HD5 - vleesvarkens van 25 kg en meer, diercategorie opfokberen van 25 kg meer en jonger dan 7 maanden diercategorie opfokzeugen van 25 kg en meer	D 3 - vleesvarkens, opfokberen van circa 25 kg tot 7 maanden, opfokzeugen van circa 25 kg tot eerste dekking
KIPPEN	KIPPEN
HE1 - opfokhennen en -hanen van legkippen jonger dan 18 weken	E 1 - opfokhennen en hanen van legrassen; jonger dan 18 weken
HE2 - legkippen van 18 weken en ouder, diercategorie ouderdieren van legkippen van 18 weken en ouder	E 2 - legkippen en (groot-) ouderdieren van legrassen
HE3 - ouderdieren van vleeskuikens in opfok jonger dan 19 weken	E 3 - (groot-)ouderdieren van vleeskuikens in opfok; jonger dan 19 weken
HE4 - ouderdieren van vleeskuikens van 19 weken en ouder	E 4 - (groot-)ouderdieren van vleeskuikens
HE5 - vleeskuikens	E 5 - diercategorie vleeskuikens

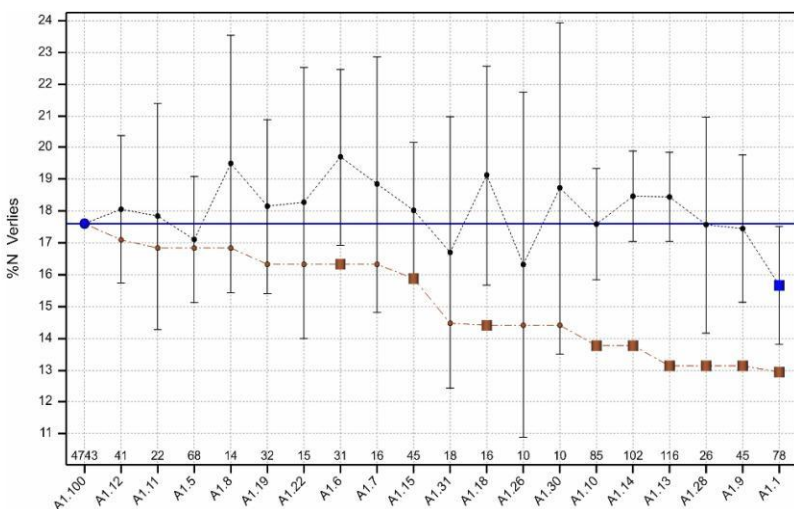
Bijlage 2 Grafische weergave %N-verliezen analyse 2017-2020

Bron:

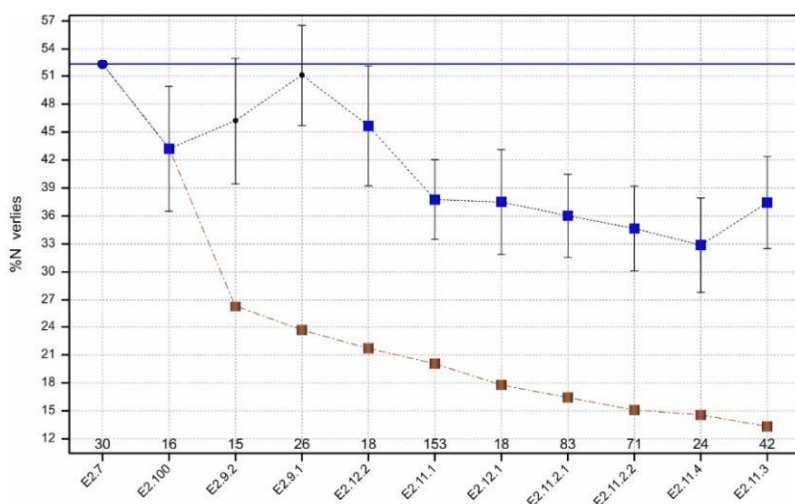
Groenestein, C.M., Goedhart, P.W., Bruggen van, C., Jonge de, I. en N.W.M. Ogink, 2023. Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest - Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype. Wageningen Livestock Research, Rapport 1426.



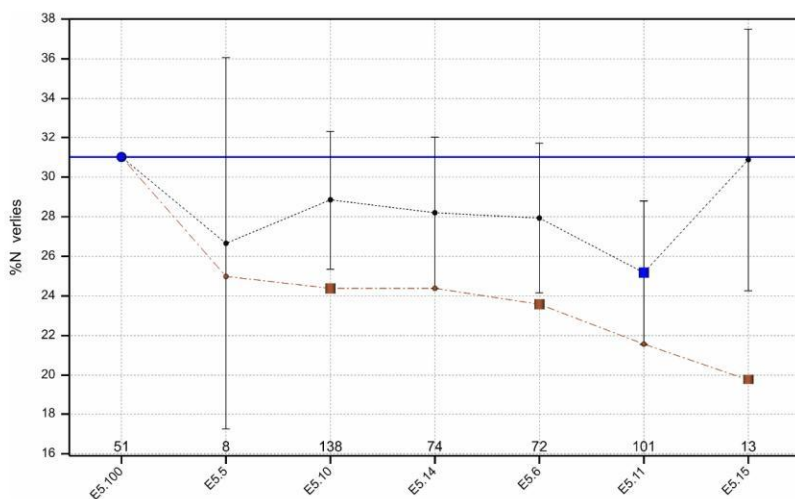
Figuur S1 Melkvee, CBS-bestand: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal A1.100, en de punten op de bruine stippellijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal. Blauwe vierkanten geven significante verschillen met de referentiestal aan; significante verschillen tussen gemeten en verwacht %N-verlies worden weergegeven met bruine vierkanten in de bruine lijn.



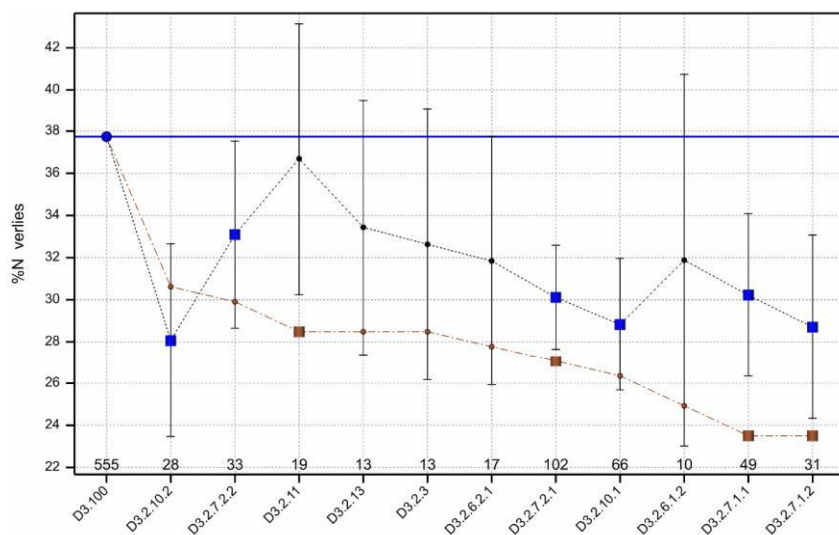
Figuur S2 Melkvee, KLV-bestand: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal A1.100, en de punten op de bruine stippellijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal.



Figuur S3 Leghennen, CBS-bestand: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal E2.7, en de punten op de bruine stippellijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal



Figuur S4 Vleeskuikens, CBS-bestand: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal E5.100, en de punten op de bruine stippellijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal. .



Figuur S5 Vleesvarkens, CBS-bestand: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal D3.100, en de punten op de bruine stippellijn het volgens de Rav-factor verwachte $\text{NH}_3\text{-N}$ verlies per staltype t.o.v. de referentiestal.