





# Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van de stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest

## Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype

Karin Groenestein, Paul W. Goedhart, Cor van Bruggen, Iris de Jonge, Nico Ogink

Rapport 1426

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

# Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van de stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest

Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype

Karin Groenestein[1], Paul W. Goedhart[2], Cor van Bruggen[3], Iris de Jonge[1], Nico Ogink[1]

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, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Duurzame voedselvoorziening & -productieketens & Natuur' (projectnummer BO-43-101-045).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juni 2023

Rapport 1426

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Groenestein, C.M., P.W. Goedhart, C. van Bruggen, I. de Jonge de 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.

Samenvatting NL
Dit onderzoek bestudeerde de bruikbaarheid van de verhouding tussen stikstof en fosfaat in de mest voor en na opslag, om het verschil te kunnen duiden tussen N-verliezen uit emissie-arme stallen vergeleken met die uit de referentiestal zonder emissie-arme inrichting. Luchtwassers waren geen onderdeel van deze studie. De analyse werd uitgevoerd met landelijke data, daarnaast werden voor melkvee ook bedrijfsspecifieke data gebruikt, waardoor gecorrigeerd kon worden voor bedrijfsspecifieke factoren. De analyses toonden aan dat verschillen tussen N-verliezen uit emissie-arme en referente stallen goed geduid konden worden. Hierbij bleek dat de onderzochte emissiearme stalsystemen (tot 2021) voor melkvee geen aantoonbaar lagere N-verliezen hadden dan de referente A1.100 stal, ook niet na correctie voor bedrijfsspecifieke kenmerken. Emissie-arme stallen voor vleesvarkens en pluimvee lieten wel lagere N-verliezen zien dan uit de referente stalsystemen, maar niet zo veel als verwacht mocht worden. Nader onderzoek is nodig om grip te krijgen op de factoren die het effect van emissie-arme systemen verminderen om de werking te borgen.

Summary UK
This research studied the usability of the ratio of nitrogen to phosphate in manure before and after storage, in order to interpret the difference between N losses from low-emission housing compared to that from the reference housing without low-emission equipment. Airscrubbers were not included in this research. The analysis was performed using national data, in addition for dairy, farm-specific data were used, allowing correction for farm-specific factors. The analyses showed that differences between N losses from low-emission- and reference housing could be well interpreted. The results showed that the studied low-emission housing systems (until 2021) for dairy did not have verifiable lower N losses than the reference A1.100 barn, even after correction for farm-specific characteristics. Low-emission houses for fattening pigs and poultry did show lower N losses than from the reference housing systems, but not as much as might be expected. Further research is needed to get a grip on the factors that reduce the effect of low-emission systems to ensure efficacy.

Dit rapport is gratis te downloaden op https://doi.org/10.18174/631641 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, 2023
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** **11**

**1 Inleiding en doelstelling** **17**

**2 N-verliezen op basis van de NP-methode** **19**

2.1 Toepassing van de NP-methode in dit onderzoek 19
2.2 Analyse CBS-databestand: 2017-2020 21
2.2.1 Samenstelling en bewerking databestand 21
2.2.2 Statistisch analyse-model 22
2.2.3 Resultaten analyse CBS-databestand 23
2.3 Analyse melkveestallen met KLW-informatie: 2018-2020 28
2.3.1 Databestand 28
2.3.2 Aanpak statistische analyse 30
2.3.3 Resultaten analyse staleffect 31
2.3.4 Power analyse 33

**3 Discussie en conclusies** **35**

3.1 Discussie 35
3.2 Conclusies en aanbevelingen 38

**Literatuur** **40**

**Bijlage 1 Toelichting samenstelling CBS-databestand** **41**

**Bijlage 2 Emissiefactoren en beschrijving stalsystemen (bijlage 1 RAV)** **45**

**Bijlage 3 CBS-dataset: aanvullende analyses** **51**

**Bijlage 4 KLW-dataset: aanvullende analyses** **71**

# Woord vooraf

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 die zijn conclusie baseerde op een grootschalige analyse van stikstofgehalten in mest die wordt afgevoerd van veehouderijbedrijven. Naar aanleiding van dit onderzoek heeft het ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit aan Wageningen Livestock Research (WLR) gevraagd nader onderzoek uit te voeren naar de toegepaste methode gebaseerd op mestanalyses, en de bevindingen van het CBS-onderzoek te verifiëren aan de hand van recentere mestanalyse-data.

Voor de uitvoering van dit onderzoek is gebruik gemaakt van databestanden. Het CBS heeft mestanalyse-data uit de periode 2017-2020 beschikbaar gemaakt. ZuivelNL heeft data uit de database van de Kringloopwijzer voor de jaren 2018-2020 gedeeld. In beide gevallen waren de ontvangen data geanonimiseerd. Het projectteam dankt CBS en ZuivelNL voor hun medewerking.

De auteurs

# Samenvatting

Voor een effectief stikstofbeleid in de veehouderij is het essentieel dat vastgestelde emissiefactoren van emissiearme staltypen een juist beeld geven van de reductie die hiermee in de praktijk gerealiseerd wordt. Vraagtekens over de effectiviteit ontstonden in 2019 naar aanleiding van een publicatie van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) over een grootschalige statistische analyse van de mestsamenstelling in mestmonsters van afgevoerde mest van veebedrijven in de periode 2015-2017. De analyse maakt gebruik van de verhouding in de mest van stikstof (N) en fosfaat ($P_2O_5$, verder verkort aangeduid met P), en het gegeven dat N in de mest in de stal deels vervluchtigt (hoofdzakelijk als N-ammoniak) maar P niet. Door deze NP-verhouding na opslag te vergelijken met de NP-verhouding in de excretie (verse mest) kan het gasvormig N-verlies na opslag als percentage van de N-excretie worden geschat. Met deze zogenoemde NP-methode vergeleek het CBS het N-verlies tussen ammoniak-emissiearme en conventionele stallen. Door de veronderstelde reductie van de N-ammoniak in emissiearme stallen moet het N-verlies uit mest lager zijn dan in conventionele stallen. Het CBS constateerde uit het gevonden verschil in N-verlies dat emissiearme stallen vermoedelijk minder effectief zijn dan verondersteld. N.a.v. dit onderzoek heeft de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) advies aan het Ministerie van LNV uitgebracht om de toepassing van de NP-methode nader te onderzoeken en met nieuwe data te verifiëren. LNV heeft daarop financiering toegekend aan Wageningen Livestock Research voor uitvoering van dit onderzoek.

De doelstellingen van deze studie zijn:

- onderzoeken welke nauwkeurigheid kan worden bereikt met de NP-methode om verschillen in gasvormig N-verlies tussen staltypen te kunnen vaststellen; met nauwkeurigheid wordt hier bedoeld of het beschikbare aantal bedrijven met mestanalyses voldoende groot is om het verschil in N-verlies tussen staltypen betrouwbaar vast te stellen;
- met behulp van de NP-methode onderzoeken of er al of niet sprake is van significante verschillen in N-verlies tussen conventionele en emissiearme stalsystemen binnen de categorieën melkvee, varkens en pluimvee in het tijdvak 2017-2020, om daarmee de effectiviteit in ammoniakreductie van emissiearme staltype te kunnen beoordelen, en tevens daarmee de resultaten van de eerdere CBS-studie over de periode 2015-2017 te verifiëren.

Het onderzoek is gebaseerd op afzonderlijke statistische analyses van twee databestanden. Het betreft een databestand aangeleverd door het CBS (CBS-bestand) met mestanalyses en bijbehorende bedrijfsgegevens uit de periode 2017-2020 van de categorieën melkvee, vleesvarkens, leghennen en vleeskuikens. Daarnaast is een databestand gebruikt gebaseerd op gegevens uit de database van de Kringloopwijzer (KLW-bestand) die uitsluitend data van melkveestallen bevat over de periode 2018-2020. Bij melkvee en varkens is gekeken naar drijfmestsystemen, bij pluimvee naar systemen met vaste mest. Het belangrijkste verschil tussen beide analyses was dat de benodigde N en P excreties in het CBS-bestand waren gebaseerd op regio-specifieke gemiddeldes per jaar, en in het KLW-bestand op een jaarlijks bedrijfsspecifieke excretie afgeleid uit rantsoen en productiegegevens. In plaats van groepsvergelijkingen tussen emissiearme en conventionele stallen, zoals in de CBS-studie, werden hier de nieuwe emissiearme staltypen, zoals opgenomen in de Rav, afzonderlijk vergeleken met de zogenoemde conventionele referentiestal. Tevens is in deze studie het effect van staltype op het N-verlies gecorrigeerd voor andere omgevingsfactoren en de verschillen in N-verlies zijn statistisch getoetst.

De bestanden bevatten informatie over N en P in de mestmonsters, staltype en aanvullende informatie met mogelijk verklarende bedrijfsfactoren. Voorafgaand aan de statistische analyse is dataselectie uitgevoerd in de aangeleverde geanonimiseerde databestanden om extreme waarden en bedrijven met onvolledige records te verwijderen. Het statistisch analysemodel bevatte naast staltype aanvullende verklarende factoren (GVE per ha, regio, maand, laboratorium, N/P krachtvoer) om het verschil in N-verlies tussen staltypen zo nauwkeurig mogelijk te schatten. Het N-verlies was uitgedrukt als percentage van de N-excretie, verder aangeduid als %N-verlies. Voor elk staltype is het verschil in %N-verlies met de referentiestal bepaald en tevens vergeleken met %N-verlies dat verwacht wordt op basis van de toegekende emissiefactoren voor

beide staltypen. Analyses van de melkveedata in het CBS-bestand met regio-specifieke gemiddelde excreties en het KLW-bestand met bedrijfsspecifieke excreties zijn afzonderlijk uitgevoerd en met elkaar vergeleken.

De resultaten van de analyse zijn voor elke diercategorie hieronder grafisch samengevat (Figuur S1 t/m S5). De Rav-codes van de staltypen zijn op de horizontale as gerangschikt naar grootte van de ammoniak-emissiefactor beginnend met de referentiestal. Voor elk staltype is het geschatte %N-verlies op basis van de NP-methode weergegeven op de verticale as. Deze N-verliezen zijn gecorrigeerd voor de aanvullende verklarende factoren. Op de horizontale as staat tevens het aantal bedrijven in het databestand per staltype weergegeven. De blauwe horizontale lijn is het verliesniveau van de referentiestal. De geschatte %N-verliezen zijn met zwarte punten weergegeven. Het verschil tussen deze punten en de blauwe referentielijn is het verschil in %N-verlies met de referentiestal. Om trends zichtbaar te maken zijn deze punten met een zwarte stippellijn verbonden. De nauwkeurigheid van het geschatte verschil met het referentie staltype is als 99%-betrouwbaarheidsinterval met een verticale lijn weergegeven. De lengte van deze intervallen wordt mede bepaald door het aantal beschikbare bedrijven van een staltype: de intervallen zijn korter bij meer bedrijven. Indien een betrouwbaarheidsinterval de blauwe lijn niet doorsnijdt is er een significant verschil tussen het %N-verlies van het betreffende staltype en het referentie-staltype bij een tweezijdige toets met een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Dit is gemarkeerd met blauwe vierkanten. Het verwachte %N-verlies volgens de Rav-emissiefactor staat per staltype met punten in de bruine verbindende lijn aangegeven. Door de rangschikking naar afnemende emissiefactor vertoont de bruine lijn een dalende trend. Het geschatte verschil in %N-verlies wijkt significant af van het verwachte %N-verlies als het betrouwbaarheidsinterval de bruine stippellijn niet doorsnijdt (gemarkeerd met bruine vierkanten). De afzonderlijke analyses van melkveedata in het CBS-bestand en in het KLW-bestand zijn in onderstaande twee grafieken weergegeven, gevolgd door de resultaten voor de andere diercategorieën.

De conclusies hebben geen betrekking op emissiearme staltypen die na 2020 zijn opgenomen in de Rav. Dit geldt ook voor stalsystemen die te weinig voorkwamen in de praktijk, bijvoorbeeld die met een voorlopige emissiefactor. Op basis van de analyses wordt t.a.v. de nauwkeurigheid van de NP-methode geconcludeerd dat met name voor staltypen met lage emissiefactoren het aantal bedrijven in de data groot genoeg is om het verwachte verschil in N-verlies ten opzichte van de referentiestal betrouwbaar aan te tonen. Dit is voor het merendeel van de staltypen in de melkvee- en leghennen-categorie het geval, en in mindere mate ook voor de vleeskuikens en vleesvarkens.

Met betrekking tot de effectiviteit van nieuwe staltypen in het reduceren van ammoniakemissie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Voor alle emissiearme staltypen in de melkveehouderij geldt dat in beide analyses (CBS- en KLW-dataset) het geschatte %N-verlies hoger is dan verwacht mag worden op basis van de bijbehorende Rav emissiefactor. In beide analyses is dit verschil voor ca. de helft van de staltypen statistisch significant. Beide analyses vertonen hetzelfde beeld, namelijk dat er geen duidelijke relatie is tussen de hoogte van de emissiefactor van staltypen en het bijbehorende geschatte %N-verlies. De conclusie is dat de nieuwe staltypen in de onderzochte periode geen evidente emissiereductie ten opzichte van de referentiestal A1.100 realiseren, ook niet wanneer bedrijfsspecifieke factoren meegenomen worden. De enige uitzondering hierop is de grupstal (A1.1) in de KLW-analyse waar het %N-verlies significant lager ligt dan het referentieniveau. Maar ook voor dit staltype wordt de verwachte reductie niet gerealiseerd.
- Mogelijke factoren van invloed op het ontbreken van emissiereductie in emissiearme melkveestallen zijn grotere loopoppervlaktes per dier in nieuwe stallen en het gebruik van dikke fractie mest als boxstrooisel. Het is echter niet aannemelijk dat deze factoren een doorslaggevende rol spelen. Eerder onderzoek van Bremmers et al. (2022) beschreef al dat de vloeren i.c.m. de schuiven niet lijken te werken zoals bedoeld en getest. Hierdoor blijven de vloeren onvoldoende schoon.
- De N-verliezen van emissiearme staltypen in de leghennen-sector tonen een significante emissiereductie ten opzichte van de referentiestal, maar hebben een significant groter N-verlies dan verwacht volgens de Rav emissiefactor. De behaalde reducties in N-verlies varieert van een kwart tot bijna de helft van wat verwacht wordt op basis van de emissiefactoren.
- In de vleeskuikensector is sprake van lagere N-verliezen dan bij de referentie-stal bij het merendeel van de staltypen waarbij dit voor één staltype (E5.11) ook statistisch significant is. De behaalde

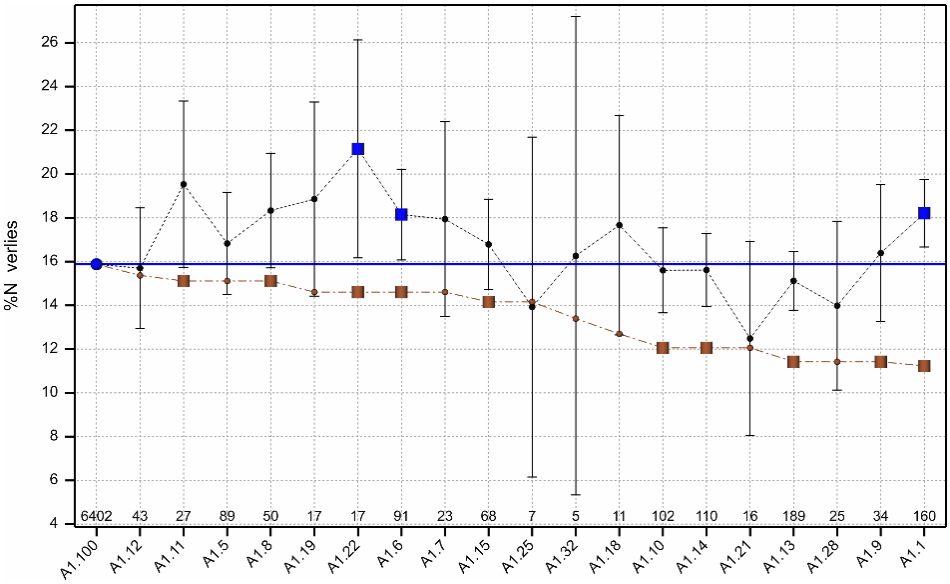
reductie ten opzichte van de referentiestal is echter ca. de helft of minder dan verwacht mag worden op basis van Rav emissiefactoren.

- De N-verliezen uit de vleesvarkensstallen zijn merendeels significant lager dan het referentieniveau en vertonen een neerwaartse trend met afnemende emissiefactor, maar ook hier zijn de N-verliezen, behalve bij D3.2.10.2, minder dan verwacht volgens de emissiefactoren
- Deze studie bevestigt de eerdere resultaten van de CBS-studie uitgevoerd op data voor de jaren 2015 t/m 2017. Over de gehele periode 2015-2020 is daarmee sprake van een consistent beeld, namelijk minder emissiereductie dan verwacht.

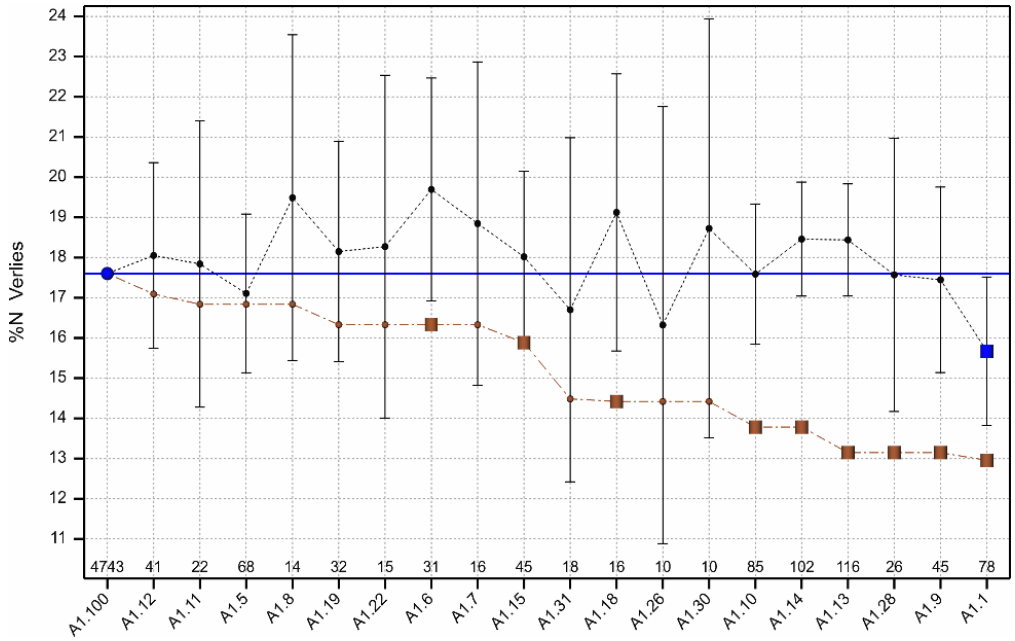
Deze studie laat zien dat het mogelijk is de effectiviteit van emissiearme stallen met de NP-methode op staltype-niveau zichtbaar te maken. Met deze methode zou de effectiviteit van nieuwe emissiearme technieken en emissiearme voermaatregelen gemonitord kunnen worden. Aanbevolen wordt om de NP-methode 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 feedback kan vervolgens gekeken worden welke acties nodig zijn om het functioneren van de emissiearme systemen te verbeteren.

Daarnaast wordt aanbevolen de mogelijkheden voor het monitoren van de effectiviteit van emissiearme voermaatregelen nader te verkennen. De systematiek van de Kringloopwijzer biedt hiervoor een goed vertrekpunt. Vergelijkingen tussen melkveebedrijven met de laagste en de hoogste emissie zouden nader bekeken kunnen worden om te achterhalen welke bedrijfsfactoren impact hebben. Daarbij ligt het ook voor de hand om te verkennen of deze methode, eventueel in combinatie met sensor-meting van emissies, op individueel bedrijfsniveau emissiearm management kan ondersteunen of kan bijdragen aan borging van de N-reductie.

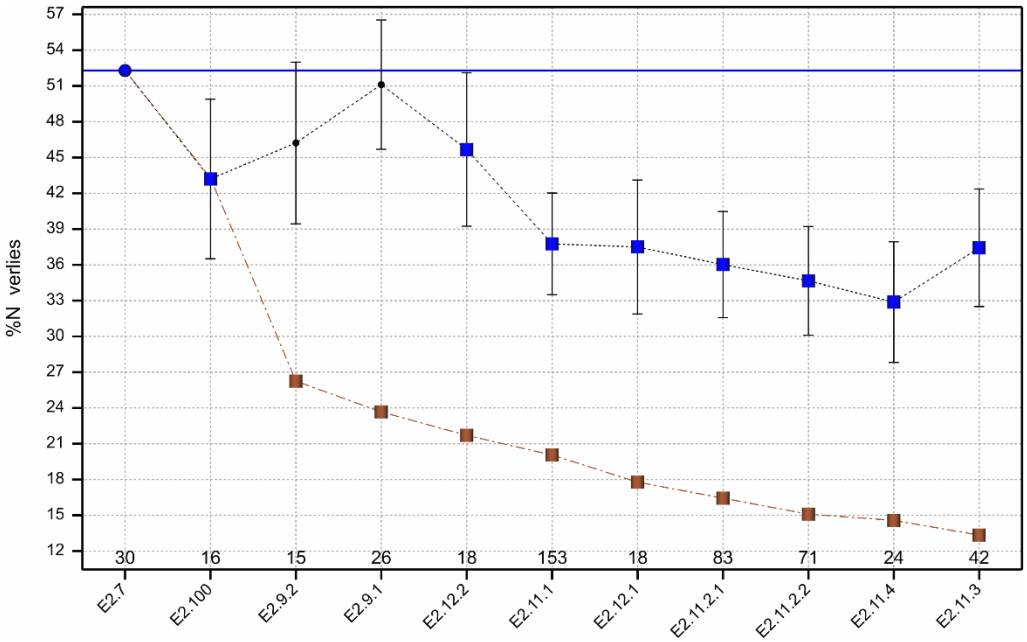
Tenslotte wordt aanbevolen mogelijke oorzaken van tegenvallende emissiereducties in de praktijk te onderzoeken en waar mogelijk op te lossen. Het betreft hier met name in de melkveehouderij het effect van grote loopoppervlaktes in emissiearme stallen, het gebruik van dikke fracties van gescheiden mest als boxstrooisel en mestmanagement in het algemeen. In de pluimveehouderij is aandacht nodig voor mogelijk extra N-verliezen uit buiten de stal opgeslagen mest door geforceerde nadroging of broei.



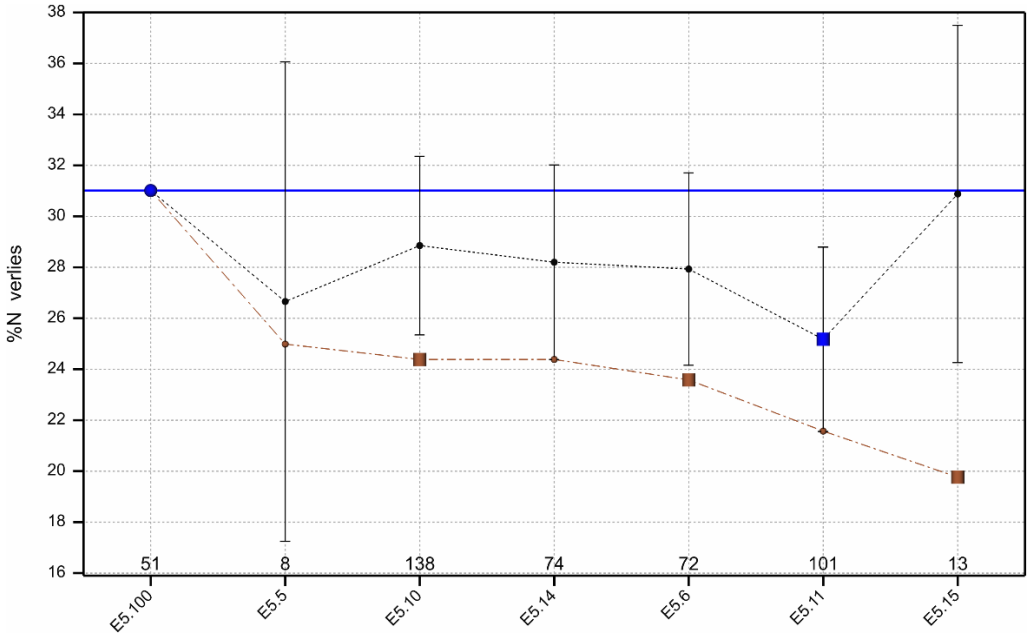

***Figuur S1 Melkvee, CBS-bestand:*** *effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van 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 $NH_3$-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.*



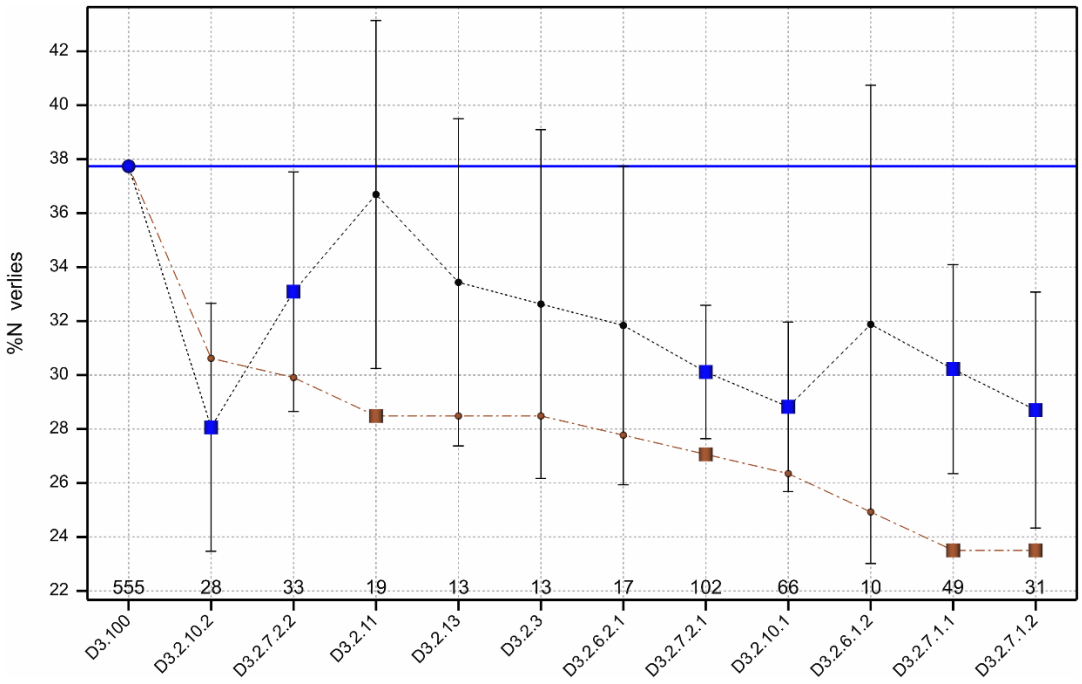

***Figuur S2 Melkvee, KLW-bestand**: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van het 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 $NH_3$-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 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 $NH_3$-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 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 $NH_3$-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 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 $NH_3$-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.*

# Summary

For an effective policy on nitrogen in livestock farming, it is essential that established emission factors of low-emission housing systems accurately reflect the reductions realized by them in practice. Question marks about effectiveness arose in 2019 following a publication by Statistics Netherlands (CBS) on a large-scale statistical analysis of the manure composition from manure samples of transported manure from livestock farms in the 2015-2017 period. The analysis uses the ratio in the manure of nitrogen (N) and phosphate ($P_2O_5$, further abbreviated as P), and the fact that N in the manure partially volatilizes during housing and storage (mainly as N-ammonia) but P does not. By comparing this NP ratio after storage with the NP ratio in the manure excreted by the animal (fresh manure), the gaseous N loss after storage can be estimated as a percentage of N excretion. Using this so-called NP method, CBS compared the N loss between low ammonia emission and conventional housing. Due to the assumed reduction of N ammonia in low-emission housing, the N loss from manure should be lower than in conventional houses. CBS noted from the difference in N loss, that low-emission systems are presumably less effective than assumed. As a result of this research, the Experts Committee on Manure (CDM) advised the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality (LNV) to further investigate the application of the NP method and verify it with new data. LNV subsequently granted funding to Wageningen Livestock Research to carry out this study.

The objectives of this study are:

- to investigate what accuracy can be achieved using the NP method to determine differences in gaseous N loss between housing types; accuracy here means whether the available number of farms with manure analyses is sufficiently large to reliably determine the difference in N loss between housing types;
- investigate whether, based on the NP method, there are significant differences in N loss between conventional and low-emission housing systems within the categories of dairy cattle, pigs and poultry during the 2017-2020 period, in order to thereby assess the effectiveness in ammonia reduction of low-emission housing types, and also thereby to verify the results of the earlier CBS study over the 2015-2017 period.

The study is based on separate statistical analyses of two data files. First a data file provided by CBS (CBS file) containing manure analyses and corresponding farm data from the period 2017-2020 of dairy, fattening pigs, laying hens and broilers. In addition, a data file was used based on data from the Annual Nutrient Cycling Assessment system of dairy farms, called Kringloopwijzer database (KLW file), containing only data from dairy cattle for the period 2018-2020. With dairy and pigs only slurry systems were considered, for poultry only solid manure systems. The main difference between the two analyses was that the required N and P excretions in the CBS file were based on region-specific averages per year, the KLW file had farm-specific excretion on a yearly base, derived from ration and production data. Instead of group comparisons between low-emission and conventional housing, as in the CBS study, here the new low-emission housing, as included in the national regulatory system for livestock barn emissions (Rav), were compared separately with the so-called conventional reference. Also, in this study, the effect of barn type on N loss was corrected for other explanatory farm factors and the differences in N loss were statistically tested.

The files had information on N and P in the manure samples, housing type and additional information with potentially explanatory farm factors. Prior to statistical analysis, data selection was performed in the supplied anonymised data files to remove extreme values and farms with incomplete records. The statistical analysis model included additional explanatory factors (LU per ha, region, month, laboratory, N/P concentrates) in addition to housing type to estimate the difference in N loss between housing as accurately as possible. N loss was expressed as a percentage of N excretion, further referred to as %N loss. For each housing type, the difference in %N loss with the reference was determined and also compared with %N loss expected based on the assigned emission factors for both housing types. Analyses of the dairy data in the CBS file with region-specific average excretions and the KLW file with farm-specific excretions were carried out separately and compared.

The results of the analysis are summarized graphically for each animal category below (Figure S1 to S5). The Rav codes of the housing types are arranged on the horizontal axis by size of the ammonia emission factor in the Rav starting with the reference. For each housing type, the estimated %N loss based on the NP method is shown on the vertical axis. These N losses are corrected for the additional explanatory factors. The horizontal axis also shows the number of farms in the data file for each housing type. The blue horizontal line is the loss of the reference. The estimated %N losses are shown with black dots. The difference between these points and the blue reference line is the difference in %N loss with the reference. To make trends visible, these points are connected with a black dotted line. The accuracy of the estimated difference with the reference housing type is shown as a 99% confidence interval with a vertical line. The length of these intervals is partly determined by the number of available farms of a housing type: with more farms, the intervals are shorter. If a confidence interval does not intersect the blue line, the difference between the %N loss of the respective housing type and the reference is significant in a two-sided test with an unreliability threshold of 1%. This is marked with blue squares. The expected %N loss according to the Rav emission factor is indicated for each housing type with dots in the brown connecting line. Due to the ranking by decreasing emission factor, the brown line shows a decreasing trend. The estimated difference in %N loss differs significantly from the expected %N loss if the confidence interval does not intersect the brown dotted line (marked with brown squares). The separate analyses of dairy cattle data in the CBS file and in the KLW file are shown in the two graphs below, followed by the results for the other animal categories.

The conclusions do not involve emission-reducing systems included in the Rav after 2020. This also applies to systems which are infrequent in practice, e.g. systems with a provisional emission factor. Based on the analyses, it is concluded with regard to the accuracy of the NP method that, especially for herds with low emission factors, the number of farms in the data is large enough to reliably demonstrate the expected difference in N loss compared to the reference. This is the case for the majority of the housing types in the dairy and laying hen category, and to a lesser extent also for the broilers and fattening pigs.

With regard to the effectiveness of new livestock houses in reducing ammonia emissions, the following conclusions can be drawn:

- For all low-emission dairy farms, in both analyses (CBS and KLW dataset) the estimated %N loss is higher than can be expected based on the corresponding Rav emission factor. In both analyses, this difference is statistically significant for about half of the housing types. Both analyses show no clear relationship between the level of the emission factor of housing types and the corresponding estimated %N loss. The conclusion is that the new housings do not achieve an obvious emission reduction compared to the reference A1.100 during the study period, even when farm-specific factors were included. The only exception is the slatted barn (A1.1) in the KLW analysis where the %N loss is significantly lower than the reference. But even for this housing type, the expected reduction was not realized.
- Possible factors influencing the lack of emission reduction in low-emission dairy houses are larger walking areas per animal in new houses and the use of the solid fraction of the manure as box litter. However, these factors are unlikely to play a decisive role. Earlier research by Bremmers et al (2022) described that the floors i.c.w. the scrapers do not seem to work as intended and tested. As a result, the floors remain insufficiently clean.
- The N losses of low-emission houses of the laying hens show a significant emission reduction compared to the reference, but have a significantly larger N-loss than expected according to the Rav emission factor. The reductions achieved in N loss range from a quarter to almost half of what is expected based on the emission factors.
- In the broiler sector, the N losses are lower compared to the reference house for the majority of the housing types where this was also statistically significant for one house type (E5.11). However, the reduction achieved compared to the reference house is about half or less than might be expected based on Rav emission factors.
- The N losses from the fattening pig houses are generally significantly lower than the reference and show a downward trend with decreasing emission factor, but also here, except for D3.2.10.2, the N losses are less than expected according to the emission factors
- This study confirms the earlier results of the CBS study conducted on data for the years 2015 to 2017. Over the entire 2015-2020 period, this shows a consistent perception of less emission reduction than expected.

This study shows that it is possible to visualize the effectiveness of low-emission housings at Rav level using the NP method. With the method applied here the effectiveness of new low-emission techniques and low-emission feeding measures can be monitored at the national level. It is recommended to use and further develop the NP method as an instrument for monitoring the emission level of Rav-listed housing systems. With this, insufficient performance of low-emission housing systems can be identified in time. With this feedback, actions can then be taken to improve the performance of the low-emission systems.

It is also recommended to further explore the possibilities of monitoring the effectiveness of low-emission feed measures. The Annual Nutrient Cycling Assessment system of dairy farms (Kringloopwijzer) provides a good starting point. Comparisons between dairy farms with the lowest and highest emissions could be examined in more detail to find out which farm factors have an impact. It would also be possible to explore whether this method, maybe in combination with sensor measurement of emissions, can support low-emission management at individual farm level or contribute to securing N reduction.

Finally, it is recommended to investigate possible causes of disappointing emission reductions in practice and resolve them where possible. Especially in dairy farming, this concerns the effect of large walking areas in low-emission houses, the use of the solid manure fraction as box litter and manure management in general. In poultry farming, attention is needed for possible additional N losses from manure stored outside the house due to forced dehydration or during broiling of the manure.

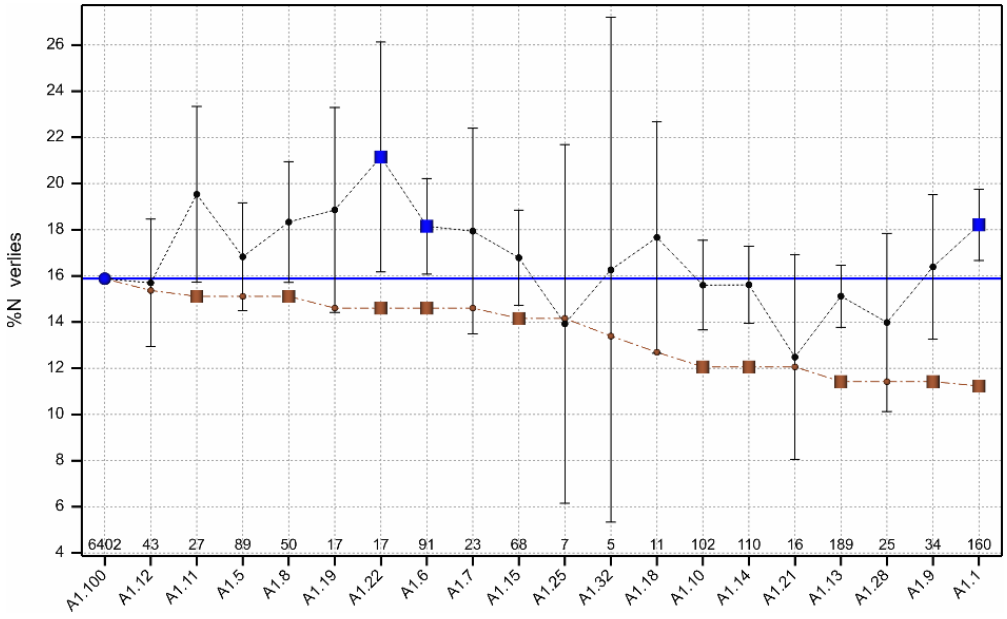



***Figure S1 Dairy cattle, CBS file:*** *effect of housing types on N loss as a percentage of total N excretion, with the Rav codes and corresponding number of farms on the horizontal axis. The points on the black dotted line give the N losses per housing type, and the vertical lines the range of the 99% confidence interval. The blue line gives the level of reference A1.00, and the dots on the brown dotted line the N-loss per housing type expected using $NH_3$-N losses of the Rav factor compared to the reference. Blue squares indicate significant differences from the reference; significant differences between measured and expected %N loss are shown by brown squares in the brown line.*

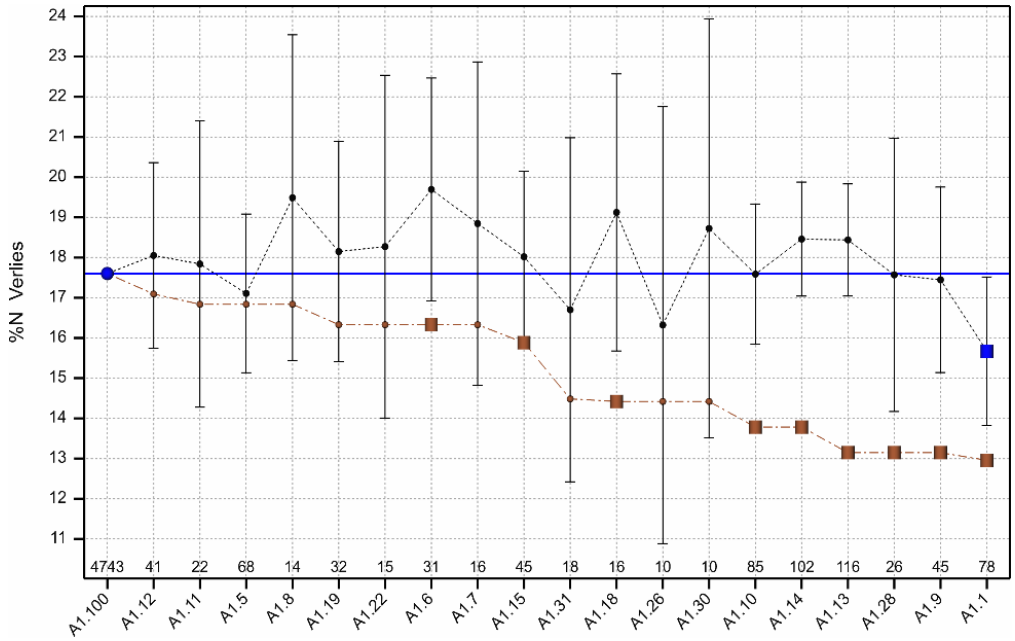



***Figure S2 Dairy, KLW-file**: effect of housing types on N loss as a percentage of total N excretion, with the Rav codes and corresponding number of farms on the horizontal axis. The points on the black dotted line give the N losses per housing type, and the vertical lines the range of the 99% confidence interval. The blue line gives the level of reference A1.100, and the dots on the brown dotted line the N-loss per housing type expected using $NH_3$-N losses of the Rav factor compared to the reference. Blue squares indicate significant differences from the reference; significant differences between measured and expected %N loss are shown by brown squares in the brown line.*

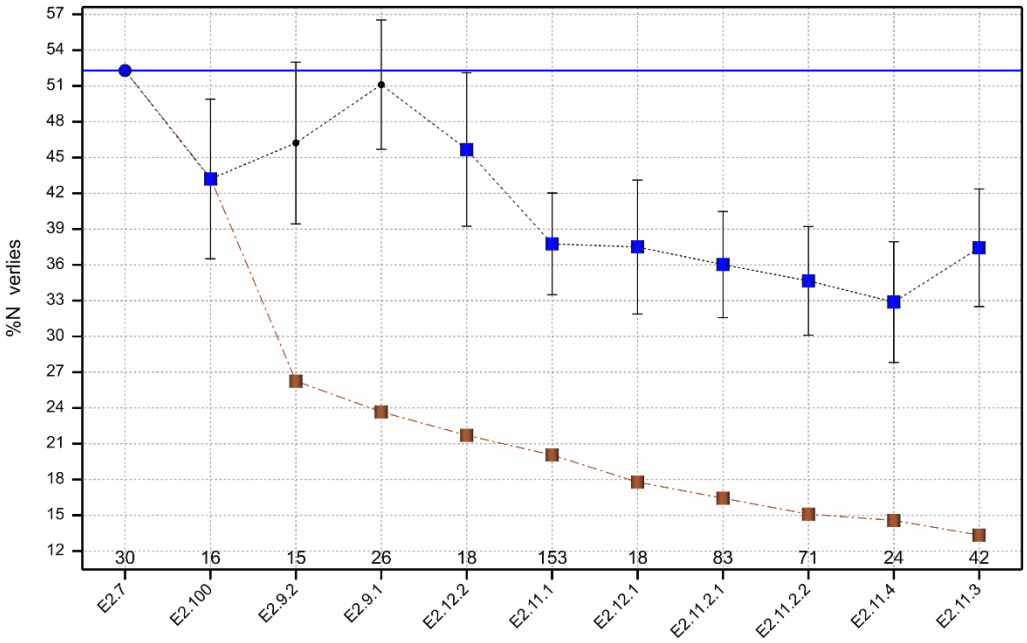



***Figure S3 Laying hens, CBS-file**: effect of housing types on N loss as a percentage of total N excretion, with the Rav codes and corresponding number of farms on the horizontal axis. The points on the black dotted line give the N losses per housing type, and the vertical lines the range of the 99% confidence interval. The blue line gives the level of reference E2.7, and the dots on the brown dotted line the N-loss per housing type expected using $NH_3$-N losses of the Rav factor compared to the reference. Blue squares indicate significant differences from the reference; significant differences between measured and expected %N loss are shown by brown squares in the brown line.*

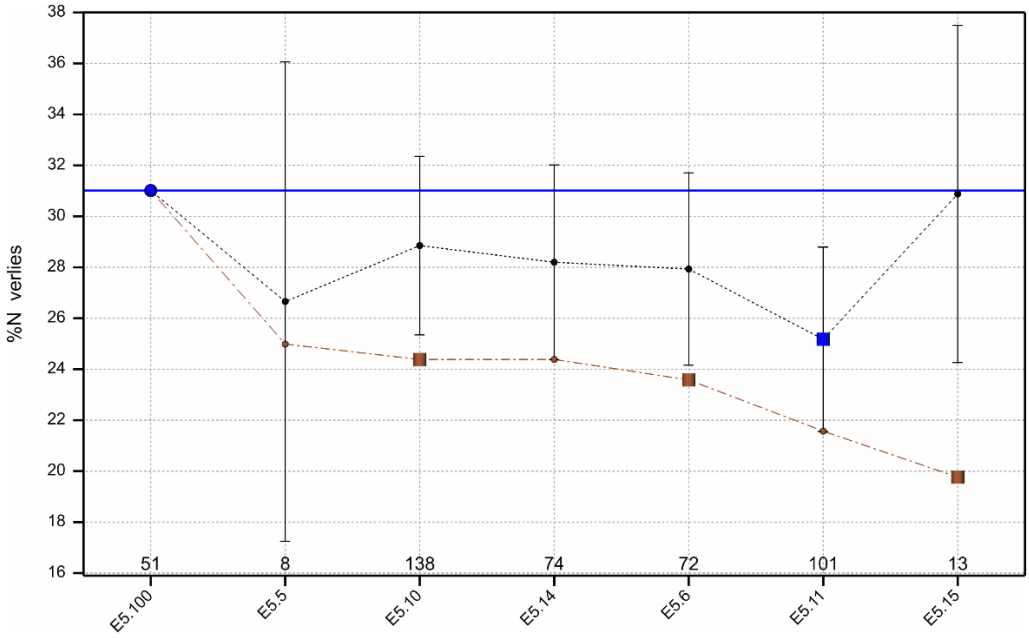



***Figure S4 Broilers, CBS-file**: effect of housing types on N loss as a percentage of total N excretion, with the Rav codes and corresponding number of farms on the horizontal axis. The points on the black dotted line give the N losses per housing type, and the vertical lines the range of the 99% confidence interval. The blue line gives the level of reference E5.100, and the dots on the brown dotted line the N-loss per housing type expected using $NH_3$-N losses of the Rav factor compared to the reference. Blue squares indicate significant differences from the reference; significant differences between measured and expected %N loss are shown by brown squares in the brown line.*

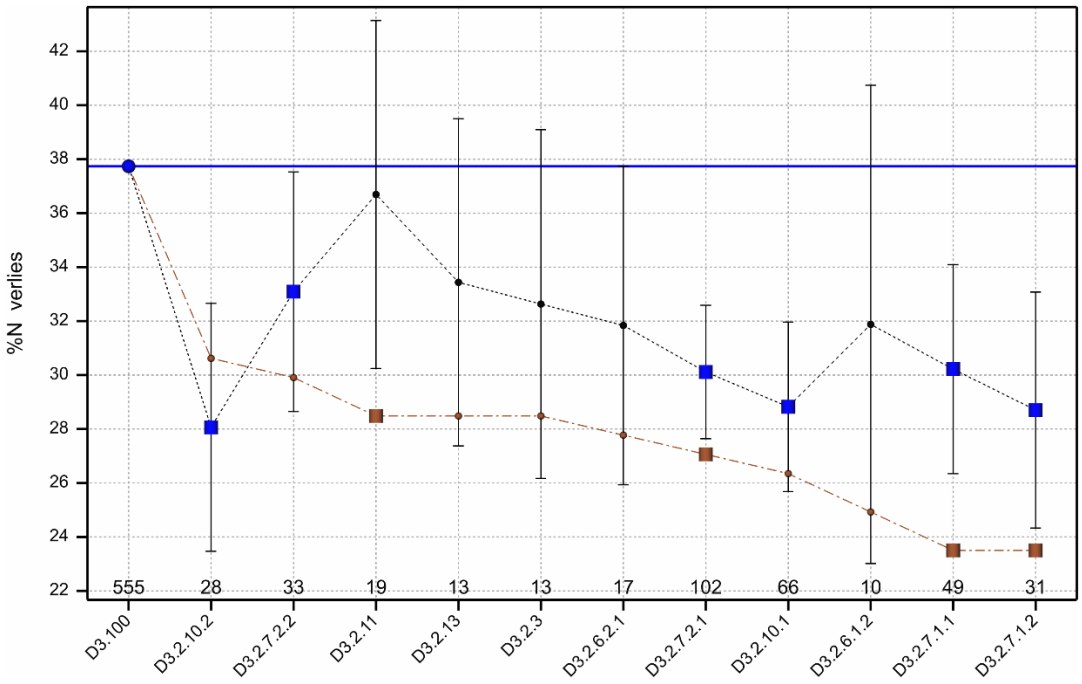



***Figure S5 Fattening pigs, CBS-file**: effect of housing types on N loss as a percentage of total N excretion, with the Rav codes and corresponding number of farms on the horizontal axis. The points on the black dotted line give the N losses per housing type, and the vertical lines the range of the 99% confidence interval. The blue line gives the level of reference D3.100, and the dots on the brown dotted line the N-loss per housing type expected using $NH_3$-N losses of the Rav factor compared to the reference. Blue squares indicate significant differences from the reference; significant differences between measured and expected %N loss are shown by brown squares in the brown line.*

# 1 Inleiding en doelstelling

Als gevolg van een sterke groei van de veestapel werd in de jaren tachtig van de vorige eeuw duidelijk dat beheersing van stikstofemissies naar lucht, bodem en water noodzakelijk was om schade aan de natuur terug te dringen. Vanaf de jaren negentig leidde dat tot ontwikkeling van technieken in de veehouderij gericht op het terugdringen van ammoniak ($NH_3$) die vrijkomt uit stallen, mestopslagen en mestaanwending. Voor stallen ging het hierbij voornamelijk om aangepaste emissiearme stalinrichtingen. Hiervoor werd een reguleringssystematiek ontwikkeld waarin bestaande en nieuwe stalsystemen voorzien werden van emissiefactoren en deze werden opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Met behulp van de Rav werd vanaf begin deze eeuw door de overheid beleid uitgevoerd om stapsgewijs de ammoniakuitstoot van stallen te verminderen, in eerste instantie voornamelijk in de varkens- en pluimveehouderij en in een later stadium ook in de rundveehouderij. De emissiefactoren van emissiearme stallen zijn en worden gebaseerd op protocollaire metingen van ammoniakemissie op een beperkt aantal praktijkbedrijven uitgevoerd volgens een meetprotocol. Meetrapporten worden beoordeeld door een technische commissie die advies uitbrengt over een vast te stellen emissiefactor voor opname in de stallentabel van de Rav. Voor een effectief stikstofbeleid is het essentieel dat vastgestelde emissiefactoren van emissiearme staltypen in de praktijk gerealiseerd worden. Vraagtekens over de effectiviteit ontstonden in 2019 n.a.v. een grootschalige analyse van mestsamenstelling in mestmonsters van afgevoerde mest van veebedrijven door het CBS (van Bruggen en Geertjes, 2019).

Het jaarlijks stikstofverlies (N-verlies) tijdens de periode van stalopslag en externe opslag is in deze CBS-studie voor een groot aantal stalsystemen per bedrijf geschat op basis van gerapporteerde mestanalyse-cijfers (gehalten totaal N en $P_2O_5$) van mesttransporten gedurende 2015-2017 en jaarlijks berekende excretiefactoren voor N en $P_2O_5$ (door de Werkgroep Uniformering Mestcijfers (WUM)). De schattingsmethode maakt gebruik van de verhouding in de mest van stikstof (N) en fosfaat ($P_2O_5$, verder verkort aangeduid met P), waarbij wordt aangenomen dat in de opslag N deels wel vervluchtigt en P niet. Door deze NP-verhouding na opslag te vergelijken met de NP-verhouding in de excretie (verse mest) kan het gasvormig N-verlies tussen excretie en worden geschat (verder aangeduid als NP-methode). Het N-verlies wordt hierbij uitgedrukt als het relatieve verlies (%) ten opzichte van de door WUM berekende N-excretie. In de CBS studie zijn deze verliezen vergeleken met het verwachte N-verlies berekend uit de gesommeerde N-emissies via $NH_3$, $N_2O$, $NO_x$ en $N_2$, die eveneens als relatief verlies ten opzichte van de N-excretie zijn uitgedrukt. De emissies van deze componenten zijn gebaseerd op gemeten emissiefactoren voor $NH_3$ en $N_2O$, waarbij de $N_2O$-N verliezen uit de IPCC Guidelines (2016) zijn aangehouden en waarbij de emissieschattingen voor $NO_x$ en $N_2$ zijn afgeleid volgens Oenema *et al.* (2000).

De twee belangrijkste conclusies uit het rapport van CBS zijn:

1) dat vergeleken binnen diercategorieën, het N-verlies uit afgevoerde mest van emissiearme stalsystemen in veel gevallen niet of nauwelijks afwijkt van die van conventionele stallen[1], en dat dit doet vermoeden dat de veronderstelde effectiviteit van emissiearme huisvesting wordt overschat;
2) dat met name voor de stalsystemen met vaste mest een belangrijk deel van de N-verliezen niet door de gesommeerde N-emissies verklaard kunnen worden.

Medio juni 2020 heeft de Commissie Deskundigen Dierlijke Meststoffenwet (CDM) op verzoek van het Ministerie van LNV het advies 'Stikstofverliezen uit mest in stallen en mestopslagen' aangeboden. Het CDM-advies beantwoordt een aantal vragen van LNV over de betekenis van onderdelen van de CBS-studie en benodigde vervolgacties. Daarbij wordt onder meer gevraagd welke acties nodig zijn om een betere analyse te maken van de effectiviteit van emissiearme stallen. In het advies wordt aanbevolen om een analyse uit te voeren van het mestmanagement van emissiearme stallen in de praktijk en van daaruit aanbevelingen te formuleren voor verbetering van de effectiviteit van bestaande emissiearme stallen, evenals aanbevelingen voor het stimuleren van de robuustheid van nieuwe emissiearme stalsystemen. Dit aspect is inmiddels onderzocht en gepubliceerd in het rapport "Verbetering van effectiviteit emissiearme stalsystemen in de praktijk" (Bremmer *et al.*, 2022).

[1] Met 'conventionele stallen' worden de meest gangbare staltypen zonder emissiearme inrichting bedoeld.

Daarnaast wordt in het CDM-advies aanbevolen: "*de massabalansmethode van de CBS-studie verder te verfijnen en toe te passen op de jaren 2018 en 2019 (en 2020). De verfijning van de analyse dient betrekking te hebben op het koppelen van rantsoenen aan bedrijfsnummers en staltypen (bedrijfsspecifieke rantsoenen). (-) De verfijning dient ook om mogelijke tekortkomingen in de vorige CBS-studie weg te nemen, de herhaling dient ter verificatie van de huidige studie*". De genoemde verfijning houdt in dat inzicht moet worden verkregen in de juistheid en precisie waarmee N-verliezen door de toegepaste massabalansmethode, met behulp van NP-verhoudingen, worden vastgesteld om resultaten hieruit goed te kunnen interpreteren. Naar aanleiding van dit CDM-advies heeft het Ministerie van LNV najaar 2021 een onderzoeksvoorstel van Wageningen UR gehonoreerd. Dit voorstel bevat onderzoek naar de toepassing van de NP-methode. Deze publicatie rapporteert de resultaten uit dit onderzoek.

De doelstellingen van deze studie zijn:

- onderzoeken welke nauwkeurigheid kan worden bereikt met de NP-methode om verschillen in gasvormig N-verlies tussen staltypen te kunnen vaststellen; met nauwkeurigheid wordt hier bedoeld of het beschikbare aantal bedrijven met mestanalyses voldoende groot is om het verschil in N-verlies tussen staltypen betrouwbaar vast te stellen;
- met behulp van de NP-methode onderzoeken of er al of niet sprake is van significante verschillen in N-verlies tussen conventionele en emissiearme stalsystemen binnen de categorieën melkvee, varkens en pluimvee in het tijdvak 2017-2020, om daarmee de effectiviteit in ammoniakreductie van emissiearme staltype te kunnen beoordelen, en tevens daarmee de resultaten van de eerdere CBS-studie over de periode 2015-2017 te verifiëren.

Bij het toepassen van de NP-methode, om binnen diercategorieën het N-verlies van emissiearme stallen te onderscheiden van conventionele stallen, wordt in lijn met de eerdere CBS-studie gekeken op nationaal niveau binnen diercategorieën. Anders dan in de CBS-studie worden hier Rav-staltypen vergeleken met het conventionele staltype in plaats van een groepsvergelijking tussen emissiearme en conventionele stallen. Het onderzoek is gebaseerd op afzonderlijke statistische analyses van twee databestanden. Het betreft een databestand aangeleverd door het CBS met mestanalyses en bijbehorende bedrijfsgegevens uit de periode 2017-2020 van de categorieën melkvee, varkens en pluimvee. Daarnaast is een databestand over 2018-2020 gebruikt welke gebaseerd is op gegevens uit de database van de Kringloopwijzer (KLW) die uitsluitend data van melkveestallen bevat. Het belangrijkste verschil tussen beide analyses is dat de benodigde N- en P-excreties in het CBS-bestand zijn gebaseerd op regio-specifieke gemiddeldes per jaar, en in het KLW-bestand op jaarlijkse bedrijfsspecifieke rantsoen- en productiegegevens. Beide bestanden bevatten gegevens op bedrijfsniveau die in de statistische analyse worden gebruikt.

Dit onderzoek is uitsluitend gebaseerd op geanonimiseerde datasets (dus zonder bedrijfsnummers) die op verzoek zijn aangeleverd door het CBS en door ZuivelNL vanuit de database van de Kringloopwijzer. Het spreekt voor zich dat recent in de Rav opgenomen emissiearme staltypen niet of onvoldoende zijn vertegenwoordigd en hier dus buiten beschouwing vallen. Voor deze studie zijn geen metingen verricht of ander technische onderzoeken uitgevoerd op veehouderijbedrijven.

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 allereerst de onderliggende principes en werking van de NP-methode toegelicht (2.1). In 2.2 komt de analyse van het CBS-bestand aan de orde, met daarin de opbouw van het databestand, het statistisch analysemodel met verklarende factoren en de resultaten per diercategorie. Daarna volgt in 2.3 de analyse van het KLW-bestand met melkveedata en de resultaten. Dit hoofdstuk bevat naast de methode- en resultaat-beschrijving tevens een zogenoemde power analyse die is uitgevoerd om het onderscheidend vermogen van de NP-methode nader toe te lichten. In hoofdstuk 3.1 volgt een discussie van de onderzoeksresultaten in relatie tot effecten van staltype, de rol en potentiële impact van factoren die buiten de analyse zijn gebleven en de perspectieven voor verdere ontwikkeling en toepassing van de NP-methode. In 3.2 wordt afgesloten met conclusies op basis van de onderzoeksvragen en met aanbevelingen rond het gebruik van de NP-methode.

# 2 N-verliezen op basis van de NP-methode

## 2.1 Toepassing van de NP-methode in dit onderzoek

De NP-methode maakt gebruik van het feit dat gedurende de opslag van mest (in de stal of buiten-opslag) gasvormige stikstofverliezen plaatsvinden in de vorm van ammoniak ($NH_3$), stikstofoxide ($NO_x$), lachgas ($N_2O$) en stikstofgas ($N_2$), en het gegeven dat $P_2O_5$ stabiel blijft in de mest. Een verandering in de verhouding N en $P_2O_5$ (verder aangeduid als NP)[2] na excretie wordt dus volledig bepaald door de N-verliezen. Het N-verlies als percentage van de N-excretie kan met volgende vergelijking berekend worden:

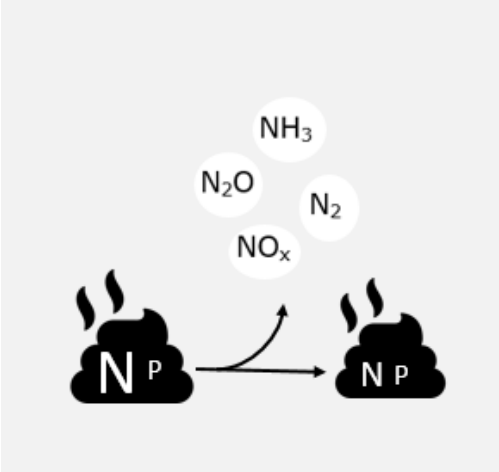
$$\%N\ verlies = \left(\frac{Nexcretie - Nmest}{Nexcretie}\right) * 100 \quad (1)$$

Omdat de P-excretie gelijk is aan de P-mest kunnen de onderdelen van deze vergelijking gedeeld worden door P-excretie en P-mest, en kan de vergelijking ook geschreven worden als:

$$\%N\ verlies = \left(\frac{NPexcretie - NPmest}{NPexcretie}\right) * 100 = \left(1 - \frac{NPmest}{NPexcretie}\right) * 100 \quad (2)$$

Waarbij:
%N-verlies = verlies aan totale N als percentage van de N in de excretie, dus 'onder de staart'
NPexcretie = de verhouding van N en $P_2O_5$ in de excretie
NPmest = de verhouding van N en $P_2O_5$ gemeten in getransporteerde mest

In het kader wordt dit aan de hand van een schematische weergave extra toegelicht.




*Schematische weergave van de N-verliezen op basis van de N/P verhouding in mest. De N in de linker mesthoop is groter dan die in de tweede omdat er tussentijds stikstofverliezen zijn opgetreden. P kan niet vervluchtigen, dus die blijft even groot. De veranderende N zal dan verantwoordelijk zijn voor de veranderende N/P verhouding vanaf de excretie tot en met opslag van mest. Op deze manier zijn de stikstofverliezen te berekenen.*

Voor een bedrijf kan met de NP-methode, op basis van afgeleide excretiefactoren voor N en P en mestanalyses met N- en P-gehaltes in de afgevoerde stalmest, het %N-verlies over een gegeven periode worden berekend. Voorwaarde hierbij is wel dat de N- en P-gehaltes in de afgevoerde mest representatief zijn voor alle geproduceerde mest op het bedrijf. In deze studie wordt de NP-methode toegepast om verschillen in %N-verlies tussen ammoniak-emissiearme staltype en conventionele staltypen te onderzoeken. Hierbij worden groepen bedrijven die verschillen qua staltype met elkaar vergeleken.

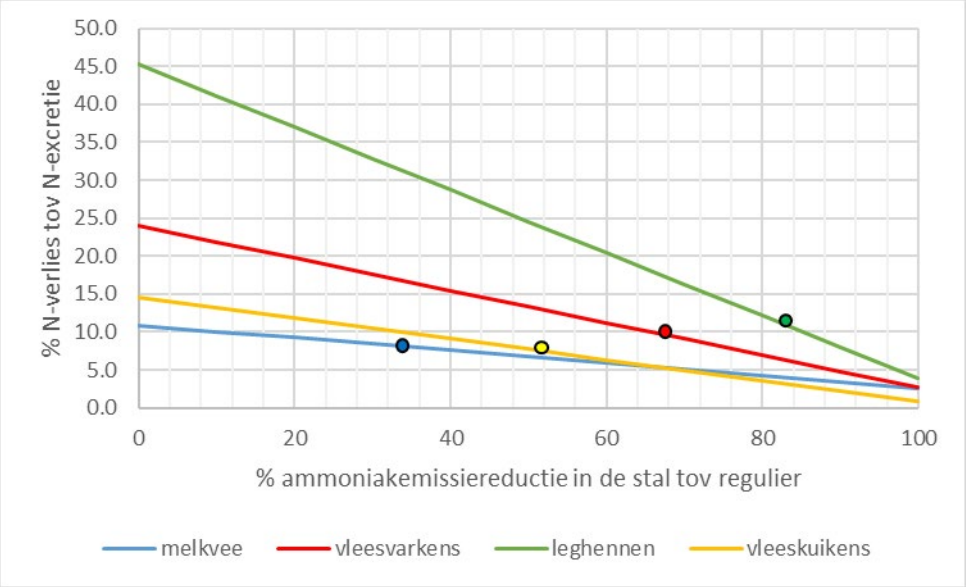
De NP-methode maakt geen onderscheid tussen de onderlinge N-verliezen ($NH_3$, $NO_x$, $N_2O$ en $N_2$) omdat het enkel informatie geeft over het totaal N-verlies. Er kan dus geen uitspraak gedaan worden over het specifieke aandeel dat $NH_3$–N hierin heeft. Het onderzoek in dit rapport richt zich op het analyseren van

[2] In het gehele rapport wordt de verhouding tussen N en $P_2O_5$ vereenvoudigd aangeduid als NP.

verschil in %N-verlies tussen staltypen, en vergelijkt het door de NP-methode vastgestelde %N-verlies met het verwachte %N-verlies. Het verwachte effect van ammoniakemissie-reductie van een emissiearme stal op het verschil in %N-verlies met een conventionele stal kan vooraf met ammoniakemissie-factoren voor beide stallen worden berekend, zoals hierna toegelicht. Aanname daarbij is dat het verwachte verschil in %N-verlies enkel door het verschil in ammoniakemissie wordt veroorzaakt en niet door de overige N-verliezen. 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.

***Tabel 1*** *Gemiddelde N-excretie per jaar van 2018, 2019 en 2020 en de %N-verliezen van de verschillende N-componenten uit reguliere huisvesting tijdens de stalperiode en gedurende opslag berekend met NEMA en de Rav (respectievelijk 13.0, 0.402, 3.0 en 0.068 kg/jaar per dierplaats voor melkvee, vleesvarkens, leghennen en vleeskuikens).*

| | **N-excretie** | **N-verliezen als % van N-excretie** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/j per dier | stal | opslag | Stal en opslag | | | | |
| diersoort | | $NH_3$-N | $NH_3$-N | $N_2O$-N | NO-N | $N_2$-N | Totaal% | Totaal kg |
| Melkkoe | 129.4 | 8.9 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 2 | 11.5 | 14.9 |
| Vleesvarkens | 11.6 | 21.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 2 | 24.0 | 2.8 |
| leghennen | 0.80 | 41.4 | 3.2 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 45.3 | 0.36 |
| vleeskuikens | 0.41 | 13.7 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 14.6 | 0.06 |




***Figuur 1*** *%N-verlies t.o.v. de N-excretie in stal en opslag t.o.v. een % $NH_3$-emissiereductie in de stal. De stippen op de lijnen geven aan met welk % $NH_3$-verlies de waarden in het Besluit Emissiearme Huisvesting overeenkomt, met een $NH_3$-emissie per jaar per dierplaats van 8,6, 1,1, 0,068 en 0,024 kg voor respectievelijk melkkoeien, vleesvarkens, leghennen en vleeskuikens.*

De berekening van het verwachte verschil in %N-verlies (op basis van emissiefactoren van de Rav) wordt aan de hand van Tabel 1 en Figuur 1 toegelicht. Tabel 1 geeft de N-verliezen van de conventionele stallen voor melkvee, vleesvarkens, leghennen en vleeskuikens uitgedrukt als percentage van de totale N-excretie (onder de staart) uit drijfmest. Hierbij is de gemiddelde N-excretie over de jaren 2018, 2019 en 2020 gebruikt conform WUM (2023), en zijn de N-verliezen gebaseerd op bekende emissiefactoren. Voor melkvee geldt dat 8,9% van de N uit mest in de stal vervluchtigt als $NH_3$-N, en in de afgedekte opslag nog eens 0,2%. Voor $N_2O$- NO-, en $N_2$-N worden stal- en opslagverliezen samen berekend volgens Oenema *et al.* (2000), waarbij de $N_2O$-N verliezen uit de IPCC Guidelines worden aangehouden. Daarvoor geldt een N-verlies van opgeteld 2,4% ten opzichte van de door de koe uitgescheiden N. In totaal emitteert dus bij melkvee 11,5% van de N-excretie uit de stal, gelijk aan 14,9 kg N/jaar per dier waarvan 77% in de vorm van $NH_3$.

De berekeningen gaan bij melkvee en vleesvarkens uit van drijfmest omdat die het meest voorkomend is in Nederland. Zelfs op biologische melkveehouderij- en vleesvarkenssystemen is drijfmest vaak de grootste hoeveelheid mest. Als op bedrijven enkel vaste mest is afgevoerd, terwijl het betreffende stalsysteem een drijfmestsysteem was, is de betreffende vaste mest dus niet representatief voor de mest die op het bedrijf geproduceerd wordt. Data voor de betreffende bedrijven zijn daarom niet meegenomen (als die wel zou worden meegenomen zullen de geschatte N-verliezen veel te hoog zijn omdat de N in de dunne fractie als gasvormig verlies ingerekend zou worden). Voor leghennen en vleeskuikens betreft het vaste mest omdat voor deze diercategorieën drijfmest in Nederland niet voorkomt. Op basis van bovenstaande tabel kan berekend worden hoeveel %N-verlies zou optreden bij een procentuele reductie van de $NH_3$-emissie uit de stal, zoals weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1 laat zien dat voor melkvee in conventionele stallen (0% reductie) het % N-verlies lager is dan bij varkens en pluimvee. Het laat ook zien dat het Besluit Emissiearme Huisvesting (BEH) van de melkveehouders een $NH_3$-emissiereductie wenst van ca 34% uit de stal en dat dit een %N-verlies van 8% betekent ten opzichte van de N-excretie. Het beoogde verschil tussen conventioneel en emissiearm is dus 3,5 procentpunten. Voor leghennen hebben conventionele stallen met grondhuisvesting een verlies van 45% N. De BEH wenst een reductie van 83% ammoniakemissie uit de stal, oftewel 38 procentpunten. Uit de grafiek blijkt ook dat een reductie van de ammoniakemissie uit melkveestallen met 50% (overeenkomend met een emissiefactor van 6-7 kg) een N-verlies van ca 7% betekent, oftewel een verschil van 4,5 procentpunten ten opzichte van een conventionele stal.

De nauwkeurigheid van geschatte verschillen in N-verliezen tussen staltypen hangt af van de spreiding in het %N-verlies tussen bedrijven én het aantal bedrijven waarvan gegevens beschikbaar zijn. Hoe kleiner de spreiding tussen bedrijven en hoe groter het aantal bedrijven, des te preciezer verschillen tussen staltypen worden geschat. In dit onderzoek is de spreiding tussen bedrijven geschat. Daarmee kan met een gegeven onbetrouwbaarheidsdrempel getoetst worden of staltypen onderling van elkaar verschillen. Hierdoor wordt per diercategorie ook duidelijk welk verschil in %N-verlies tussen staltypen nog te onderscheiden is.

In de evaluatie is het ook van belang rekening te houden met andere factoren die het %N-verlies kunnen beïnvloeden zoals het aantal grootvee eenheden (GVE) per ha, regio van het bedrijf, maand van monstername en laboratorium. Hierdoor worden verschillen tussen staltypen beter en nauwkeuriger geschat. Veronderstel bijvoorbeeld dat mestmonsters van staltype X met name geanalyseerd worden in laboratorium A, en monsters van staltype Y met name in laboratorium B. Een eventueel niveau verschil tussen laboratoria A en B geeft dan ook verschillen tussen staltypen X en Y en dat kan tot foutieve conclusies leiden. Door laboratorium ook in het statistische model op te nemen wordt voor dergelijke verschillen gecorrigeerd. Daarmee onderscheidt de aanpak zich van de CBS-studie waarin niet gecorrigeerd is voor dergelijke verklarende factoren. Ook zijn in de CBS studie verschillen in N-verlies statistisch niet getoetst. Een ander onderscheid is dat in de CBS-studie per diercategorie gekeken is naar verschillen in N-verlies op groepsniveau, met name die tussen de groep emissiearme stallen en de groep stallen zonder emissiearme inrichting. In deze studie wordt voor elk emissiearm staltype afzonderlijk (zoals opgenomen in de Rav) het verschil met het conventionele staltype geschat.

## 2.2 Analyse CBS-databestand: 2017-2020

### 2.2.1 Samenstelling en bewerking databestand

Het CBS heeft een databestand aangeleverd met mestanalyses die afkomstig zijn uit de jaren 2017 tot en met 2020 gecombineerd met voor dit onderzoek benodigde kenmerken van individuele bedrijven die mest afgevoerd hebben. Voor de mestanalyse-data is gebruik gemaakt van de Vervoersbewijzen Dierlijke Mest (VDM) die in het kader van de Meststoffenwet voor messttransporten moeten worden ingevuld en opgestuurd naar de Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO). In de vervoersbewijzen staan gegevens over de soort mest die is getransporteerd (mestcode), de hoeveelheid mest en de hoeveelheden stikstof (N) en fosfaat ($P_2O_5$, hierna verder verkort aangeduid met P). Voor dit onderzoek zijn de mestanalyses van de volgende zeven mestcodes geselecteerd: rundveedrijfmest (14), kippen mestband (32), kippen mestband

met nadroging (33), kippen strooiselmest (35), vleeskuikenmest (39), drijfmest zeugen en biggen (46) en vleesvarkensdrijfmest (50); zie RVO (2021) voor info over mestcodes. De mestcodes 32 en 33 (kippen mestband en kippen mestband met nadroging) zijn niet meegenomen in dit onderzoek vanwege het geringe aantal waarnemingen. Ook mestcode 46 (drijfmest zeugen en biggen) is niet meegenomen aangezien die te veel onzekerheid geeft bij het koppelen aan een specifieke diercategorie omdat het een samengesteld cijfer betreft van mest van dragende zeugen, kraamzeugen en biggen.

De mestanalyse-data zijn door het CBS gekoppeld aan beschikbare informatie over aanwezige stallen afkomstig uit de Gecombineerde Opgave (GO). De GO is een jaarlijkse opgave voor agrarisch ondernemers waarin gegevens zijn opgenomen voor de Landbouwtelling en de mestwetgeving. Op deze wijze kon de mestsamenstelling (N- en P-gehalten) van afgevoerde mest van een bedrijf gekoppeld worden aan het staltype volgens de indeling in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Bedrijven met meer dan één staltype per diergroep zijn 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 $P_2O_5$ van het mestmonster (NP-mest) en de verhouding tussen N en $P_2O_5$ 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 – NPmest/NPexcretie) * 100 (zie ook 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. Bijlage 1 licht de totstandkoming en samenstelling van de aangeleverde dataset in meer detail toe.

Het aangeleverde CBS-bestand vormde het uitgangspunt voor de statistische analyse. Voor de analyse zijn uitsluitend bedrijven geselecteerd met stallen voor de diergroepen A1 (melkkoeien), D3 (vleesvarkens), E2 (legkippen) en E5 (vleeskuikens). Bijlage 2 geeft per diercategorie de Rav-beschrijving van de staltypes en bijbehorende Rav-codes. In de statistische analyse is gecorrigeerd voor het bedrijfskenmerk 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. Er kan sprake zijn van een laboratorium effect waardoor laboratoria gemiddeld hogere of lagere N of P gehaltes rapporteren. Voor een dergelijk 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 van een tweetal laboratoria verwijderd.

Om het effect van extreme gemeten N en P gehaltes te beperken zijn per mestsoort monsters met de 0.5% laagste én 0.5% hoogste N en P gehaltes verwijderd. Dan kunnen nog monsters overblijven met een extreme NP-verhouding. Daarom zijn, in een tweede stap, monsters met de laagste en hoogste 0.5% NP-verhouding verwijderd. Deze werkwijze is ook in de CBS rapportage gebruikt (van Bruggen en Geertjes, 2019). Omdat de N- en P-gehaltes van het krachtvoer ook extreme waarden kunnen bevatten zijn, in aanvulling hierop, de records met de laagste/hoogste N- en P-waarden eveneens verwijderd, analoog aan de gehaltes in de mest.

Om te beoordelen of het verwijderen van de records met extreme waarden effect heeft op de conclusies van de analyse is besloten twee extra scenario's in de analyse mee te nemen: 1) een analyse gebaseerd op alleen filtering op de laagste en hoogste 0.5% NP verhouding; 2) filtering van de database met 1% in plaats van 0,5% van de onderste en bovenste waarnemingen. Uit de resultaten bleek dat deze twee extra scenario's niet leiden tot andere conclusies dan het uitgangsscenario. Daarom zijn alleen de resultaten van het uitgangsscenario in dit rapport opgenomen.

### 2.2.2 Statistisch analyse-model

De analyse is gericht op het onderzoeken van het effect van staltype op de vier variabelen: N-gehalte mest, P-gehalte mest, NP-verhouding in de mest en het N-verlies als percentage van N-excretie. Deze variabelen worden hierna verder aangeduid als de respons-variabelen. 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 per jaar uitgevoerd én een analyse over jaren (over-jaren analyse). Daarbij is het volgende model gebruikt voor melkvee:

respons = staltype + GVE-ha + regio + maand + laboratorium + NP krachtvoer + bedrijf + 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 op de respons-variabelen: N in mest wordt alleen gecorrigeerd voor N in het krachtvoer, P in mest wordt alleen gecorrigeerd voor P in krachtvoer, NP in de mest én het berekende procentuele N-verlies worden alleen 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. Voor de over-jaren analyse representeert 'maand' de in principe 48 verschillende maanden in de periode 2017-2020 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.

De analyses zijn uitgevoerd met de REML-procedure in het statistisch pakket GenStat (VSNi, 2022). Voor elke respons variabele is getoetst of er een significant verschil is tussen elk afzonderlijk staltype en het referentie staltype. Daarbij is een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1% gehanteerd. Voor de respons-variabele N-verlies is tevens per staltype getoetst of het verschil afwijkt van het verlies dat, conform de Rav emissiefactoren, verwacht mag worden ten opzichte van de referentie-stal.

De verwachte reductie in N-verlies ten opzichte van de referentiestal is als volgt berekend:

[1 - ($NH_3$-emissiefactor staltype / $NH_3$-emissiefactor referentiestal)] x %$NH_3$-N verlies referentiestal (3)

Waarbij %$NH_3$-N verlies referentiestal overeenkomt met het percentage N-verlies in de excretie als gevolg van $NH_3$-emissie berekend op basis van de Rav-emissiefactor van de referentiestal (zie Tabel 1). Naast de toetsing per staltype is tevens een toetsing uitgevoerd op groepsniveau waarbij de staltypen zijn gegroepeerd naar overeenkomend emissie-reducerend principe.

### 2.2.3 Resultaten analyse CBS-databestand

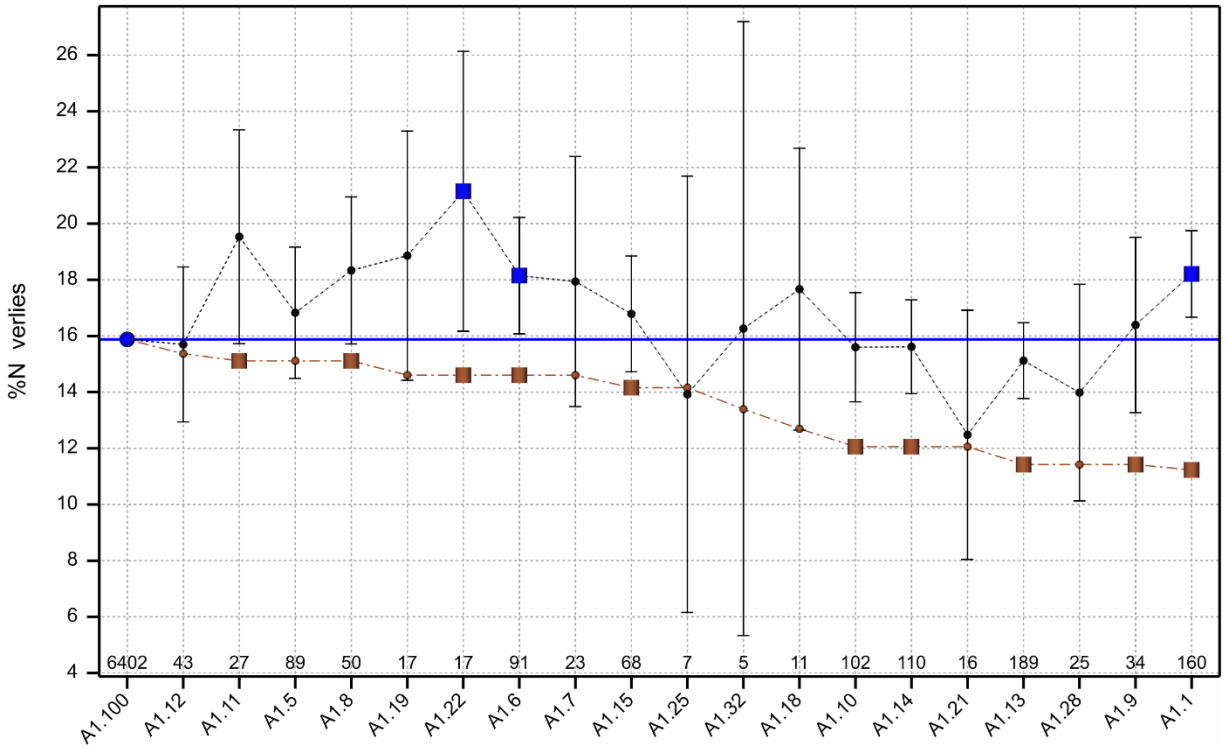
In deze paragraaf worden de verschillen tussen staltypen in de over-jaren analyse 2017-2020 op het %N-verlies besproken. De analyses per jaar voor de vier respons variabelen, en de over-jaren analyse op N, P en de N/P verhouding, zijn in Bijlage 3 gegeven.

De resultaten voor elke diercategorie zijn samengevat in grafieken (Figuren 2 tot en met 5). In de grafieken staan de Rav-codes van de staltypen op de horizontale as, gerangschikt naar afnemende hoogte van de Rav ammoniak-emissiefactor, dus links beginnend met de hoogste emissiefactor van de referentiestal. 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 referentie-stal 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 weer te kunnen geven zijn deze punten met een zwarte stippellijn 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 de bruine verbindende stippellijn aangegeven. Door de rangschikking naar afnemende emissiefactor daalt de bruine 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 referentie-staltype; 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 bruine lijn niet doorsnijdt is er een significant verschil; dit is aangeduid met bruine vierkanten in de bruine lijn.

Melkvee (Figuur 2)

Figuur 2 bevat de resultaten voor de melkvee-stallen. Het %N-verlies van de referentiestal A1.100 (ligboxenstal met roostervloer, 13 kg $NH_3$/dierplaats per jaar) bedraagt afgerond 16% van de N-excretie. Deze schatting is verkregen door gemiddelden in te vullen voor de andere verklarende variabelen in het statistische model. Invullen van andere waarden voor deze variabelen geeft een ander niveau maar beïnvloedt niet de verschillen tussen de staltypen. De geschatte 16% ligt 4,5%-punten boven het met N-emissiefactoren berekende verlies van 11,5% (zie Tabel 1 in paragraaf 2.1). De veel voorkomende staltypen met meer dan 100 bedrijven zijn in volgorde van afnemend aantal: A1.100 (6402), A1.13 (189), A1.1 (160) en A1.14 (110) en A1.10 (102). Het aantal bedrijven met referentiestal A1.100 (86% van het totaal) geeft de dominante aanwezigheid van dit staltype in de praktijk weer. Naast de referentiestal komen de emissiearme staltypen met de laagste emissiefactoren (6 en 7 kg $NH_3$/dierplaats per jaar) het meest voor. Opmerkelijk is het nog grote aantal bedrijven van het type grupstal dat tot de jaren zeventig vorige eeuw het meest in gebruik was; het aandeel koeien in de grupstal bedraagt momenteel ca. 1,5% van het totale aantal. Duidelijk waarneembaar in de grafiek is dat de betrouwbaarheidsintervallen rond de geschatte %N-verliezen voor de staltypen met grote aantallen bedrijven korter zijn dan die met een kleiner aantal. Hoe meer stallen des te nauwkeuriger het geschatte verschil in %N-verlies ten opzichte van het referentie staltype. De lengte van het betrouwbaarheidsinterval voor staltypen met meer dan 90 bedrijven bedraagt maximaal 4% punten. Voor staltypen met weinig bedrijven, zoals A1.25 en A1.32, kunnen uit deze analyse geen conclusies worden getrokken.



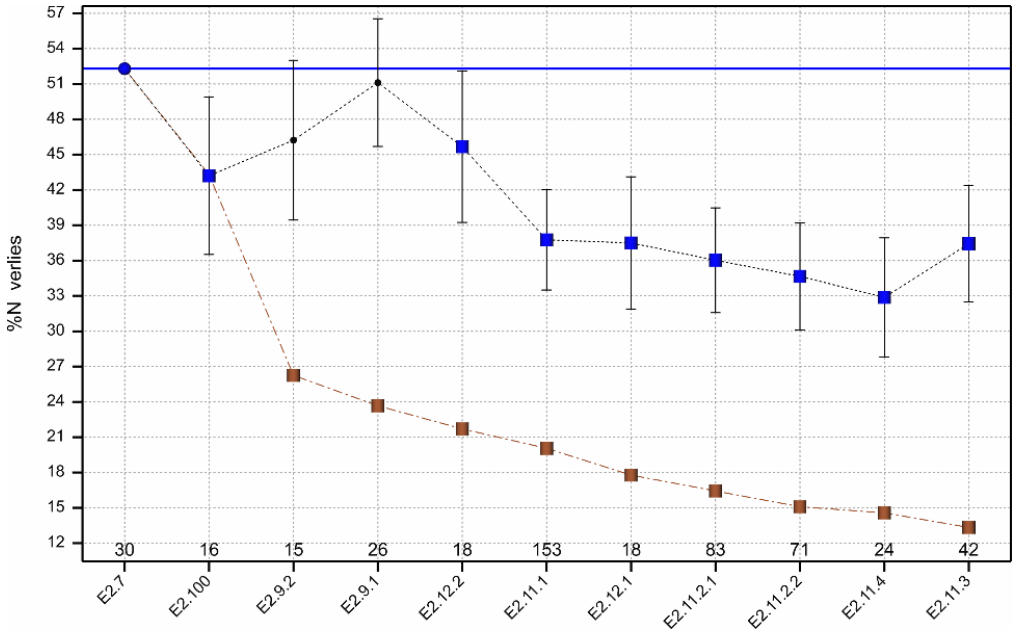

***Figuur 2*** *Melkvee, analyse CBS-dataset: effect van staltypen op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte 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 N-$NH_3$ 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.*

Met uitzondering van de grupstal zijn alle overige staltypen ontworpen als ligboxenstallen met een lagere emissie dan A1.100. Geen enkel staltype onderscheidt zich echter met een significant lager verliesniveau van de referentiestal. Drie staltypen hebben zelfs een significant hoger verliesniveau dan A1.100. De meest voorkomende staltypen liggen juist significant boven de bruine lijn. Dat geldt in totaal voor 10 van de 19 staltypen (met bruine vierkanten gemarkeerd in de grafiek). Het staltype met het laagste N-verlies (A1.21) zit het dichtst bij de verwachte waarde, maar door het beperkte aantal bedrijven is de onzekerheidsmarge hier groot.

Samengevat is het beeld dat het N-verlies voor geen van de staltypen significant lager ligt dan het referentieniveau. De stallen met emissiearme vloeren reduceren niet aantoonbaar het N-verlies ten opzichte van de referentie. Verder geldt dat voor meer dan de helft van de staltypen het N-verlies significant boven het volgens de Rav emissiefactor verwachte N-verlies ligt.

Leghennen (Figuur 3)

Voor de vergelijking tussen staltypen fungeert hier als referentiestal het type met grondhuisvesting uitgevoerd met ca. 1/3 strooiselvloer en 2/3 roostervloer, aangeduid met Rav-code E2.7[3]. Het %N-verlies in staltype E2.100 ligt exact op het verwachte niveau volgens de emissiefactorverhouding met de referentie (bruine lijn). Van de 10 overige staltypen wijken er twee niet af van het referentieniveau (E2.9.2 en E2.9.1), en hebben de overige een significant lager N-verlies dan de referentie. De zwarte lijn vertoont een neerwaartse trend die grotendeels meeloopt met de bruine lijn. Er is echter sprake van een systematisch verschil tussen de zwarte en bruine lijn. Met uitzondering van E2.100 hebben alle stallen een significant hoger N-verlies dan verwacht vanuit hun emissiefactor volgens de bruine lijn. Grosso modo is het verschil in %N-verlies met de referentiestal een kwart tot bijna de helft van het verwachte %N-verlies (verschil tussen blauwe en bruine lijn). Er is dus sprake van een significante emissiereductie ten opzichte van de referentiestal, maar niet in omvang die volgens de bijbehorende emissiefactoren verwacht mag worden.

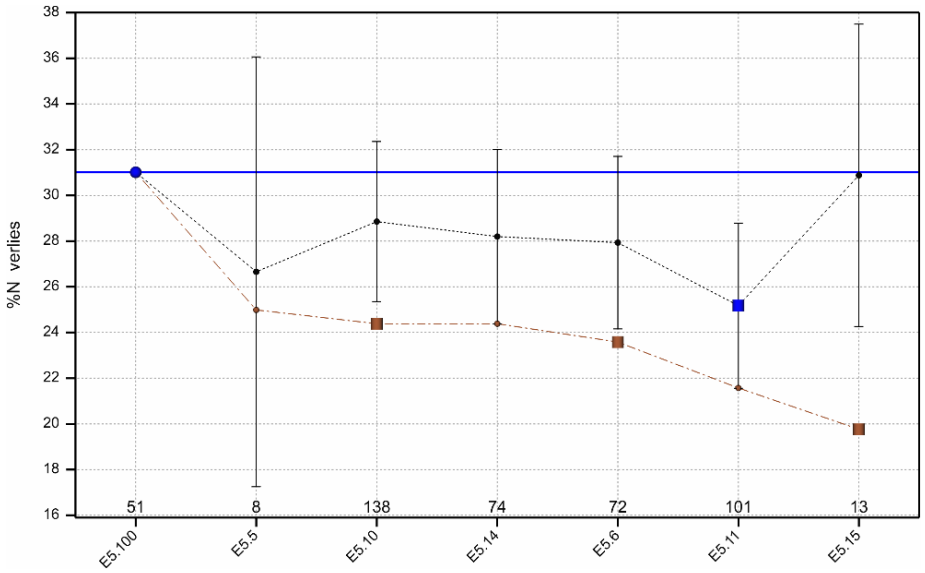



***Figuur 3*** *Leghennen, analyse CBS-dataset: effect van staltype op het N-verlies als percentage van de totale N-excretie, met op de horizontale as de Rav-codes en bijbehorend aantal bedrijven. De punten op de zwarte stippellijn geven per staltype de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte 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 N-$NH_3$ 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.*

[3] E2.7 is een conventioneel huisvestingsysteem. De emissiefactor was eerder gelijk aan die van E2.100 (overige huisvesting, in praktijk hoofdzakelijk grondhuisvesting) maar is enkele jaren geleden op basis van aanvullende metingen verhoogd. Als referentiestal is hier gekozen voor het staltype met de hoogste emissiefactor.

Vleeskuikens (Figuur 4)

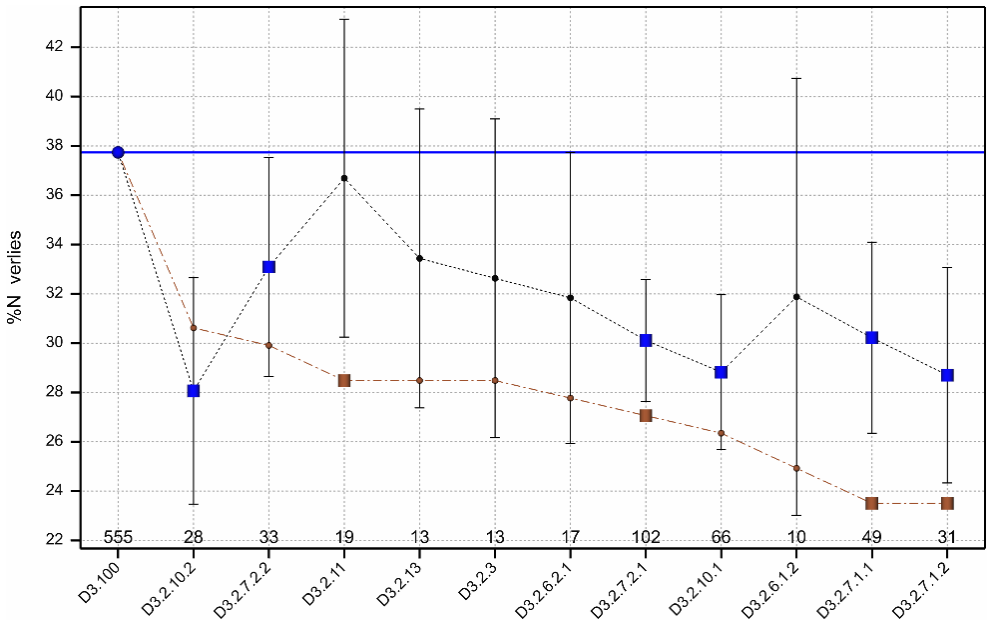
In de groep vleeskuikenstallen bedraagt het %N-verlies van de referentiestal E5.100 (strooiselhuisvesting zonder emissiearme maatregelen) 31%. Uit de analyse blijkt dat het geschatte verlies van deze stallen wat lager of net gelijk ligt ten opzichte van de referentie met een neerwaartse trend die parallel loopt met de bruine lijn behalve voor E5.5 en E5.15. Er is echter alleen voor E5.11, met een groot aantal bedrijven, sprake van een significant lager %N-verlies ten opzichte van de referentie. Geen van de stallen bereikt het verwachte %N-verlies op de bruine lijn. Hoewel voor E5.15, met een gering aantal bedrijven, het laagste %N-verlies verwacht wordt is hier het verliesniveau gelijk aan de referentie.




***Figuur 4*** *Vleeskuikens, analyse CBS-dataset: 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 N-$NH_3$ 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.*

Varkens (Figuur 5)

Het %N-verlies in de referentiestal van vleesvarkens (D3.100) ligt op afgerond 38%. Zes staltypen hebben een significant lager N-verlies dan de referentie. Er is een aflopende trend in %N-verlies waarneembaar in de zwarte lijn die meebeweegt met de bruine lijn, waarbij de geschatte %N-verliezen boven de verwachte waarden liggen. Opmerkelijke uitzondering is D3.2.10.2 die onder de bruine lijn ligt en daarmee het laagste %N-verlies heeft.




***Figuur 5*** *Vleesvarkens, analyse CBS-dataset: 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 lijn het volgens de Rav-factor verwachte N-$NH_3$ 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.*

Vergelijking op groepsniveau

In elke diercategorie zijn de voorkomende staltypen ingedeeld in groepen met overeenkomend emissie-reducerend principe, en is getoetst of het %N-verlies van de groepen significant afwijkt van het %N-verlies referentiestal. De resultaten van deze aanvullende analyse zijn opgenomen in Bijlage 3.

## 2.3 Analyse melkveestallen met KLW-informatie: 2018-2020

De Kringloopwijzer (KLW) is ontwikkeld als een management-instrument voor melkveebedrijven gericht op het in beeld brengen van kringlopen van mineralen. Dit geeft informatie over de mineralenbenutting op een bedrijf maar ook bedrijfsspecifieke informatie over excreties van stikstof en fosfaat en overschotten van stikstof en fosfaat. Met de KLW kunnen op deze wijze milieuprestaties van bedrijven jaarlijks in beeld gebracht worden. Sinds 2016 hebben zuivelondernemingen voor melkveebedrijven waarvan zij melk afnemen het gebruik van de KLW verplicht gesteld.

Voor de analyse van de N-verliezen op basis van NP-verhoudingen in afgevoerde mest bieden de geschatte bedrijfsspecifieke N en P excreties in de KLW een waardevolle aanvulling. Deze excreties worden in de KLW berekend uit de op bedrijfsrantsoengegevens gebaseerde totale opname van N en P, de afvoer van N en P via melk en vee, en de vastlegging van N en P in de groei van de dieren. De excretie is dan gelijk aan de opname van N en P, minus afvoer en vastlegging van N en P. Zoals in hoofdstuk 2.1 uiteengezet is de berekeningsmethode voor het N-verlies in de stal gebaseerd op het verschil tussen de N/P verhouding in de excretie en de N/P verhouding in de afgevoerde mest. In de analyse van de CBS-dataset is voor de N/P verhouding in de excretie gebruik gemaakt van een gemiddelde inschatting per diercategorie. Deze wordt jaarlijks geactualiseerd door de WUM-werkgroep op basis van landelijke rantsoeninformatie. De KLW biedt echter bedrijfsspecifieke N/P excreties, waarmee het N-verlies op bedrijfsniveau beter kan worden bepaald.

### 2.3.1 Databestand

Het door ZuivelNL aangeleverde geanonimiseerde databestand bevat melkveebedrijven met mestafvoercode 14 (drijfmest) met data voor de jaren 2018, 2019 en 2020. De gegevens van de in de mest afgevoerde N en P in deze dataset zijn deels jaargemiddelden die op forfaitaire waarden van N en P in de mest zijn gebaseerd. Voor dit onderzoek is het echter nodig dat enkel op mestanalyse gebaseerde informatie over afgevoerde N en P wordt gebruikt. Jaargemiddelden zijn dan niet bruikbaar omdat het forfaitaire aandeel in de bedrijfsgemiddeldes niet zichtbaar is. Daarom is het KLW databestand opgeschoond zodat alleen mestmonsters gebaseerd op een mestanalyse overblijven. Net als in de CBS-dataset zijn de extreme waarden verwijderd. Allereerst zijn de 0,5% laagste en 0,5% hoogste N- en P gehaltes verwijderd. Vervolgens zijn, de 0,5% laagste en 0,5% hoogste %N verliezen verwijderd. In het resulterende bestand zijn vervolgens alle staltypen waarvoor minder dan 10 bedrijven beschikbaar waren verwijderd omdat deze aantallen te gering zijn voor het onderscheiden van staltype effecten. Tabel 3 geeft een overzicht van het aantal mestmonsters en bedrijven per staltype, inclusief de grijze markering van staltypen met te geringe aantallen voor de statistische analyse. Het totaal aantal resterende bedrijven is 5533; dat is ongeveer een kwart minder dan in de CBS dataset. Tabel 4 geeft kengetallen van de drijfmest mestmonsters.

***Tabel 3*** *Drijfmest: aantal mestmonsters (links) en aantal bedrijven (rechts) uitgesplitst naar staltype en jaar na verwijdering van %N-verlies uitschieters. De grijs gemarkeerde staltypen hebben minder dan totaal 10 bedrijven met data en zijn niet in de analyse opgenomen*.

| **Aantal mestmonsters drijfmest** | | | | | **Aantal bedrijven drijfmest** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Staltype | 2018 | 2019 | 2020 | Totaal | Staltype | 2018 | 2019 | 2020 | Totaal |
| A1.100 | 83192 | 78459 | 80749 | 242400 | A1.100 | 3418 | 3105 | 3227 | 4743 |
| A1.1 | 526 | 262 | 294 | 1082 | A1.1 | 48 | 37 | 47 | 78 |
| A1.10 | 1442 | 1506 | 1805 | 4753 | A1.10 | 41 | 43 | 47 | 85 |
| A1.11 | 332 | 231 | 206 | 769 | A1.11 | 13 | 9 | 10 | 22 |
| A1.12 | 831 | 581 | 1036 | 2448 | A1.12 | 21 | 20 | 28 | 41 |
| A1.13 | 1931 | 1742 | 2677 | 6350 | A1.13 | 60 | 67 | 73 | 116 |
| A1.14 | 1776 | 1896 | 2279 | 5951 | A1.14 | 56 | 58 | 73 | 102 |
| A1.15 | 1111 | 1060 | 639 | 2810 | A1.15 | 30 | 29 | 17 | 45 |
| A1.18 | 508 | 277 | 234 | 1019 | A1.18 | 11 | 10 | 9 | 16 |
| A1.19 | 679 | 468 | 519 | 1666 | A1.19 | 19 | 17 | 16 | 32 |
| A1.2 | 55 | 15 | 86 | 156 | A1.2 | 3 | 2 | 3 | 8 |
| A1.20 | 111 | 115 | 238 | 464 | A1.20 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| A1.21 | 98 | 66 | 156 | 320 | A1.21 | 4 | 4 | 9 | 9 |
| A1.22 | 239 | 381 | 232 | 852 | A1.22 | 7 | 6 | 6 | 15 |
| A1.23 | 21 | 90 | 6 | 117 | A1.23 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| A1.24 | - | 3 | 22 | 25 | A1.24 | - | 1 | 1 | 2 |
| A1.25 | 95 | 244 | 242 | 581 | A1.25 | 4 | 7 | 5 | 8 |
| A1.26 | 31 | 69 | 145 | 245 | A1.26 | 4 | 3 | 7 | 10 |
| A1.27 | 53 | 2 | 76 | 131 | A1.27 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| A1.28 | 248 | 340 | 650 | 1238 | A1.28 | 6 | 12 | 17 | 26 |
| A1.29 | - | 21 | 47 | 68 | A1.29 | - | 1 | 2 | 2 |
| A1.3 | 72 | 20 | 48 | 140 | A1.3 | 3 | 1 | 1 | 5 |
| A1.30 | 116 | 99 | 15 | 230 | A1.30 | 8 | 4 | 1 | 10 |
| A1.31 | - | 435 | 366 | 801 | A1.31 | - | 13 | 12 | 18 |
| A1.32 | - | - | 92 | 92 | A1.32 | - | - | 1 | 1 |
| A1.33 | - | 64 | - | 64 | A1.33 | - | 1 | - | 1 |
| A1.34 | - | 38 | 138 | 176 | A1.34 | - | 1 | 4 | 5 |
| A1.35 | - | 46 | 28 | 74 | A1.35 | - | 2 | 1 | 3 |
| A1.5 | 1101 | 823 | 1260 | 3184 | A1.5 | 36 | 26 | 35 | 68 |
| A1.6 | 716 | 470 | 742 | 1928 | A1.6 | 17 | 13 | 14 | 31 |
| A1.7 | 348 | 261 | 313 | 922 | A1.7 | 9 | 7 | 9 | 16 |
| A1.8 | 303 | 178 | 242 | 723 | A1.8 | 10 | 7 | 6 | 14 |
| A1.9 | 752 | 643 | 946 | 2341 | A1.9 | 26 | 21 | 28 | 45 |
| Totaal | 96687 | 90905 | 96528 | 284120 | Totaal | 3860 | 3533 | 3716 | 5591 |

***Tabel 4*** *Kengetallen van de mestmonsters na verwijdering van uitschieters en na selectie van staltypen, per jaar en over de jaren 2018-2020: aantal, gemiddelde, standaarddeviatie, minimum, max en percentielwaarden: 1, 2, 98 en 99%*

| N gehalte | aantal | gem. | Sd | min | max | Q01 | Q02 | Q98 | Q99 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2018 | 96567 | 4.31 | 0.56 | 2.59 | 6.01 | 2.92 | 3.06 | 5.43 | 5.59 |
| 2019 | 90931 | 4.35 | 0.58 | 2.59 | 6.01 | 2.93 | 3.09 | 5.48 | 5.63 |
| 2020 | 95997 | 4.27 | 0.57 | 2.60 | 6.01 | 2.87 | 3.03 | 5.41 | 5.57 |
| 2018-2020 | 283495 | 4.31 | 0.57 | 2.59 | 6.01 | 2.90 | 3.06 | 5.44 | 5.60 |
| P gehalte | aantal | gem. | Sd | min | max | Q01 | Q02 | Q98 | Q99 |
| 2018 | 96567 | 1.37 | 0.24 | 0.72 | 2.28 | 0.85 | 0.90 | 1.93 | 2.03 |
| 2019 | 90931 | 1.36 | 0.25 | 0.72 | 2.28 | 0.85 | 0.89 | 1.94 | 2.05 |
| 2020 | 95997 | 1.37 | 0.24 | 0.72 | 2.28 | 0.84 | 0.89 | 1.93 | 2.03 |
| 2018-2020 | 283495 | 1.37 | 0.24 | 0.72 | 2.28 | 0.85 | 0.90 | 1.94 | 2.03 |
| N/P mest | aantal | gem. | Sd | min | max | Q01 | Q02 | Q98 | Q99 |
| 2018 | 96567 | 3.19 | 0.43 | 1.78 | 5.12 | 2.26 | 2.36 | 4.12 | 4.28 |
| 2019 | 90931 | 3.25 | 0.44 | 1.77 | 5.43 | 2.31 | 2.40 | 4.21 | 4.36 |
| 2020 | 95997 | 3.17 | 0.41 | 1.75 | 5.23 | 2.31 | 2.38 | 4.10 | 4.26 |
| 2018-2020 | 283495 | 3.20 | 0.43 | 1.75 | 5.43 | 2.29 | 2.38 | 4.15 | 4.31 |
| N/P excret | aantal | gem. | Sd | min | max | Q01 | Q02 | Q98 | Q99 |
| 2018 | 96567 | 3.80 | 0.36 | 2.51 | 5.26 | 3.01 | 3.09 | 4.64 | 4.78 |
| 2019 | 90931 | 3.90 | 0.37 | 2.37 | 5.70 | 3.00 | 3.14 | 4.72 | 4.81 |
| 2020 | 95997 | 3.94 | 0.38 | 2.42 | 5.61 | 3.09 | 3.18 | 4.76 | 4.86 |
| 2018-2020 | 283495 | 3.88 | 0.37 | 2.37 | 5.70 | 3.02 | 3.13 | 4.71 | 4.82 |
| %N-verlies | aantal | gem. | Sd | min | max | Q01 | Q02 | Q98 | Q99 |
| 2018 | 96567 | 15.70 | 10.24 | -13.12 | 41.92 | -8.73 | -6.28 | 36.52 | 38.48 |
| 2019 | 90931 | 16.55 | 9.92 | -13.13 | 41.93 | -8.17 | -5.52 | 36.39 | 38.29 |
| 2020 | 95997 | 19.15 | 9.29 | -13.13 | 41.92 | -5.66 | -2.17 | 37.43 | 39.30 |
| 2018-2020 | 283495 | 17.14 | 9.93 | -13.13 | 41.93 | -7.83 | -5.03 | 36.77 | 38.77 |

### 2.3.2 Aanpak statistische analyse

De volgende responsvariabelen zijn in deze analyse onderzocht: N- en P-gehaltes, de N/P verhouding in mest én het N-verlies binnen een jaar. Binnen elk van de variabelen kunnen de volgende vier bronnen van variatie onderscheiden worden: (1) variatie tussen bedrijven, (2) variatie tussen maanden binnen een bedrijf, (3) variatie tussen dagen binnen een maand en (4) variatie tussen vrachten binnen een dag. De componenten (2) en (3) zouden samengevoegd kunnen worden, dat wil zeggen variatie tussen dagen binnen een bedrijf, maar daar is hier niet voor gekozen. Als het N-verlies bijvoorbeeld afhangt van (a) de tijd die de mest in de kelder ligt en (b) van seizoensgebonden voer zal er met name variatie zijn tussen maanden en minder tussen dagen binnen een maand. Het random model is anders dan in de CBS analyse met name omdat in de KLW data de verschillende vrachten binnen een dag geïdentificeerd kunnen worden. Ook in dit model geldt dat de verschillen tussen staltypen met name getoetst worden tegen de variatie tussen bedrijven.

Het basismodel voor de analyse, zonder correctie van het staltype-effect door andere bedrijfsspecifieke kenmerken, is:

respons = staltype + bedrijf + maand + dag + vracht

Hierin zijn de genoemde variatiebronnen als random termen (onderstreept) opgenomen, en is 'staltype' de verklarende factor die systematische verschillen tussen staltypen weergeeft. Per jaar is een analyse uitgevoerd. Daarnaast is een analyse over alle drie jaren (over-jaren analyse) uitgevoerd met het volgende hiervoor aangepaste basismodel:

respons = staltype + jaar + bedrijf.jaar + maand + dag + vracht

In de overall-analyse over drie jaren is de random term "bedrijf" vervangen door "bedrijf.jaar", welke term staat voor het random effect van elke combinatie van jaar en bedrijf. Om te corrigeren voor systematische verschillen tussen jaren is "jaar" als fixed term toegevoegd. In beide basismodellen zijn de volgende corrigerende kenmerken opgenomen: Maand van monstername, Provincie, Beweiding, Ruw eiwit in droge stof in het totale rantsoen, en fractie TAN in drijfmest ten opzichte van de totale N in drijfmest. De analyses

zijn uitgevoerd met de REML-procedure in het statistisch pakket GenStat. Vanwege problemen met deze procedure is de over-jaren analyse met de corrigerende 5 kenmerken uitgevoerd met lme4 in het statistische pakket R.

Net als in de analyse van de CBS-dataset is voor elke respons variabele getoetst of er een significant verschil is tussen elk afzonderlijk staltype en het referentie staltype waarbij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1% is gehanteerd. Voor de respons-variabele %N-verlies is tevens per staltype getoetst of het verschil afwijkt van het verlies dat verwacht mag worden ten opzichte van de referentie-stal op basis van de emissiefactor in de Rav. Naast de toetsing per staltype is tevens een toetsing uitgevoerd op groepsniveau waarbij de staltypen zijn gegroepeerd naar overeenkomend emissie-reducerend principe.

### 2.3.3 Resultaten analyse staleffect

Schattingen van variatiecoëfficiënten voor drijfmest op het niveau van bedrijf tot en met vracht zijn weergegeven in Tabel 5. De variatiecoëfficiënten (VC, standaardafwijking als percentage van het gemiddelde) zijn berekend op basis van het gemiddelde van alle waarnemingen, dus niet het gemiddelde per jaar. De VC van N en P gehalten op bedrijfsniveau fluctueren rond de 10% wat betekent dat de waarnemingen in een bandbreedte liggen van ca. 20% onder tot ca. 20% boven de gemiddelde waarde. De variatiecoëfficiënten staan weergegeven voor zowel de ongecorrigeerde analyse (basismodel met alleen staltype als verklarende factor) als de gecorrigeerde analyse. De extra verklarende variabelen (zie 2.3.2) in de gecorrigeerde analyse zijn op bedrijfsniveau gedefinieerd en hebben daardoor met name effect op de bedrijfsvariatie. De schattingen van de VC voor de gecorrigeerde analyse zijn echter vrijwel gelijk aan die voor de ongecorrigeerde analyse met een maar iets lagere variatie tussen de bedrijven. Vergelijk bijvoorbeeld de VC voor de variatiecomponent Bedrijf over 2018-2022 tussen ongecorrigeerd en gecorrigeerd N-verlies: 33,4 versus 33,0 % . Dit geringe verschil is een indicatie dat de opgenomen corrigerende kenmerken (Maand, Provincie, Beweiding, Ruw eiwit en de fractie TAN in drijfmest) maar weinig extra bedrijfsvariatie verklaren.

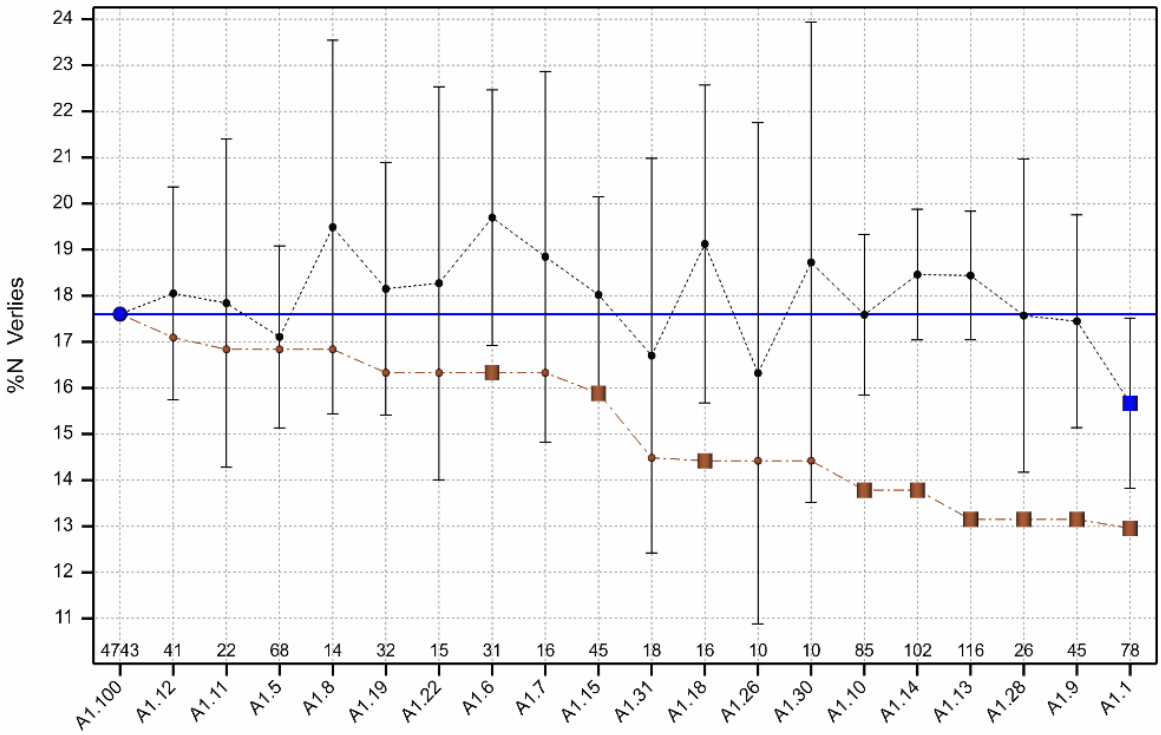
***Tabel 5*** *Schattingen van variatiecoëfficiënten (VC) voor N, P, NP en %N-verlies in de mestmonsters op vier variatieniveaus per jaar en over de jaren heen (zie toelichting in tekst).*

| | **Ongecorrigeerde analyse** | | | | **Gecorrigeerde analyse** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N-gehalte | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 |
| Bedrijf | 9.8 | 9.9 | 9.5 | 9.7 | 9.2 | 9.3 | 8.9 | 9.1 |
| Maand | 6.3 | 6.8 | 6.7 | 6.6 | 6.2 | 6.4 | 6.5 | 6.4 |
| Dag | 6.3 | 6.2 | 6.5 | 6.3 | 6.3 | 6.2 | 6.5 | 6.4 |
| Vracht | 3.0 | 3.1 | 2.9 | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 2.9 | 3.0 |
| P-gehalte | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 |
| Bedrijf | 13.0 | 12.6 | 12.4 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 12.1 | 12.4 |
| Maand | 9.5 | 9.2 | 9.6 | 9.4 | 9.4 | 9.1 | 9.3 | 9.3 |
| Dag | 9.3 | 9.2 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.2 | 9.3 | 9.3 |
| Vracht | 4.8 | 4.6 | 4.2 | 4.5 | 4.8 | 4.6 | 4.2 | 4.5 |
| N/P | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 |
| Bedrijf | 9.6 | 9.2 | 9.4 | 9.4 | 9.3 | 9.1 | 9.0 | 9.2 |
| Maand | 6.9 | 6.9 | 6.7 | 6.9 | 6.7 | 6.7 | 6.3 | 6.6 |
| Dag | 6.9 | 6.8 | 6.5 | 6.7 | 6.9 | 6.8 | 6.5 | 6.7 |
| Vracht | 3.7 | 3.6 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 3.6 | 3.3 | 3.5 |
| %N-verlies | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 |
| Bedrijf | 35.8 | 32.8 | 31.4 | 33.4 | 34.8 | 32.0 | 31.1 | 33.0 |
| Maand | 34.1 | 33.3 | 32.0 | 33.1 | 33.1 | 32.2 | 30.1 | 32.0 |
| Dag | 33.7 | 32.5 | 30.5 | 32.2 | 33.7 | 32.5 | 30.5 | 32.2 |
| Vracht | 17.9 | 17.5 | 15.6 | 17.0 | 17.9 | 17.5 | 15.6 | 17.0 |

De VC-waarden van Maand en Dag zijn kleiner dan die van Bedrijf en liggen onderling op een vergelijkbaar niveau. Het laagst is de variatie in de gehalten tussen vrachten die binnen een dag zijn afgevoerd. Het N-verlies vertoont vergeleken met mestgehalten een veel hogere variatiecoëfficiënt. Dit wordt veroorzaakt doordat de berekening van %N-verlies is gebaseerd op de NP-verhouding in de excretie en de NP-verhouding in de mest. Dat betekent dat zowel de variatiecoëfficiënt van NP-mest (9,2%) als de variatiecoëfficiënt in NP-

excretie (10,0%)[4] tot uiting komt in de variatiecoëfficiënt van het N-verlies en daardoor hoger is dan beide NP termen. Omdat in de berekening van het %N-verlies het verschil tussen excretie en de mest ook nog gedeeld wordt door de NP-verhouding in de excretie valt de variatiecoëfficiënt nog groter uit.

Hoofddoel van de analyse was het effect van staltype op het %N-verlies vast te stellen. Hieronder worden de resultaten van de over-jaren analyse van het %N-verlies op staltype-niveau besproken. De resultaten van de analyses per jaar en analyse op groepsniveau zijn opgenomen in Bijlage 4.




***Figuur 6*** *Melkvee, analyse KLW-dataset: effect van staltype 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 predictie van de N-verliezen, en de verticale lijnen de bandbreedte van het 99%-betrouwbaarheidsinterval. De blauwe lijn geeft het niveau van referentiestal A1.00, en de punten op de bruine lijn het volgens de Rav-factor verwachte N-$NH_3$ 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.*

Het algemene beeld in Figuur 6 is dat het N-verlies van de emissiearme staltypen niet afwijkt van het referentieniveau (de conventionele stal). Hoewel gerangschikt op toegekende Rav-emissiefactor is er geen dalende trend waarneembaar. Van de 20 staltypen liggen er 5 onder de blauwe lijn, 3 op de lijn, en 12 er boven. Geen van de staltypen wijkt significant af van het referentieniveau, uitgezonderd de traditionele grupstal (A1.1) die net significant onder het referentieniveau ligt. Significante afwijkingen van de bruine lijn zijn met oranje punten aangegeven. Negen van de 20 staltypen, merendeels gelegen in het rechterdeel van de figuur met de lagere Rav emissiefactoren, hebben een significant hogere emissie dan verwacht mag worden op basis van hun emissiefactor.

[4] In een afzonderlijke analyse van de N/P excretie data (jaargemiddelde waarden per bedrijf) is over de periode 2018-2020 een VC van 10,0% berekend. Nb: dit VC-percentage is een proportie van het aantal %-punten N-verlies in de N-excretie.

### 2.3.4 Power analyse

Een power analyse kan gebruikt worden om te bepalen hoeveel bedrijven van een zeker staltype nodig is om een significant verschil in het %N-verlies met het referentie type te vinden. Voor een power analyse van melkvee-stallen zijn de volgende vijf elementen nodig:

1. Schattingen van de variatiecomponenten;
2. De verdeling van de waarnemingen over maanden, dagen en vrachten;
3. Het relevante verschil tussen de staltypen wat aangetoond moet worden;
4. De onbetrouwbaarheidsdrempel van de statistische toets;
5. De kans waarmee men het verschil wil aantonen.

Uitgangspunt is dat alle waarnemingen binnen hetzelfde jaar worden gedaan. De volgende varianties $\sigma_B^2$, $\sigma_M^2$, $\sigma_D^2$ en $\sigma_V^2$ worden gedefinieerd als respectievelijk (1) de variantie tussen bedrijven, (2) de variantie tussen maanden binnen een bedrijf, (3) de variantie tussen dagen binnen een maand, en (4) de variantie tussen vrachten binnen een dag. Tevens worden $B$, $M$, $D$ en $V$ gedefinieerd als het aantal waarnemingen op die vier niveaus. Dan is de variantie van het gemiddelde van de in totaal $B \times M \times D \times V$ waarnemingen gelijk aan:

$$\frac{\sigma_B^2}{B} + \frac{\sigma_M^2}{BM} + \frac{\sigma_D^2}{BMD} + \frac{\sigma_V^2}{BMDV} = \frac{1}{B}\left[\sigma_B^2 + \frac{\sigma_M^2}{M} + \frac{\sigma_D^2}{MD} + \frac{\sigma_V^2}{MDV}\right] \qquad (5)$$

Hieruit blijkt dat met name de tussen variantie $\sigma_B^2$ en het aantal bedrijven $B$ bepalend is voor de variantie van het gemiddelde, immers de andere componenten worden al gereduceerd door de producten van $M$, $D$ en $V$. Het gemiddelde aantal maanden, dagen binnen een maand en vrachten binnen een dag in het KLW-databestand zijn gegeven in Tabel 6. Op basis hiervan wordt in de power analyse uitgegaan van $M$=6.5, $D$=2.1 en $R$=4.0. Tevens wordt, enigszins arbitrair, uitgegaan van de meest recente schattingen van de varianties in 2020 in Tabel 7 voor de gecorrigeerde analyse; zie ook Tabel (5) voor de bijbehorende variatiecoëfficiënten. De variantie tussen de haken in vergelijking (5) is onder die veronderstellingen gelijk aan 35 en dat is het uitgangspunt voor de power analyse.

***Tabel 6*** *Gemiddelde aantal maanden, dagen en vrachten waarop mestmonster zijn genomen.*

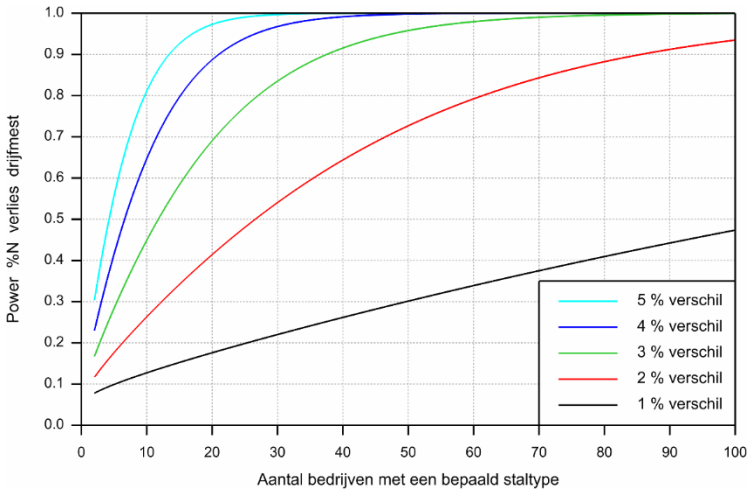
| Jaar | **Drijfmest** | | |
|---|---|---|---|
| | #Maand M | #Dag D | #Vracht R |
| 2018 | 6.1 | 2.1 | 4.1 |
| 2019 | 6.3 | 2.1 | 4.1 |
| 2020 | 6.5 | 2.1 | 4.0 |

***Tabel 7*** *Variantie componenten voor %N-verlies in de gecorrigeerde analyse.*

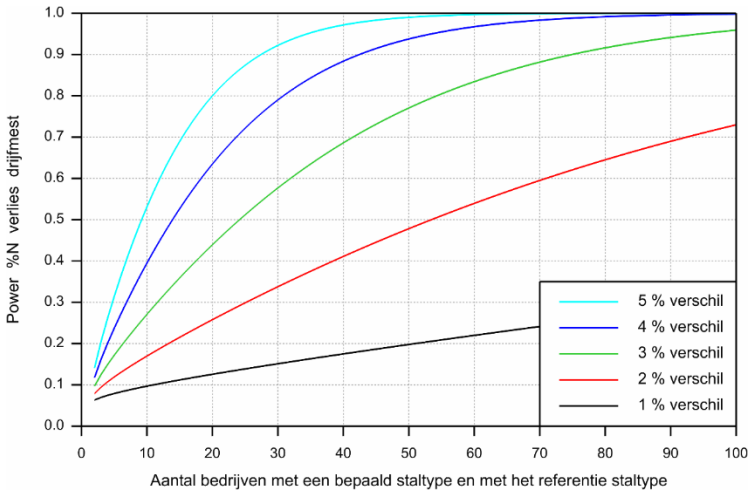
| Component | **Drijfmest** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2018-20 |
| Bedrijf | 35.6 | 30.0 | 28.5 | 31.9 |
| Maand | 32.2 | 30.5 | 26.6 | 30.0 |
| Dag | 33.4 | 31.0 | 27.4 | 30.5 |
| Vracht | 9.4 | 8.9 | 7.1 | 8.5 |

In deze power analyse zijn twee scenario's vergeleken. In beide scenario's wordt uitgegaan van toetsing van een verschil in %N-verlies tussen staltypen met onbetrouwbaarheidsdrempel 5%. Het eerste scenario gaat uit van een vergelijking tussen de referentiestal, gebaseerd op 3500 bedrijven zoals in het KLW bestand, en een ander staltype. De analyse geeft hier het aantal bedrijven dat voor het andere staltype nodig is om een gegeven %N verschil tussen beide staltypen te onderscheiden. Figuur 7 geeft in dit geval de power weer voor te onderscheiden N-verliespercentages afnemend van 5 tot 1% via afzonderlijke curves. Wanneer we uitgaan van een power van 0,9 is bij een %N-verlies van 4% (donkerblauwe curve) het aantal benodigde bedrijven gelijk aan 21. Dat loopt op naar 38 om een verschil van 3% (groene curve) aan te tonen. Hoe kleiner het aan te tonen verschil des te groter het aantal benodigde bedrijven.

De power bij een gelijk aantal bedrijven van een bepaald type én van het referentietype wordt gegeven in Figuur 8. In dat geval zijn grotere aantallen nodig voor het vinden van een significant verschil met voldoende power omdat hier geen sprake is van het grote aantal referentiebedrijven in het eerste scenario. Om een verschil van 3% N-verlies (groene lijn) te onderscheiden zijn 75 stallen nodig van elk staltype. Dit scenario is ook relevant voor situaties waarin willekeurige staltypen met elkaar worden vergeleken.




***Figuur 7*** *Kans op het vinden van een significant verschil tussen een bepaald staltype en het referentie staltype (3500 bedrijven), als functie van het aantal bedrijven met het bepaalde staltype en het verschil in %N-verlies in drijfmest. De power is berekend uitgaande van een eenzijdige twee steekproeven t toets met onbetrouwbaarheidsdrempel 5%, en een variantie tussen bedrijven van 35 voor drijfmest (zie tekst).*




***Figuur 8*** *Kans op het vinden van een significant verschil tussen een bepaald staltype en het referentie staltype, als functie van het aantal bedrijven van beide typen. De power is berekend uitgaande van een eenzijdige twee steekproeven t-toets met onbetrouwbaarheidsdrempel 5%, en een variantie tussen bedrijven van 35 voor drijfmest.*

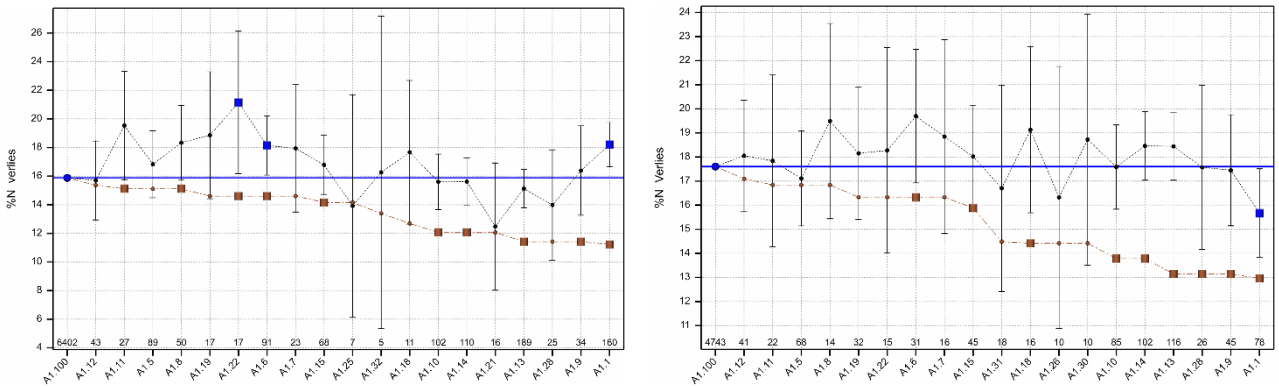
# 3 Discussie en conclusies

## 3.1 Discussie

Dit onderzoek richt zich op het vaststellen van verschillen in %N-verlies uit mest tussen conventionele en emissiearme stalsystemen. Daarmee kan geverifieerd worden of emissiearme staltypen in de praktijk aantoonbaar effectief zijn in het reduceren van de ammoniakemissie. Essentieel daarbij is dat het aantal bedrijven met mestanalyses in de beschikbare datasets voldoende groot is om genoemde verschillen voldoende nauwkeurig te kunnen bepalen. Hoe kleiner de onzekerheidsmarges van geschatte verschillen in N-verlies des te betrouwbaarder kunnen er uitspraken worden gedaan over de effectiviteit van emissiearme stallen. De eerdere studie van het CBS (van Bruggen en Geertjes, 2019) is gebaseerd op een vergelijking van gemiddelde N-verliezen tussen staltype-groepen, waarbij de waargenomen verschillen niet statistisch zijn geanalyseerd. In dit onderzoek is de analyse van %N-verlies gebaseerd op statistische modellering met corrigerende variabelen om het effect van staltype nauwkeuriger te kunnen bepalen. De analyse levert bovendien informatie over de onzekerheidsmarge van de geschatte verschillen in %N-verlies in de vorm van 99%-betrouwbaarheidsintervallen.

**Melkvee**

Voor de categorie melkvee zijn in deze studie twee analyses uitgevoerd op twee verschillende datasets: CBS-data over de jaren 2017-2018 en data afkomstig uit de Kringloopwijzer (KLW) over de jaren 2018-2020. Een belangrijk motief voor de aanvullende analyse met de KLW-dataset was dat het hierbij mogelijk is om bedrijfsspecifieke NP-excreties te gebruiken in plaats van regio-specifieke NP-excreties. De vraag is nu of de analyse van het KLW-bestand vergeleken met de analyse van het CBS-bestand een wezenlijk ander beeld levert. De uitgangspunten van de analyses verschillen enigszins omdat het KLW-bestand een kleinere groep bedrijven bevatte en omdat de statistische modellen enigszins verschillen. Door de selectieprocedures is het aantal bedrijven per staltype in beide bestanden ook verschillend, en komen sommige staltypen enkel in een van beide analyses voor. Wanneer we de grafieken van beide analyses naast elkaar zetten (zie Figuur 9) levert dit een vergelijkbaar patroon op. Er is in beide analyses geen dalende trend waar te nemen in %N-verlies (zwarte lijn) zoals die verwacht mag worden op basis van de Rav-emissiefactoren (bruine lijn). Het gedeelde beeld in beide analyses is dat de sinds de jaren negentig ontwikkelde emissiearme staltypen geen significant lager %N-verlies hebben dan de conventionele huisvesting met ligboxen en roostervloer (blauwe lijn), en dat met name de staltypen met de laagste emissiefactoren significant hogere %N-verliezen laten zien dan verwacht op basis van hun emissiefactor.

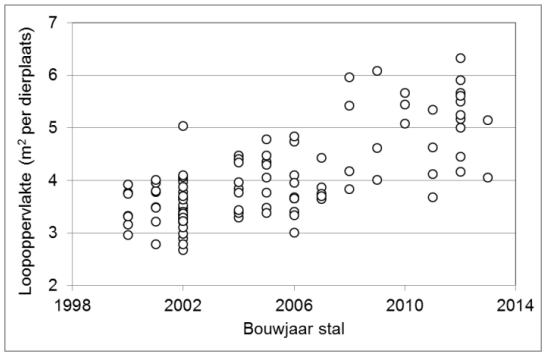



***Figuur 9*** *Vergelijking van de effecten van staltype op %N-verlies tussen de analyse op basis van het CBS-bestand (links) en het KLW-bestand (rechts).*

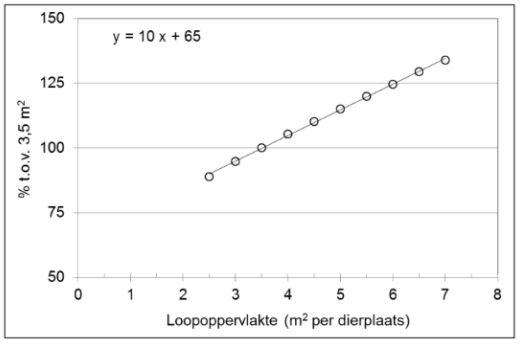
Opmerkelijke uitzondering is het %N-verlies van de grupstal (A1.1, uiterst rechts in beide grafieken). In de KLW-berekeningswijze ligt de grupstal significant lager dan de referentiestal, maar in de CBS-berekeningswijze juist significant hoger. Een verklaring zou kunnen zijn dat de bedrijfsspecifieke NP-verhouding in de excretie voor A1.1 anders is dan de gemiddelde verhoudingen in de CBS-analyse. De meerwaarde van het gebruik van het KLW-bestand is dat bedrijfsspecifieke NP excreties direct in het berekende N-verlies worden meegenomen en dat er meer informatie over andere mogelijk bedrijfsfactoren beschikbaar is om verschil in N-verlies nauwkeuriger te schatten.

De resultaten uit de analyse van de KLW- en CBS-dataset bevestigen de resultaten uit de CBS-studie (van Bruggen & Geertjes, 2019) uitgevoerd op data voor de jaren 2015 t/m 2017. Ook in deze studie werd bij melkvee geen verschil in N-verlies tussen het gemiddelde van de groep emissiearme stallen en het gemiddelde van conventionele huisvesting gevonden. Over de gehele periode 2015-2020 is daarmee sprake van een consistent beeld, namelijk het ontbreken van aantoonbare reductie in N-verliezen ten opzichte van het referentieniveau. Met de aanpak in de huidige studie is dit ook statistisch onderbouwd. De analyse laat zien dat met name voor staltypen met lage emissiefactoren en grotere aantallen bedrijven, de betrouwbaarheidsintervallen kort genoeg zijn om aan te tonen dat het verschil in %N-verlies ten opzichte van de referentiestal significant kleiner is dan verwacht mag worden volgens de Rav-emissiefactoren.

Het ontbreken van reductie-effecten levert een frappante tegenstelling op met de meetseries uitgevoerd voor het vaststellen van de emissiefactoren van de nieuwe generatie stallen. Wij bespreken hier enkele mogelijk verklarende factoren voor dit verschil waarover in de data-analyse geen informatie beschikbaar was. Een voorbeeld van een mogelijke factor is het toegenomen loopoppervlak per koe in melkveestallen. Grotere oppervlakken geven hogere $NH_3$-emissies. Ogink *et al*. (2014) rapporteerden dat gedurende de periode 1998-2013 nieuwe stallen grotere loopoppervlakken hebben dan de oudere stallen (Figuur 10a). Dat betekent dat een reductie door een emissiearm systeem deels teniet gedaan wordt door een groter loopoppervlak per dier. Figuur 10b laat zien dat een loopoppervlak van 5,5 $m^2$ volgens een emissiemodelberekening een 10% hogere emissie geeft dan een stal met 4,5 $m^2$ loopoppervlak per koe (de basis voor de huidige Rav factoren). Dat is volgens Figuur 1 in paragraaf 2.1 ca. 1 procentpunt extra N-verlies. Deze 1 procentpunt moet dus extra gecompenseerd worden in een emissiearme stal met een vloeroppervlak van 5,5 $m^2$. Een stal die voldoet aan de norm in het Besluit Emissiearme Huisvesting (8,6 kg $NH_3$ per dierplaats/jaar) vereist dan een N-reductie van 4,5 in plaats van 3,5 procentpunten N-verlies, dat is bijna 30% meer.




**Figuur 1** Ontwikkeling van het gemiddeld loopoppervlak per dier in nieuwbouwstallen met traditionele roostervloer tussen 1998 en 2013 (waargenomen in DLV-steekproef).




**Figuur 2** Relatie tussen besmeurd oppervlak en relatieve stalemissie ten opzichte van 3,5 $m^2$ loopoppervlak (=100) volgens het rekenmodel voor stalemissie van melkvee; modelparameters gebaseerd op een referentiestal met traditionele roostervloer en ligboxen (AmmoniakEmissie Model V2.0).

***Figuur 10a*** *Ontwikkeling van het gemiddeld loopoppervlak per dier in nieuwbouwstallen voor melkvee (links) en b: Relatie tussen loopoppervlak en emissie uit melkveestallen (rechts). Bron: Ogink et al., 2014.*

Naast ruimer dimensioneren van dierplaatsen in nieuwe stallen is het ook mogelijk dat stallen op de groei zijn gebouwd. Dan is er sprake van onderbezetting waardoor loopoppervlak per dier wordt verruimd. De fosfaatproblematiek van enkele jaren geleden kan onderbezetting nog eens extra gestimuleerd hebben. Deze veronderstelling zal nader bekeken moeten worden. Mocht onderbezetting in de nieuwe generatie stallen een

grote rol spelen, dan biedt dit handvatten om de extra ammoniakemissie terug te dringen door inperking van het loopoppervlak, en voorkomen van de luchtuitwisseling tussen kelder en stal in het ongebruikte loopoppervlak.

Een tweede bedrijfsfactor die voor emissiearme stallen niet gelijk hoeft te zijn aan conventionele stallen is het gebruik van de dikke fractie van de mest als boxstrooisel. Dit boxstrooisel kan extra emissie veroorzaken. De omvang van het effect van extra boxstrooisel uit dikke fractie mest op stalemissie is niet bekend. De toepassing van deze methode in de praktijk vraagt nader onderzoek naar zowel de mate van toepassing in emissiearme stallen en in conventionele stallen, als naar de extra bijdrage in de stalemissie.

Het is echter niet aannemelijk dat bovenstaande factoren een doorslaggevende kunnen spelen in het gesignaleerde ontbreken van emissiereductie. Het verklaart namelijk niet waarom in de resultaten over de gehele linie van Rav-emissiefactoren geen enkele relatie zichtbaar is met het N-verlies. Als genoemde factoren enig effect hebben, bijvoorbeeld 1% meer N-verlies, zou er nog steeds een dalende trend in de figuren 2 en 6 zichtbaar moeten zijn tussen emissiefactor en %N-verlies.

Een derde factor kan zijn dat bedrijfsomstandigheden en management tijdens het bepalen van de emissiefactor verschillen van de omstandigheden bij langdurig gebruik. Het kan zijn dat de bedrijfsfactoren die extra spelen in een emissiearme stal, zoals bij melkvee de vloer en de schuif, na verloop van tijd anders werken dan tijdens de metingen door slijtage van vloer en schuif of door andere schuiffrequenties. De emissies zijn dan hoger dan vastgesteld bij de testmetingen. Ook verschillen in bedrijfsmanagement tussen de bedrijven waar is getest en de praktijk kunnen hier een rol hebben gespeeld. Deze effecten zijn besproken in het rapport van Bremmers *et al.* (2022) en blijken van belang te kunnen zijn.

**Pluimvee**
In de leghennen-sector is duidelijk een neerwaartse trend in %N-verlies zichtbaar bij een afnemende emissiefactor. Door de groepsindeling in de eerdere CBS-publicatie uit 2019 zijn resultaten niet goed met deze studie te vergelijken. In deze studie heeft het merendeel van de staltypen een significant lagere emissie dan de referentiestal. De reductie van het %N-verlies is minder dan verwacht (zie verschil tussen blauwe en bruine lijn in Figuur 3), in het beste geval niet meer dan de helft van de verwachte reductie. Er is dus sprake van significant effectieve emissiereductie ten opzichte van de referentiestal, maar niet aantoonbaar in de omvang die volgens de bijbehorende emissiefactoren verwacht mag worden. Mogelijk wordt het geringere effect veroorzaakt door extra emissie uit tussentijdse mestopslag buiten de stal, bijvoorbeeld tijdens het nadrogen van de mest. Dit vraagt nader onderzoek naar mestmanagement in de praktijk.

In de vleeskuikensector is ook een met de emissiefactor meelopende neerwaartse trend in N-verlies zichtbaar (Figuur 4). Opmerkelijk is dat de stal met de laagste emissiefactor sterk afwijkt van deze trend. Door de geringere bandbreedte in verwacht %N-verlies en het beperkte aantal bedrijven per staltype zijn er weinig significante verschillen ten opzichte van het referentieniveau of het verwachte niveau volgens de Rav-factor zichtbaar. In de CBS-studie uit 2019 had het verschil in N-verlies ten opzichte van de referentiestal een gelijksoortige omvang. De huidige analyse laat reductie van N-verlies bij het merendeel van de staltypen zien waarbij 1 staltype ook statistisch significant minder N-verlies heeft. De behaalde reductie ten opzichte van de referentiestal is echter ca. de helft of minder van wat verwacht zou worden. Ook hier is nader onderzoek gewenst naar eventuele effecten van emissie uit mestopslag buiten de stal.

**Vleesvarkens**
Het merendeel van de staltypen bij vleesvarkens (6 van de 11) heeft een significant lager N-verlies dan de referentiestal (Figuur 5), en de gemiddelde omvang daarvan ten opzichte van de referentiestal komt overeen met de resultaten uit de CBS-studie van 2019. De N-verliezen vertonen een neerwaartse trend met afnemende emissiefactor. Eén staltype ligt duidelijk onder het verwacht N-verlies en presteert beter dan alle stallen, hoewel het de op één na hoogste emissiefactor heeft. De andere staltypen halen echter niet het verwachte N-verlies en reduceren in het algemeen minder dan verwacht. Conclusie hier is dat er sprake is van significante emissiereductie, maar niet aantoonbaar in de omvang die volgens de bijbehorende emissiefactoren verwacht mag worden. Net als voor de overige diercategorieën is de achterblijvende reductie niet direct te koppelen aan een duidelijke oorzaak en spelen hier waarschijnlijk meerdere factoren een rol,

zoals een verschil in bedrijfsomstandigheden tussen testmetingen en praktijk, en juiste implementatie en adequaat management.

**Rest-N**
Eén van de opvallende bevindingen in de CBS-studie van 2019 is het soms omvangrijke verschil tussen het totale N-verlies (de N van alle vluchtige N-componenten tezamen) volgens de in NEMA gebruikte emissiefactoren en het vastgestelde totale N-verlies volgens de NP-methode. Dit verschil, in de CBS-studie aangeduid als Rest-N, was ook in deze studie zichtbaar. In elke diercategorie was er sprake van positieve Rest-N, dat wil zeggen er verdwijnt meer N volgens de NP-methode dan verwacht volgens de gesommeerde N-emissiefactoren. De omvang van Rest-N in deze studie komt qua orde van grootte overeen met die in het CBS-rapport. De Rest-N was het grootst in de vleeskuiken- en varkenstallen, respectievelijk 16 en 14% van de N-excretie, gevolgd door leghennen (7%) en melkvee met 6% Rest-N in de KLW-analyse en 4,4% Rest-N in de CBS-dataset.

Theoretisch zou de Rest-N gelijk moeten zijn aan nul. De omvang van de Rest-N hangt zowel af van de nauwkeurigheid van de N-emissiefactoren als de nauwkeurigheid van NP-methode. Op voorhand betekent een positieve Rest-N dus niet dat er sprake is van te lage N-emissiefactoren. Even goed kan een positieve N-rest het gevolg zijn van de NP-methode door systematische afwijkingen in de N en P excreties en/of gemeten NP-verhoudingen in afgevoerde mest. Wat betreft de nauwkeurigheid van de gesommeerde N-verliezen zijn de $NH_3$-N emissies van de referentiestallen in het algemeen redelijk tot goed onderbouwd. Het niveau van de referentiestal voor melkvee is bijvoorbeeld gebaseerd op een groot aantal metingen en is in een recente meetreeks (Schep *et al*., 2022 ) nog eens bevestigd. Anders ligt dat met de overige N-factoren, met name voor vaste mest. De inschatting van $NO_x$- en $N_2$-emissies zijn hier door middel van verhoudingsgetallen afgeleid van $N_2O$-emissies uit de IPCC Guidelines. De basis van deze verhoudingsgetallen is onzeker omdat vooral $N_2$-emissie bijzonder moeilijk te meten is. Verhoudingsgetallen zijn afgeleid uit enkele bodem-studies die onderling een grote variatie in verhoudingen tussen $N_2O/N_2$ vertonen (Neyssari *et al*., 2023). Momenteel loopt onderzoek om de N-emissies (met name $N_2$) betrouwbaarder te kunnen meten. De aanwezigheid van Rest-N hoeft geen beletsel te vormen voor het gebruik van de NP-methode om verschillen in N-$NH_3$ verlies tussen staltypen te beoordelen, omdat deze uitgedrukt worden in procenten N-verlies in de N-excretie volgens vergelijking 1 (paragraaf 2.1). Er moet dan geen sprake zijn van interacties tussen staltype en Rest-N. Dat is mogelijk voor vaste mest in pluimveestallen niet volledig uit te sluiten.

## 3.2 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van deze studie was:

- de nauwkeurigheid van de NP-methode bij toepassing van de gebruikte datasets te onderzoeken, met de vraag of het aantal beschikbare bedrijven met mestanalyses voldoende groot is om het verschil in N-verlies tussen staltypen betrouwbaar vast te stellen;
- met behulp van de NP-methode verschillen in N-verlies tussen conventionele en emissiearme stalsystemen te schatten binnen de categorieën melkvee, varkens, leghennen en vleeskuikens in de periode 2017-2020 om daarmee de effectiviteit in ammoniakreductie van emissiearme staltype te kunnen beoordelen, en tevens daarmee de resultaten van de eerdere CBS-studie over de periode 2015-2017 te verifiëren.

De conclusies hebben dus geen betrekking op emissiearme staltypen die na 2020 zijn opgenomen in de Rav. Dit geldt ook voor stalsystemen die te weinig voorkwamen in de praktijk, bijvoorbeeld die met een voorlopige emissiefactor. Op basis van de analyses wordt t.a.v. de nauwkeurigheid van de NP-methode geconcludeerd dat met name voor staltypen met lage emissiefactoren het aantal bedrijven in de data groot genoeg is om het verwachte verschil in N-verlies ten opzichte van de referentiestal betrouwbaar aan te tonen. Dit is voor het merendeel van de staltypen in de melkvee- en leghennen-categorie het geval, en in mindere mate ook voor de vleeskuiken- en vleesvarken-categorie.

Met betrekking tot de effectiviteit van nieuwe staltypen in het reduceren van ammoniakemissie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Voor alle emissiearme staltypen in de melkveehouderij geldt dat in beide analyses (CBS- en KLW-dataset) het geschatte %N-verlies hoger is dan verwacht mag worden op basis van de bijbehorende Rav emissiefactor. In beide analyses is dit verschil voor ca. de helft van de staltypen statistisch significant. Beide analyses vertonen hetzelfde beeld, namelijk dat er geen duidelijke relatie is tussen de hoogte van de emissiefactor van staltypen en het bijbehorende geschatte %N-verlies. De conclusie is dat de nieuwe staltypen in de onderzochte periode geen evidente emissiereductie ten opzichte van de referentiestal A1.100 realiseren, ook niet wanneer bedrijfsspecifieke factoren meegenomen worden. De enige uitzondering hierop is de grupstal (A1.1) in de KLW-analyse waar het %N-verlies significant lager ligt dan het referentieniveau. Maar ook voor dit staltype wordt de verwachte reductie niet gerealiseerd.
- Mogelijke factoren van invloed op het ontbreken van emissiereductie in emissiearme melkveestallen zijn grotere loopoppervlaktes per dier in nieuwe stallen en het gebruik van dikke fractie mest als boxstrooisel. Het is echter niet aannemelijk dat deze factoren een doorslaggevende rol spelen. Eerder onderzoek van Bremmers et al. (2022) beschreef al dat de vloeren i.c.m. de schuiven niet lijken te werken zoals bedoeld en getest. Hierdoor blijven de vloeren onvoldoende schoon.
- De N-verliezen van emissiearme staltypen in de leghennen-sector tonen een significante emissiereductie ten opzichte van de referentiestal, maar hebben een significant groter N-verlies dan verwacht volgens de Rav emissiefactor. De behaalde reducties in N-verlies varieert van een kwart tot bijna de helft van wat verwacht wordt op basis van de emissiefactoren.
- In de vleeskuikensector is sprake van lagere N-verliezen dan bij de referentie-stal bij het merendeel van de staltypen waarbij dit voor één staltype (E5.11) ook statistisch significant is. De behaalde reductie ten opzichte van de referentiestal is echter ca. de helft of minder dan verwacht mag worden op basis van Rav emissiefactoren.
- De N-verliezen uit de vleesvarkensstallen zijn merendeels significant lager dan het referentieniveau en vertonen een neerwaartse trend met afnemende emissiefactor, maar ook hier zijn de N-verliezen, behalve bij D3.2.10.2, minder dan verwacht volgens de emissiefactoren
- Deze studie bevestigt de eerdere resultaten van de CBS-studie uitgevoerd op data voor de jaren 2015 t/m 2017. Over de gehele periode 2015-2020 is daarmee sprake van een consistent beeld, namelijk minder emissiereductie dan verwacht.

Deze studie laat zien dat het mogelijk is de effectiviteit van emissiearme stallen met de NP-methode op staltype-niveau zichtbaar te maken. Met deze methode zou de effectiviteit van nieuwe emissiearme technieken en emissiearme voermaatregelen gemonitord kunnen worden. Aanbevolen wordt om 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 feedback kan vervolgens gekeken worden welke acties nodig zijn om het functioneren van de emissiearme systemen te verbeteren.

Daarnaast wordt aanbevolen de mogelijkheden voor het monitoren van de effectiviteit van emissiearme voermaatregelen nader te verkennen. De systematiek van de Kringloopwijzer biedt hiervoor een goed vertrekpunt. Vergelijkingen tussen melkveebedrijven met de laagste en de hoogste emissie zouden nader bekeken kunnen worden om te achterhalen welke bedrijfsfactoren impact hebben. Daarbij ligt het ook voor de hand om te verkennen of deze methode, eventueel in combinatie met sensor-meting van emissies, op individueel bedrijfsniveau emissiearm management kan ondersteunen of kan bijdragen aan borging van de N-reductie.

Tenslotte wordt aanbevolen mogelijke oorzaken van tegenvallende emissiereducties in de praktijk te onderzoeken en waar mogelijk op te lossen. Het betreft hier met name in de melkveehouderij het effect van grote loopoppervlaktes in emissiearme stallen, het gebruik van dikke fracties van gescheiden mest als boxstrooisel en mestmanagement in het algemeen. In de pluimveehouderij is aandacht nodig voor mogelijk extra N-verliezen uit buiten de stal opgeslagen mest door geforceerde nadroging of broei.

# Literatuur


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.

Broekhoven, G., and H. Savenije. 2012. Moving forward with forest governance, ETFRN news; issue no. 53. Wageningen: Tropenbos International.

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.

Bruggen, C. van, 2020. Dierlijke mest en mineralen 2020. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen.

Fernandes, Alvaro A. A., Alasdair J. G. Gray, and Khalid Belhajjame. 2011. Advances in Databases : [2]8th British National Conference on Databases, BNCOD 28, Manchester, UK, July 12-14, 2011, Revised Selected Papers. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Graaf, L. de, 2012. "Communication about medications for better patient transition. Needed: Format for switching." Pharmaceutisch Weekblad no. 147 (8):14-15.

Groenestein, C.M., Bikker, P., Hoeksma, P., Zom, R. L. G., & van Bruggen, C. 2014. Excretieforfaits van mest: verschillen tussen berekende en gemeten N/P2O5 ratio's in mest. (Rapport / Wageningen UR Livestock Research; rapport. 748. Wageningen UR Livestock Research. https://edepot.wur.nl/330481

Neysari, P., De Vries J.W., Ogink N.W.M., Amon B. & Groot Koerkamp, P.W.G. 2023. Reviewing the N-gap in livestock manure systems: Direct and indirect methods for measuring N losses and perspectives for quantifying N2 emission. Biosystems Engineering, Vol. 229, p. 179-199.

Oenema, O., Velthof, G. L., Verdoes, N., P. W. G. Monteny, G. J. G. K., Bannink, A., van der Meer, H. G., & van der Hoek, K. W. 2000. Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen Wageningen UR, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 107.

Ogink, N.W.M., Groenestein, C.M. & Mosquera, J. 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Rapport 744. Wageningen Livestock Research.

RVO, 2021. Mestbeleid 2019-2021: Tabel 11. Normen en mestcodes aanvoer en afvoer (dierlijke) mest. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/06/Tabel-11-Normen-en-mestcodes-aanvoer-afvoer-dierlijke-mest-2019-2021.pdf benaderd januari 2023.

Schep, C.A. , Dooren, H.J.C. van , Mosquera, J. , Well, E.A.P. van , Keuskamp, J.A. , Ogink, N.W.M. 2022. Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen : Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Wageningen Livestock Research Rapport 1388.

Schoumans, O., Willems, J., & Duinhoven, G. van. 2008. 30 Vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu (Ser. Alterra-rapport). Alterra. Benaderd, jan. 2022,http://edepot.wur.nl/4399.

Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen & Huijsmans, J.F.M. 2012. A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. Atmospheric Environment 46, 248-255

VSN International, 2022. Genstat for Windows 22nd Edition. VSN International, Hemel Hempstead, United Kingdom. www.genstat.co.uk. WUM, 2023. Werkgroep Uniformering berekening Mest- en mineralencijfers. https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-lnv/soorten-onderzoek/kennisonline/excretie-verbetering-modellen.htm Benaderd, januari 2023.

# Bijlage 1 Toelichting samenstelling CBS-databestand

Deze bijlage licht de samenstelling toe van de door CBS aangeleverde databestanden met mestanalyses die afkomstig zijn uit de jaren 2017 tot en met 2020. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Vervoersbewijzen Dierlijke Mest (VDM) die in het kader van de Meststoffenwet in principe voor elk mesttransport moeten worden ingevuld en opgestuurd naar de Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO). In de vervoersbewijzen staan gegevens over de soort mest die is getransporteerd (mestcode), de hoeveelheid mest en de hoeveelheden stikstof en fosfaat. Deze informatie is gekoppeld aan beschikbare informatie over aanwezige stallen afkomstig uit de Gecombineerde Opgave (GO). DE GO is een jaarlijkse opgave voor agrarisch ondernemers waarin gegevens zijn opgenomen voor de Landbouwtelling en de mestwetgeving. De door CBS aangeleverde csv-bestanden bevat per mesttransport de gegevens over het staltype, de mestafvoer en enkele gegevens over de voersamenstelling van landbouwbedrijven.

**Recordbeschrijving**

Jaar
Jaartal waarop de gegevens betrekking hebben.

Bedrijfsnr
Geanonimiseerd relatienummer.

Mestcode
Mestcode van de afgevoerde mest. Aangezien niet alle mestcodes relevant zijn in relatie tot staltypen, zijn alleen de mestcodes 14 (rundveedrijfmest), 32 t/m 39 (kippenmest), 46 (fokvarkensdrijfmest) en 50 (vleesvarkensdrijfmest) geselecteerd.

Datum
Datum van het mesttransport. Het komt voor dat een mestanalyse toegepast wordt op meerdere mesttransporten die niet allemaal op dezelfde dag plaatsvinden maar met 1 à 2 dagen verschil. In dat geval is één van de data gekozen.

N_labwaarde
N-gehalte van het mestmonster.

P_labwaarde
P2O5-gehalte van het mestmonster.

NPmest
Verhouding tussen N en P2O5 van het mestmonster.

NPexcretie
Verhouding tussen N en P2O5 van de excretie in de stal.

Nverlies
N-verlies als percentage: (NPexcretie – NPmest) * 100 / NPexcretie.

Code_laboratorium
Code voor het laboratorium mbt het mestmonster.

Bedrijfstype
Code voor het bedrijfstype.

GVEperhectare
Het aantal GVE per ha geeft aan in welke mate er ruimte is voor de toepassing van geproduceerde mest op het eigen bedrijf. Een vuistregel die in het verleden is gehanteerd is dat een bedrijf als grondloos kan worden beschouwd bij 15 GVE per hectare of meer. Grondloze bedrijven moeten in principe alle mest afvoeren.

Staltype
Code voor het stalsysteem volgens de indeling van de Rav. Niet alle stalcodes zijn relevant voor dit onderzoek. De selectie is beperkt tot stallen van het hoofdtype A1 (melkkoeien en jongvee), D1 (fokvarkens), D3 (opfokzeugen en opfokberen en vleesvarkens), E1 (opfokhennen en –hanen van legrassen), E2 (leghennen en –hanen van legrassen), E3 (ouderdieren van vleesrassen in opfok), E4 (ouderdieren van vleesrassen legperiode) en E5 (vleeskuikens).

Add_techniek_pluimvee
Als er bij pluimvee sprake is van een additionele techniek voor mestbewerking of mestopslag (Rav: E6.x) dan staat in dit veld een 1.

Diercategorie_stal
Eerste twee posities van de Rav-code (A1, D1 etc) voor het staltype die aangeven voor welke diercategorie de stal bestemd is.

Nstaltypen_diercategorie
Het aantal verschillende staltypen voor een diercategorie binnen een bedrijf, bijvoorbeeld A115 en A1100. Als een bedrijf meerdere staltypen heeft, is niet bekend uit welke stal de mest is afgevoerd.
In de huidige selectie zijn alleen bedrijven geselecteerd met één staltype per diercategorie.
Afhankelijk van het opgegeven aantal dieren per stal, zou dit verruimd kunnen worden. Bijvoorbeeld als er 10 dieren zijn in A115 en 150 dieren in A1100 zou ervoor gekozen kunnen worden om het bedrijf mee te nemen in de analyse met staltype A1100 (A1100 > 90%).

Aandeel_stalbezetting
Geeft het aandeel van de stalbezetting van een staltype ten opzichte van het totaal van alle stallen voor een diercategorie bij een bedrijf. In het voorbeeld van A115 (10 dieren) en A1100 (150 dieren) is aandeel_stalbezetting voor A115 6,25% en voor A1100 93,75%.

Regio
Regio noordwest (1) of zuidoost (2) waarin het bedrijf gelegen is. Voor staldieren is er geen regio ingevuld omdat dit niet relevant is.

Aankoop_vochtrijkvoer
Is 1 als een bedrijf ook vochtrijk voor of ruwvoer aankoopt. In dat geval is de gemiddelde voersamenstelling niet exact te bepalen.

Nrundvee_krachtvoer
N-gehalte van het droge krachtvoer voor rundvee.

Prundvee_krachtvoer
P-gehalte van het droge krachtvoer voor rundvee.

NPrundvee_krachtvoer
NP-verhouding droog krachtvoer voor rundvee.

Nvarkens_krachtvoer
N-gehalte van het droge krachtvoer voor varkens.

Pvarkens_krachtvoer
P-gehalte van het droge krachtvoer voor varkens.

NPvarkens_krachtvoer
NP-verhouding droog krachtvoer voor varkens.

Nkippen_krachtvoer
N-gehalte van het droge krachtvoer voor kippen.

Pkippen_krachtvoer
P-gehalte van het droge krachtvoer voor kippen.

NPkippen_krachtvoer
NP-verhouding krachtvoer voor kippen.

**Globale beschrijving van de werkwijze**

Uit de gegevens van de Gecombineerde Opgave (landbouwtelling, opgave huisvesting) zijn de bedrijven geselecteerd met stallen voor de diergroepen A1, D1, D3, E1, E2, E3, E4 en E5. Bedrijven met meer dan één staltype per diergroep zijn uit de selectie verwijderd omdat in dat geval niet bekend is uit welke stal de mest is afgevoerd.

De gegevens over het geleverde droge krachtvoer zijn uit de voerjaargegevens geselecteerd volgens de methode die ook voor de WUM-berekeningen worden toegepast. Samengevat komt het erop neer dat onvolledige en onwaarschijnlijke gegevens over voerleveringen worden verwijderd. Daarbij wordt ook gekeken naar de gehalten N en P van het geleverde voer om leveringen van vochtrijk voer en ruwvoer uit te sluiten omdat in dat geval door het ontbreken van het droge stofgehalte geen voersamenstelling is te berekenen. De voergegevens zijn vervolgens toegevoegd aan de gegevens over het staltype.

Een mestmonster mag soms worden toegepast op meerdere messttransporten van een bedrijf, bijvoorbeeld als meerdere transporten op dezelfde dag plaatsvinden. De messttransporten zijn daarom eerst geaggregeerd per mestmonster zodat een analyse maar één keer meetelt. De gegevens over het staltype en de voersamenstelling zijn vervolgens aan de messttransporten toegevoegd.

Bij A1-stallen is onderscheid gemaakt tussen de i) totale bezetting, ii) de bezetting met melkkoeien, iii) de bezetting met jongvee en iv) de bezetting met ander rundvee. De berekening van de N/P-verhouding van de excretie in de stal verloopt als volgt:

- Als er alleen melkkoeien in de stal staan, wordt de N/P-verhouding van de excretie berekend uit de N-excretie van melkkoeien in de stal gedeeld door de P-excretie in de stal in de betreffende regio.
- Als er alleen jongvee in de stal staat, wordt de N/P-verhouding van de excretie berekend uit de gewogen gemiddelde N-excretie in de stal van jongvee jonger dan 1 jaar en van jongvee van 1 jaar en ouder, gedeeld door de gewogen gemiddelde P-excretie in de stal in de betreffende regio. De wegingsfactoren zijn het aantal dieren van elke categorie in de landbouwtelling.
- Als melkkoeien en jongvee samen de totale bezetting vormen dan is een gewogen gemiddelde N/P-verhouding berekend. De wegingsfactoren zijn het aantal dieren van elke categorie in de landbouwtelling.
- Als er ook ander rundvee in de stal zit, is er ook een gewogen gemiddelde N/P-verhouding berekend. De wegingsfactoren zijn het aantal dieren van elke categorie in de landbouwtelling.
- Als er geen N/P-verhouding kan worden berekend omdat er geen gegevens uit de landbouwtelling zijn, dan wordt er een gewogen gemiddelde NP-verhouding berekend op basis van de gemiddelde bezetting met melkkoeien en jongvee volgens de opgave huisvesting. De excretiefactoren van jongvee jonger dan 1 jaar en jongvee van 1 jaar en ouder worden dan gemiddeld.

Als er geen N/P-verhouding kan worden berekend omdat er geen gegevens uit de landbouwtelling zijn en er is geen stalbezetting ingevuld in de opgave huisvesting, dan wordt het record uit de selectie verwijderd.

Bij stallen van het type D1 wordt de NP-verhouding van de excretie berekend als gewogen gemiddelde van de excretiefactoren van zeugen inclusief biggen en dekberen. De wegingsfactoren zijn het aantal dieren van elke categorie in de landbouwtelling.

Bij stallen van het type D3 wordt de NP-verhouding van de excretie berekend als gewogen gemiddelde van de excretiefactoren van opfokzeugen, opfokberen en vleesvarkens. De wegingsfactoren zijn het aantal dieren van elke categorie in de landbouwtelling.

Bij stallen van het type E1 t/m E5 wordt de NP-verhouding berekend uit de excretiefactoren van de diercategorieën waarvoor deze staltypen bedoeld zijn.

Bedrijven waarbij de mestcode van de afgevoerde mest niet overeenstemt met het staltype worden verwijderd, bijvoorbeeld afvoer van vleesvarkensmest uit een A1-stal.

Ten slotte wordt het aantal bedrijven per staltype geteld. bij minimaal vijf bedrijven per staltype per jaar wordt het bedrijf in de selectie opgenomen.

Er zijn drie databronnen die op basis van het bedrijfsnummer moeten worden gekoppeld. Door veranderingen in registerdata lukt dat niet altijd. Het is dus niet altijd mogelijk om aan het staltype van een bedrijf gegevens van de landbouwtelling te koppelen of gegevens van mesttransporten.

# Bijlage 2 Emissiefactoren en beschrijving stalsystemen (bijlage 1 RAV)

| Rav-code | Huisvestingssysteem per categorie | Emissie in kg $NH_3$ per dierplaats per jaar |
|---|---|---|
| ***HOOFDCATEGORIE A: RUNDVEE*** | | |
| ***A 1*** | ***diercategorie melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar*** | |
| A 1.1 | grupstal met drijfmest, emitterend mestoppervlak van grup en kelder max. 1,2 $m^2$ per koe | 5,7 |
| A 1.2 | loopstal met hellende vloer en giergoot of met roostervloer; beide met spoelsysteem | 10,2 |
| A 1.3 | loopstal met hellende vloer en giergoot; max. 3 $m^2$ mestbesmeurd oppervlak per koe | 10,2 |
| A 1.4 | loopstal met hellende vloer en spoelsysteem; max. 3,75 $m^2$ mestbesmeurd oppervlak per koe | 9,2 |
| A 1.5 | ligboxenstal met sleufvloer en mestschuif | 11,8 |
| A 1.6 | ligboxenstal met dichte hellende vloer, met profilering, met snelle gierafvoer met mestschuif | 11 |
| A 1.7 | ligboxenstal met dichte hellende vloer, met rubbertoplaag, met snelle gierafvoer met mestschuif | 11 |
| A 1.8 | ligboxenstal met sleufvloer met noppen en mestschuif | 11,8 |
| A 1.9 | ligboxenstal met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten, met mestschuif | 6 |
| A 1.10 | ligboxenstal met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag, met mestschuif | 7 |
| A 1.11 | ligboxenstal met geprofileerde vlakke vloer met hellende sleuven, regelmatige mestafstorten en met een mestschuif | 11,8 |
| A 1.12 | ligboxenstal met geprofileerde vlakke vloer met hellende sleuven, regelmatige mestafstorten en mestschuif | 12,2 |
| A 1.13 | ligboxenstal met roostervloer voorzien van cassettes in de roosterspleten en mestschuif | 7 |
| A 1.14 | ligboxenstal met geprofileerde vlakke vloer met hellende sleuven, regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif | 7 |
| A 1.15 | ligboxenstal met geprofileerde vlakke vloer met hellende sleuven, regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtkleppen en met mestschuif | 10,3 |
| A 1.16 | ligboxenstal met V-vormige vloer van gietasfalt in combinatie met een gierafvoerbuis en met mestschuif | 11,7 |
| A 1.17 | mechanisch geventileerde stal met een chemisch luchtwassysteem | 5,1 |
| A 1.18 | ligboxenstal met V-vormige vloer van geprofileerde vloerelementen in combinatie met een gierafvoerbuis en met mestschuif | 8 |
| A 1.19 | ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd, voorzien van afdichtkleppen in de roosterspleten en met mestschuif | 11 |
| A 1.20 | Ligboxenstal met vloer voorzien van perforaties en hellende profilering en mestschuif | 10,1 |
| A 1.21 | ligboxenstal met vlakke vloerplaten met tegelprofiel, hellende sleuven en regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen of -kleppen en mestschuif | 7 |

| | | |
|---|---|---|
| A 1.22 | ligboxenstal met sleufvloer en mestschuif en in de doorsteken, wachtruimte en doorlopen een roostervloer met bolle rubber toplaag voorzien van afdichtflappen in de roosterspleten | 11 |
| A 1.23 | ligboxenstal met geprofileerde vloerplaten met sterk hellende langssleuven met urineafvoergat en hellende dwarsgroeven, aaneengesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtkleppen, met mestschuif | 6 |
| A 1.24 | ligboxenstal met vloer met sterk hellende langssleuven, de vloerplaten aaneengesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtkleppen, met mestschuif | 7 |
| A 1.25 | ligboxenstal met vlakke vloer, voorzien van geprofileerde rubber matten met een hellend profiel naar regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen en mestschuif | 10,3 |
| A 1.26 | ligboxenstal met hellende V-vormige vloer, voorzien van geprofileerde rubber matten, met centrale giergoot en mestschuif | 8 |
| A 1.27 | ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd, voorzien van afdichtkleppen in de roosterspleten, met mestschuif en vernevelsysteem | 8 |
| A 1.28 | ligboxenstal met roostervloer, voorzien van een rubber toplaag en bevestigingsnokken met een geprofileerd oppervlak, kunststof kleppen in de roosterspleten en met mestschuif | 6 |
| A 1.29 | ligboxenstal met geprofileerde hellende vloer met holtes voor gieropvang en -afvoer aan de zijkant en met mestschuif | 9,9 |
| A 1.30 | ligboxenstal met roostervloer voorzien van bolle rubber matten, met mestschuif | 8 |
| A 1.31 | ligboxenstal met sleufvloer met dichte hellende vloer met geprofileerde rubber tegels, met mestschuif | 8,1 |
| A 1.32 | ligboxenstal met vlakke betonnen vloerplaten met sleuven, voorzien van profiel met 1% hellende groeven richting een centrale giergoot met giergaten en mestverwijdering | 9,1 |
| A 1.33 | ligboxenstal met vlakke vloer voorzien van rubberen sleufvloer, met 3% hellende langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met mestschuif | 7,1 |
| A 1.34 | ligboxenstal met dichte gegroefde vloer met rubber matten met een hellend profiel, aangebrachte composietnokken, met vingermestschuif | 9,0 |
| A 1.35 | ligboxenstal met vlakke vloer voorzien van rubberen sleufvloer, met vlakke langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met vingermestschuif | 8,3 |
| A 1.36 | ligboxenstal met urine-opvangstation | 8,4 |
| A 1.37 | Ligboxenstal met een indrukbare drainerende loopvloer voorzien van een mestschuif, de urine en mest worden direct gescheiden en apart opgeslagen. | 6,4 |
| A 1.38 | Ligboxenstal voorzien van geprofileerde rubberen oplegmatten met ruitprofiel onder 2% afschot naar een centrale giergoot en frequente mestverwijdering met vaste mestschuif | 8,9 |
| A 1.39 | Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een roostervloer voorzien van inlays met urineafvoergaatjes in de roosterspleten, frequent bevochtigen en schoonzuigen van de vloer door een mestverzamelrobot en een mechanische kelderluchtafzuiging met een chemisch luchtwassysteem (95% emissiereductie) | 3 |
| A 1.40 | Ligboxenstal met V-vormige vloer van geprofileerde vloerelementen in een helling van 3,5% in combinatie met een gierafvoerbuis en mestschuif | 6,2 |
| A 1.100 | overige huisvestingssystemen | 13 |
| | | |

| ***HOOFDCATEGORIE D: VARKENS*** | | |
|---|---|---|
| ***D 3*** | ***diercategorie vleesvarkens, opfokberen van circa 25 kg tot 7 maanden, opfokzeugen van circa 25 kg tot eerste dekking*** | |
| D 3.1 | volledig roostervloer | 4,5 |
| D 3.2 | gedeeltelijk roostervloer | |
| D 3.2.1 | gehele dierplaats onderkelderd zonder stankafsluiter | 4,5 |
| D 3.2.2 | mestopvang in en spoelen met NH3-arme vloeistof (inclusief aanzuren) | 1,6 |
| D 3.2.3 | koeldeksysteem met metalen driekantroostervloer (170% koeloppervlak) | |
| D 3.2.3.2 | emitterend oppervlak mestkanaal groter dan 0,5 $m^2$, maar maximaal 0,67 $m^2$ per dierplaats | 1,7 |
| D 3.2.3.3 | emitterend oppervlak mestkanaal maximaal 0,5 $m^2$ per dierplaats | 1,4 |
| D 3.2.4 | mestopvang in met formaldehyde behandelde mestvloeistof in combinatie met metalen driekantroostervloer | 1 |
| D 3.2.5 | mestopvang in water in combinatie met metalen driekant roostervloer | 1,3 |
| D 3.2.6 | koeldeksysteem (200% koeloppervlak) | |
| D 3.2.6.1 | met metalen roostervloer | |
| D 3.2.6.1.1 | emitterend mestoppervlak maximaal 0,8 $m^2$ per varken | 1,5 |
| D 3.2.6.1.2 | emitterend mestoppervlak maximaal 0,5 $m^2$ | 1,2 |
| D 3.2.6.2 | met roostervloer anders dan metaal | |
| D 3.2.6.2.1 | emitterend mestoppervlak maximaal 0,6 $m^2$ per varken | 1,6 |
| D 3.2.6.2.2 | emitterend mestoppervlak groter dan 0,6 $m^2$, doch kleiner dan 0,8 $m^2$ per varken | 2,4 |
| D 3.2.7 | mestkelders met (water- en) mestkanaal; mestkanaal met schuine putwand | |
| D 3.2.7.1 | met metalen driekantroosters op het mestkanaal | |
| D 3.2.7.1.1 | emitterend mestoppervlak maximaal 0,18 $m^2$ per varken | 1 |
| D 3.2.7.1.2 | emitterend mestoppervlak groter dan 0,18 $m^2$, maar kleiner dan 0,27 $m^2$ per varken | 1,4 |
| D 3.2.7.2 | met roosters anders dan metalen driekant op het mestkanaal | |
| D 3.2.7.2.1 | emitterend mestoppervlak maximaal 0,18 $m^2$ per varken | 1,5 |
| D 3.2.7.2.2 | emitterend mestoppervlak groter dan 0,18 $m^2$, maar kleiner dan 0,27 $m^2$ per varken | 1,9 |
| D 3.2.8 | biologisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,9 |
| D 3.2.9 | chemisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,9 |
| D 3.2.10 | bollevloerhok met betonnen morsrooster en metalen driekantrooster | |
| D 3.2.10.1 | emitterend mestoppervlak maximaal 0,22 $m^2$ per varken | 1,4 |
| D 3.2.10.2 | emitterend mestoppervlak maximaal 0,33 $m^2$ per varken | 2 |
| D 3.2.11 | hok met gescheiden mestkanalen | 1,7 |
| D 3.2.12 | spoelgotensysteem met metalen driekantroosters | 1,2 |
| D 3.2.13 | spoelgotensysteem met roosters | 1,7 |
| D 3.2.14 | chemisch luchtwassysteem 95% emissiereductie | 0,15 |
| D 3.2.15 | luchtwassystemen anders dan biologisch of chemisch | |
| D 3.2.15.1 | gecombineerd luchtwassysteem 85% emissiereductie met chemische wasser (lamellenfilter) en waterwasser | 0,45 |

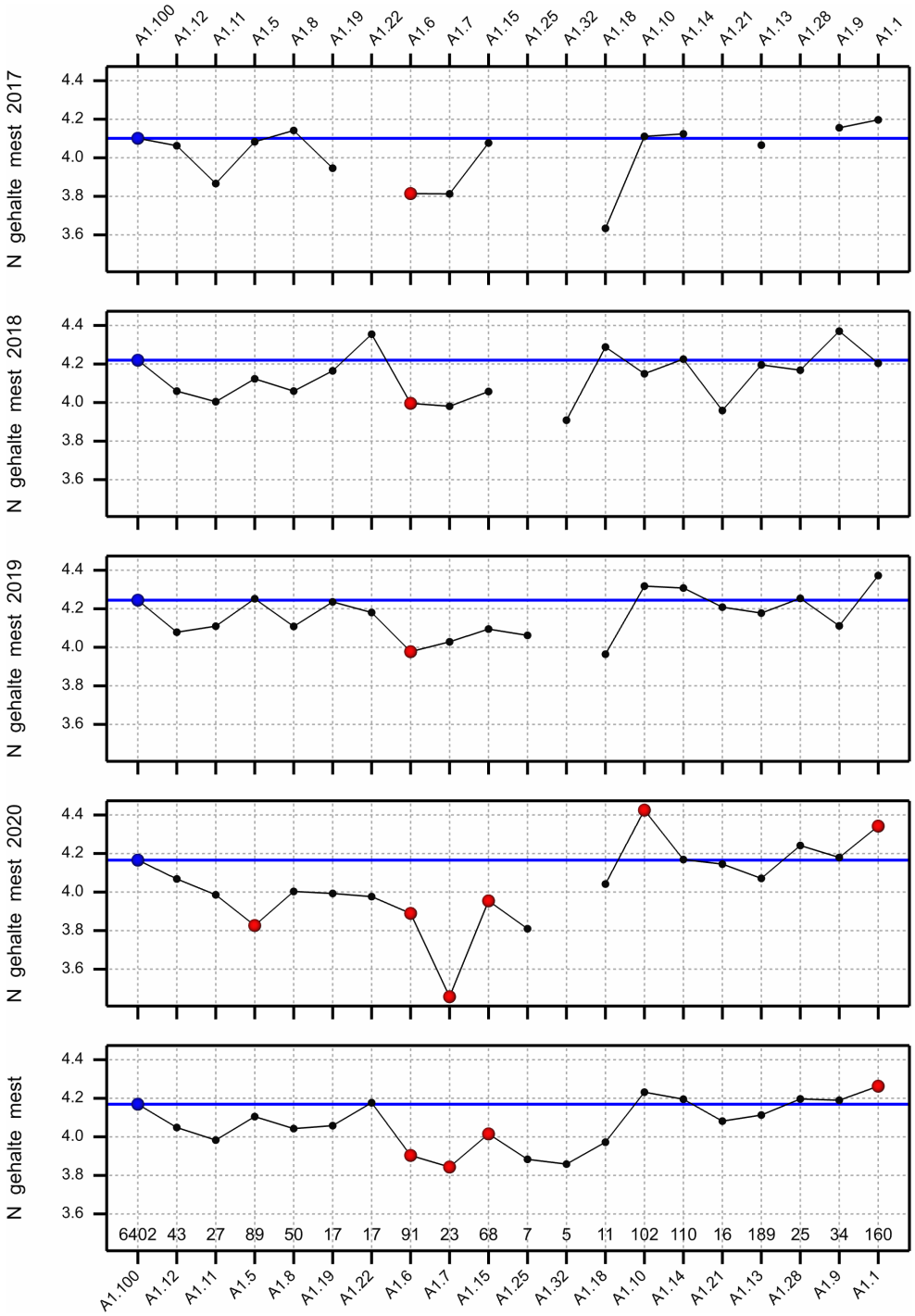
| | | |
|---|---|---|
| D 3.2.15.2 | gecombineerd luchtwassysteem 70% emissiereductie met waterwasser, chemische wasser en biofilter | 0,9 |
| D 3.2.15.3 | gecombineerd luchtwassysteem 85% emissiereductie met waterwasser, chemische wasser en biofilter | 0,45 |
| D 3.2.15.4 | gecombineerd luchtwassysteem 85% emissiereductie met watergordijn en biologische wasser | 0,45 |
| D 3.2.15.5 | gecombineerd luchtwassysteem 85% emissiereductie met waterwasser, biologische wasser en geurverwijderingssectie | 0,45 |
| D 3.2.15.6 | gecombineerd luchtwassysteem 90% emissiereductie met een biologische en een chemische wasser en een biofilter | 0,3 |
| D 3.2.16 | gescheiden afvoer van mest en urine door middel van een V-vormige mestband in het mestkanaal met metalen driekant roosters op het mestkanaal | 1,1 |
| D 3.2.17 | biologisch luchtwassysteem 85% emissiereductie | 0,45 |
| D 3.2.18 | chemisch luchtwassysteem 90% emissiereductie | 0,3 |
| D 3.2.19 | hok met mestkelders met water- en mestkanaal, voerbak en watervoorziening boven het waterkanaal, mestkanaal met metalen driekant roostervloer, mestgoot met schuine putwanden, koelsysteem en watervul-/spoelsysteem, dagelijkse mestafvoer en een emitterend mestoppervlak van maximaal 0,08 $m^2$ per varken | 0,77 |
| D 3.2.20 | Biofilter, 70% ammoniakemissiereductie | 0,9 |
| D 3.3 | scharrel vleesvarkens | |
| D 3.3.1 | beddenstal met maximaal 0,14 $m^2$ emitterend mestoppervlak per dier tot 50 kg levend gewicht en met maximaal 0,29 $m^2$ emitterend mestoppervlak per dier vanaf 50 kg levend gewicht | 1,9 |
| D 3.3.2 | overige huisvestingssystemen scharrel vleesvarkens | 3 |
| D 3.100 | overige huisvestingssystemen | 3 |
| | | |
| ***HOOFDCATEGORIE E: KIPPEN*** | | |
| | | |
| ***E 2*** | ***diercategorie legkippen en (groot-) ouderdieren van legrassen*** | |
| E 2.1 | open mestopslag onder de batterij al dan niet voorzien van een mestschuif (flat-deck-kooien, trapkooien of compactkooien voor natte mest) | 0,1 |
| E 2.2 | mestbandbatterij voor natte mest met afvoer naar een gesloten opslag (minimaal 2 maal per week ontmesten) | 0,042 |
| E 2.3 | compactbatterij waarvan de natte mest 2 maal daags door middel van mestschuiven en een centrale mestband afgevoerd wordt naar een gesloten opslag | 0,024 |
| E 2.4 | batterij met geforceerde mestdroging (deeppitstal of highrisestal, kanalenstal) | 0,463 |
| E 2.5 | mestbandbatterij met geforceerde mestdroging | |
| E 2.5.1 | mestbandbatterij voor droge mest met geforceerde mestdroging | 0,042 |
| E 2.5.2 | mestbandbatterij met geforceerde mestdroging, belucht met 0,7 $m^3$lucht per dier per uur. Mestafdraaien per vijf dagen; de mest heeft dan een droge stofgehalte van minimaal 55% | 0,012 |
| E 2.5.3 | batterijhuisvesting volgens categorie E 2.5.1 met chemisch luchtwassysteem met 90% emissiereductie | 0,004 |
| E 2.5.4 | batterijhuisvesting volgens categorie E 2.5.2 met chemisch luchtwassysteem met 90% emissiereductie | 0,001 |
| E 2.5.5 | verrijkte kooien met mestbandbeluchting (0,7 $m^3$ per dier per uur) | 0,03 |

| | | |
|---|---|---|
| E 2.5.6 | koloniehuisvesting met mestbandbeluchting (0,7 $m^3$ per dier per uur) | 0,03 |
| E 2.6 | batterijsysteem met mestbandbeluchting en bovenliggende droogtunnel | 0,018 |
| E 2.7 | grondhuisvesting van legrassen (circa 1/3 strooiselvloer en circa 2/3 roostervloer) | 0,402 |
| E 2.8 | grondhuisvesting met beluchting onder gedeeltelijk verhoogde roostervloer (perfosysteem) | 0,11 |
| E 2.9 | grondhuisvesting met mestbeluchting via buizen | |
| E 2.9.1 | grondhuisvesting met mestbeluchting via buizen onder de beun | 0,125 |
| E 2.9.2 | grondhuisvesting met enkele buis onder de beun aan weerszijden van het legnest | 0,15 |
| E 2.9.3 | grondhuisvesting met mestbeluchting door middel van verticale ventilatiekokers | 0,15 |
| E 2.10 | chemisch luchtwassysteem 90% emissiereductie | 0,032 |
| E 2.11 | volièrehuisvesting | |
| E 2.11.1 | minimaal 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages. | 0,09 |
| E 2.11.2 | 45–55% van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met beluchting. Mestbanden minimaal tweemaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages. | |
| E 2.11.2.1 | beluchtingcapaciteit minimaal 0,2 $m^3$ per dier per uur | 0,055 |
| E 2.11.2.2 | beluchtingcapaciteit minimaal 0,5 $m^3$ per dier per uur | 0,042 |
| E 2.11.3 | 30–35% van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met 0,7 $m^3$ per dier per uur mestbeluchting. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages. | 0,025 |
| E 2.11.4 | 55–60% van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met 0,7 $m^3$ per dier per uur mestbeluchting. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages. | 0,037 |
| E 2.12 | Scharrelhuisvesting | |
| E 2.12.1 | scharrelstal in twee verdiepingen met mestbanden onder de roosters (twee maal per week afdraaien), bezetting 9 dieren per $m^2$ | 0,068 |
| E 2.12.2 | scharrelhuisvesting met frequente mest- en strooiselverwijdering | 0,106 |
| E 2.13 | biologisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,095 |
| E 2.14 | biofilter,70% emissiereductie | 0,095 |
| E 2.15 | chemisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,095 |
| E 2.16 | chemisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,095 |
| E 2.100 | overige huisvestingssystemen niet-batterijhuisvesting | 0,315 |
| E 2.101 | overige huisvestingssystemen batterijhuisvesting | 0,1 |
| | | |
| ***E 5*** | ***diercategorie vleeskuikens*** | |
| E 5.1 | zwevende vloer met strooiseldroging | 0,004 |
| E 5.2 | geperforeerde vloer met strooiseldroging | 0,012 |
| E 5.3 | etagesysteem met volledige roostervloer en mestbandbeluchting | 0,004 |
| E 5.4 | chemisch luchtwassysteem 90% emissiereductie | 0,007 |
| E 5.5 | grondhuisvesting met vloerverwarming en vloerkoeling | 0,038 |
| E 5.6 | stal met mixluchtventilatie | 0,031 |

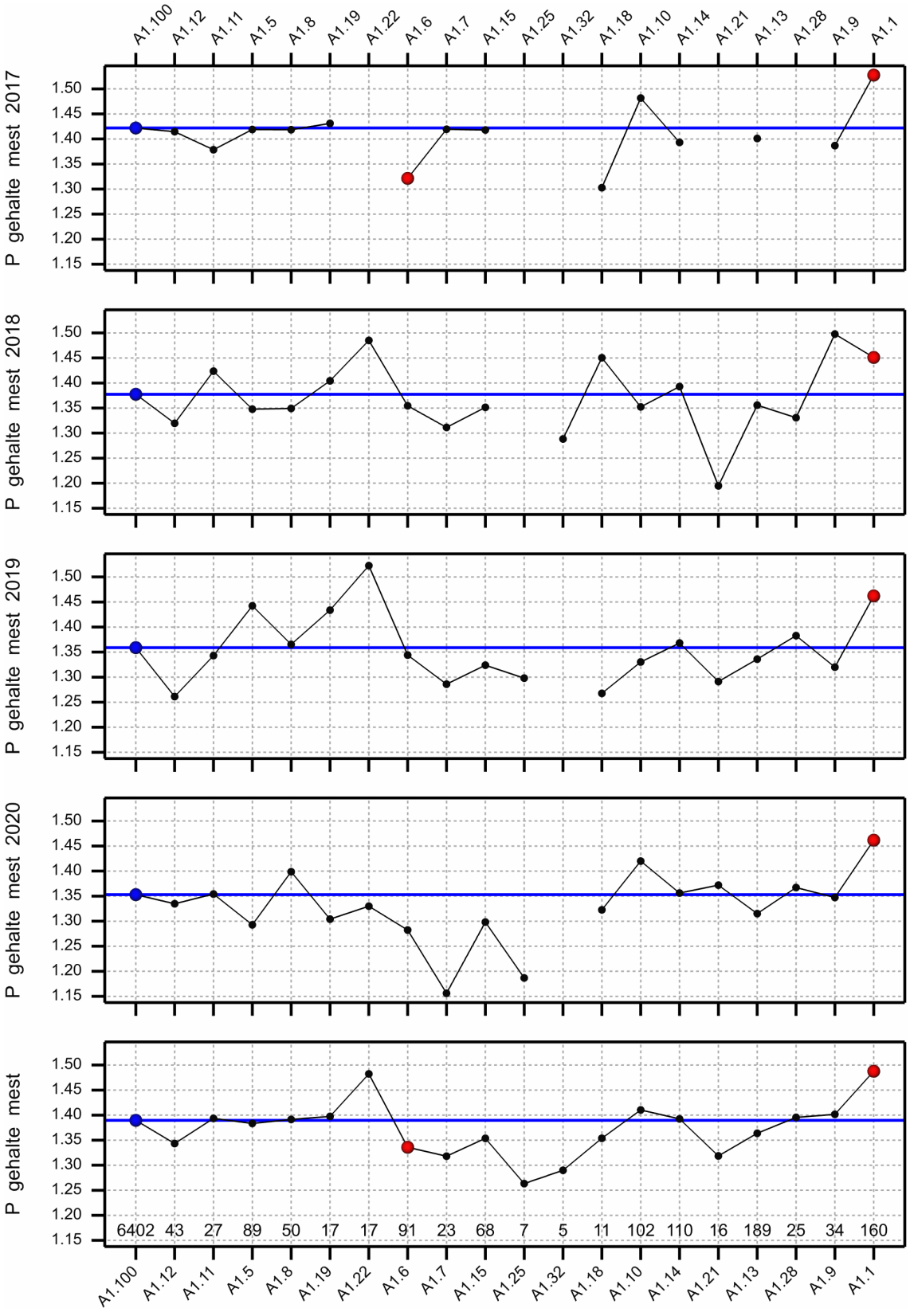
| | | |
|---|---|---|
| E 5.7 | biologisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,020 |
| E 5.8 | etagesysteem met mestband en strooiseldroging | 0,017 |
| E 5.9 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens in stal met aparte vervolghuisvesting | |
| E 5.9.1 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens in stal met vervolghuisvesting | |
| E 5.9.1.1 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting | |
| E 5.9.1.1.1 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.5 (grondhuisvesting met vloerverwarming en vloerkoeling) | 0,034 |
| E 5.9.1.1.2 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.6 (stal met mixluchtventilatie) | 0,028 |
| E 5.9.1.1.3 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.8 (etagesysteem met mestband en strooiseldroging) | 0,015 |
| E 5.9.1.1.4 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.10 (stal met verwarmingssysteem met warmteheaters en ventilatoren) | 0,031 |
| E 5.9.1.1.5 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.11 (vleeskuikenstal met luchtmengsysteem voor droging strooisellaag in combinatie met een warmtewisselaar) | 0,019 |
| E 5.9.1.1.6 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.15 (vleeskuikenstal met buizenverwarming) | 0,021 |
| E 5.9.1.1.100 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 13 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.100 (overige huisvestingsystemen) | 0,060 |
| E 5.9.1.2 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting | |
| E 5.9.1.2.1 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.5 (grondhuisvesting met vloerverwarming en vloerkoeling) | 0,032 |
| E 5.9.1.2.2 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.6 (stal met mixluchtventilatie) | 0,028 |
| E 5.9.1.2.3 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.8 (etagesysteem met mestband en strooiseldroging) | 0,013 |
| E 5.9.1.2.4 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.10 (stal met verwarmingssysteem met warmteheaters en ventilatoren) | 0,03 |
| E 5.9.1.2.5 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.11 (vleeskuikenstal met luchtmengsysteem voor droging strooisellaag in combinatie met een warmtewisselaar) | 0,019 |
| E 5.9.1.2.6 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.15 (vleeskuikenstal met buizenverwarming) | 0,021 |
| E 5.9.1.2.100 | uitbroeden eieren en opfokken vleeskuikens tot 19 dagen in stal en vervolghuisvesting in E 5.100 (overige huisvestingsystemen) | 0,052 |
| E 5.10 | stal met verwarmingssysteem met warmteheaters en ventilatoren | 0,035 |
| E 5.11 | stal met luchtmengsysteem voor droging strooisellaag in combinatie met een warmtewisselaar | 0,021 |
| E 5.12 | biofilter, 70% emissiereductie | 0,020 |
| E 5.13 | chemisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,020 |
| E 5.14 | stal met warmteheaters met luchtmengsysteem voor droging strooisellaag | 0,035 |
| E 5.15 | stal met buizenverwarming | 0,021 |
| E 5.16 | chemisch luchtwassysteem 70% emissiereductie | 0,020 |
| E 5.100 | overige huisvestingssystemen | 0,068 |

# Bijlage 3 CBS-dataset: aanvullende analyses

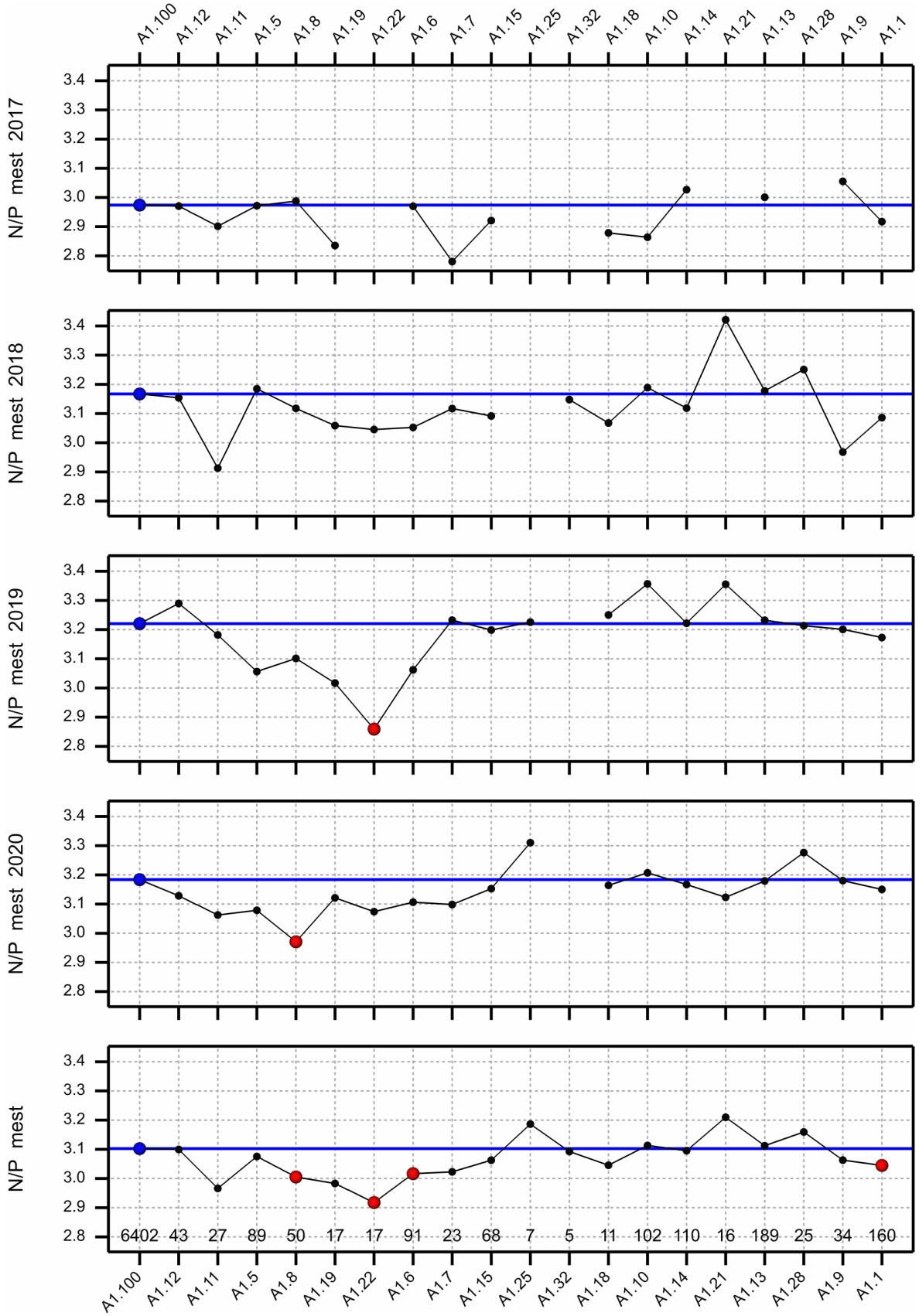
Aanvullende analyses voor N- en P-gehalten, N/P-verhouding en %N-verlies: Melkvee CBS-dataset



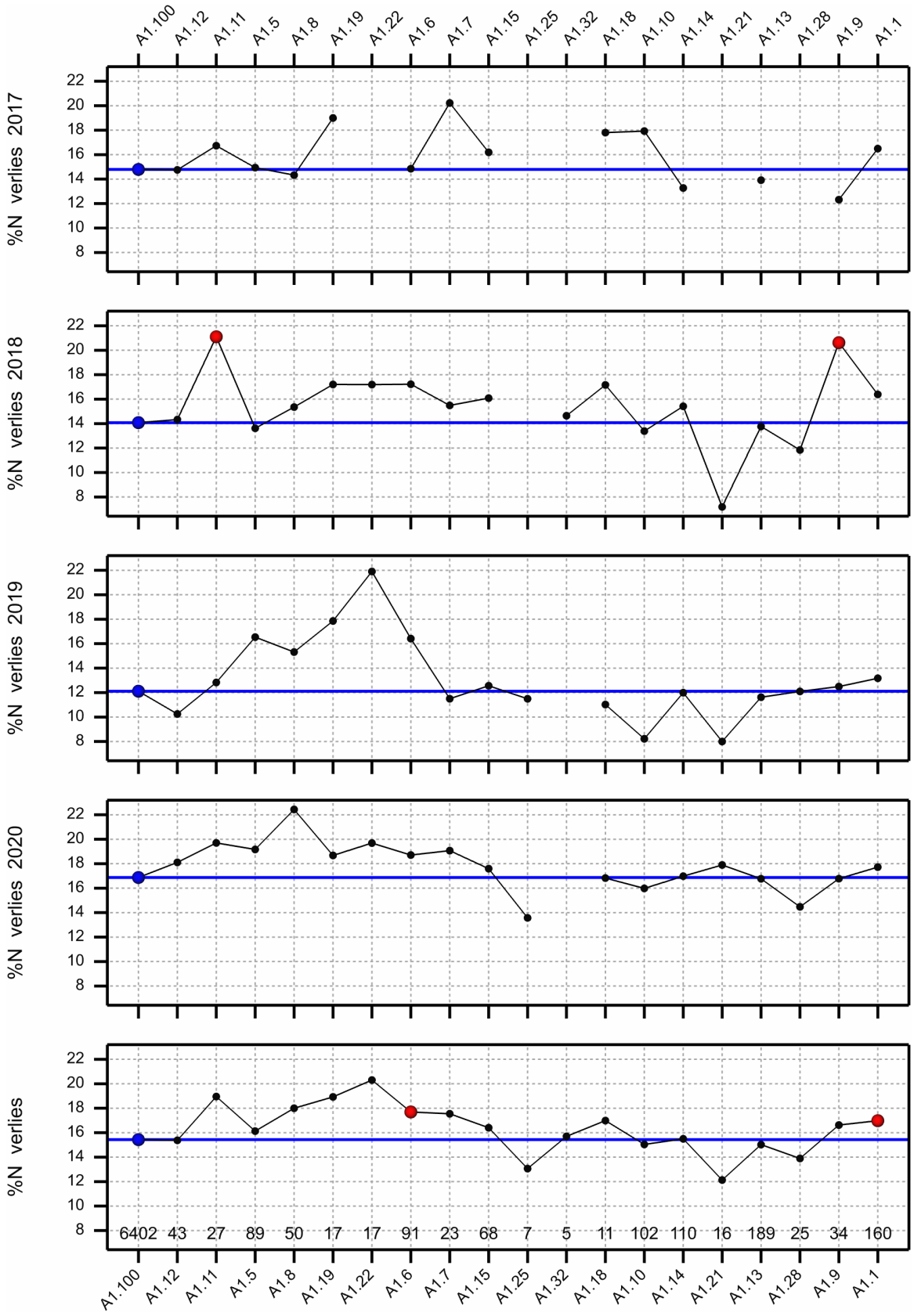

*Melkvee CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het N-gehalte in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Melkvee CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het P-gehalte in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Melkvee CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van N/P-verhouding in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Melkvee CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*

Aanvullende analyses voor %N-verlies van groepen staltypes: Melkvee CBS-dataset

Naast de toetsing per staltype is tevens een toetsing uitgevoerd op groepsniveau waarbij de staltypen zijn gegroepeerd naar overeenkomend emissie-reducerend principe.

Daarbij zijn de volgende stalgroepen gedefinieerd:

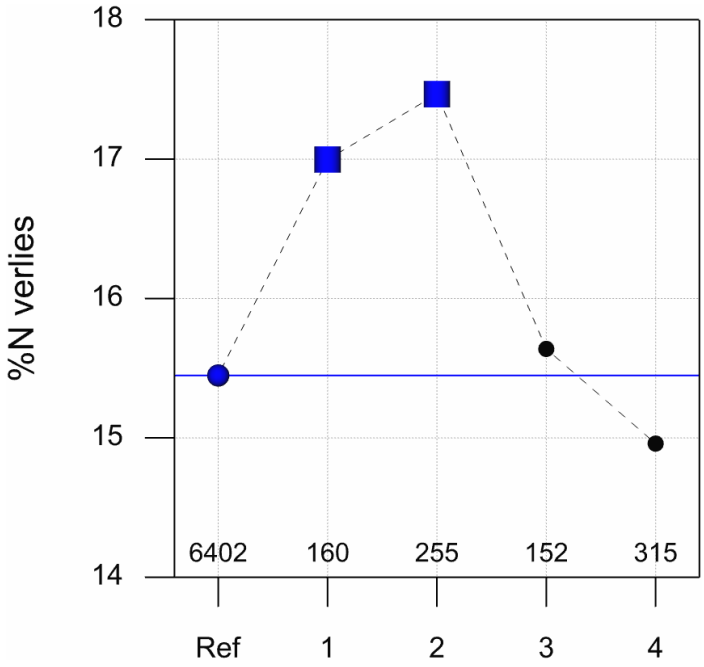
1 = klein emitterend oppervlak (grupstal)

2 = snelle afvoer urine van vloer

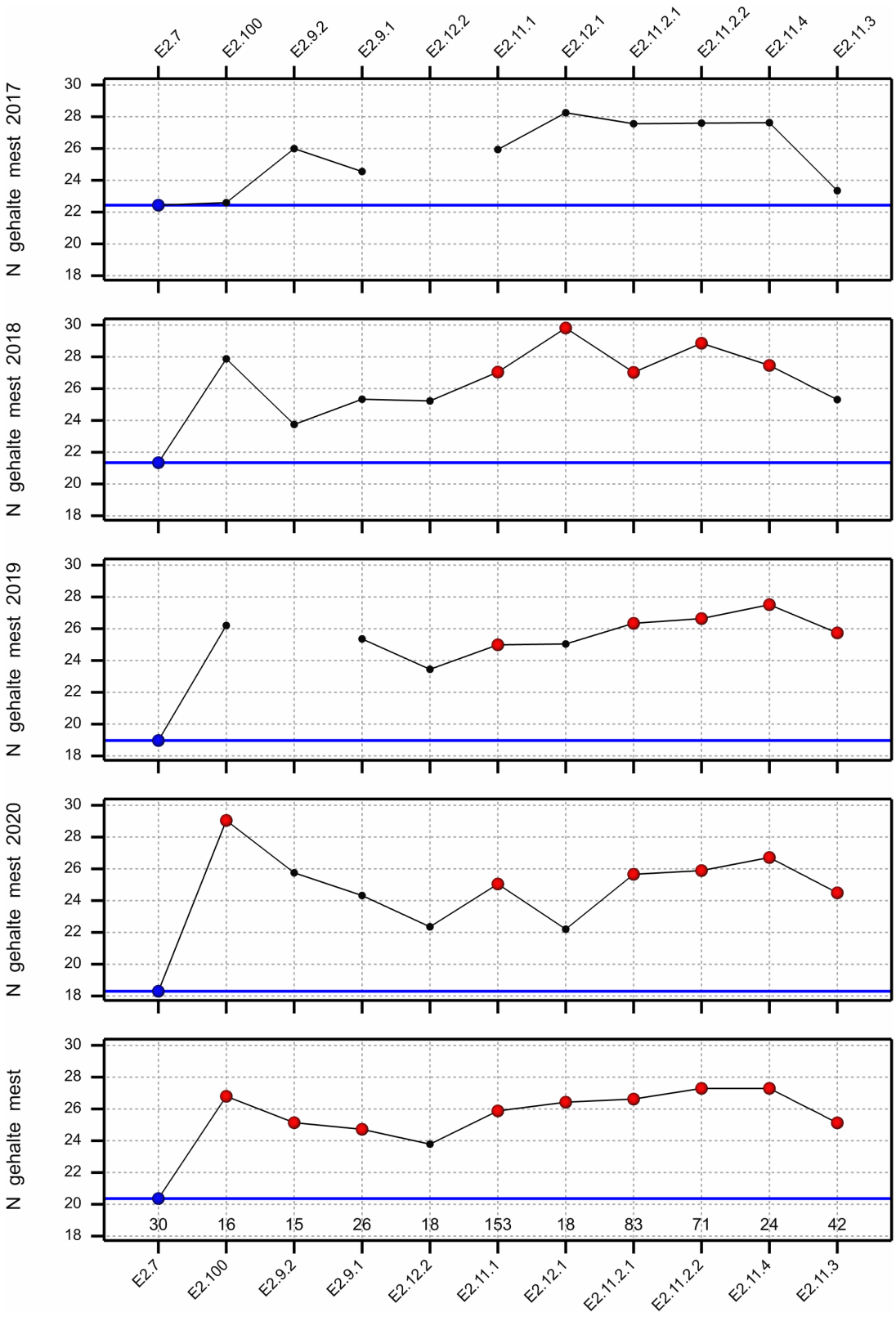
3 = snelle afvoer urine van vloer en geen/beperkte luchtuitwisseling met onderliggende mestopslag

4 = snelle afvoer urine van vloer en afgeronde rubber toplaag op vloer, cassettes

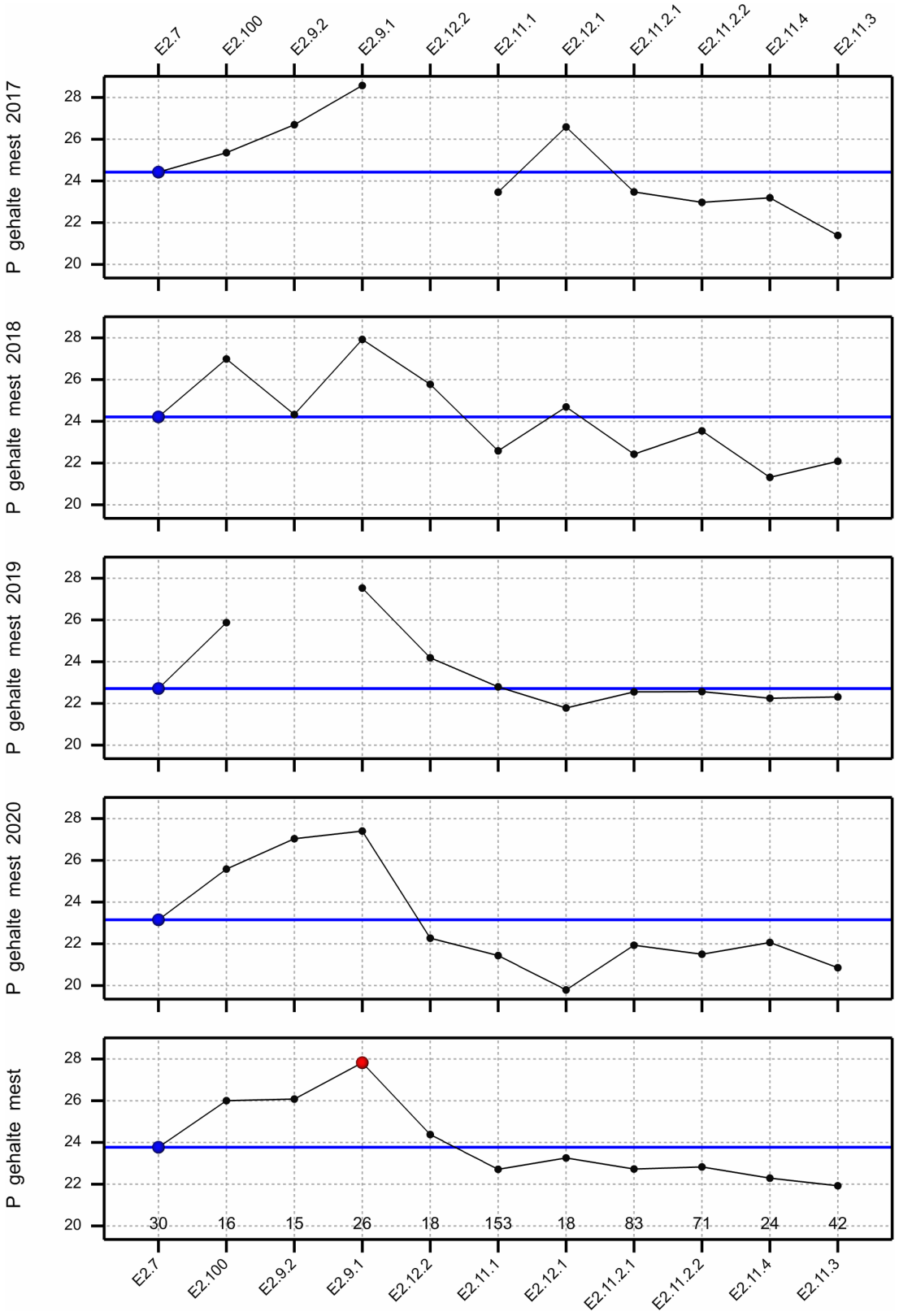
In onderstaande figuur is het resultaat van de analyse weergegeven.



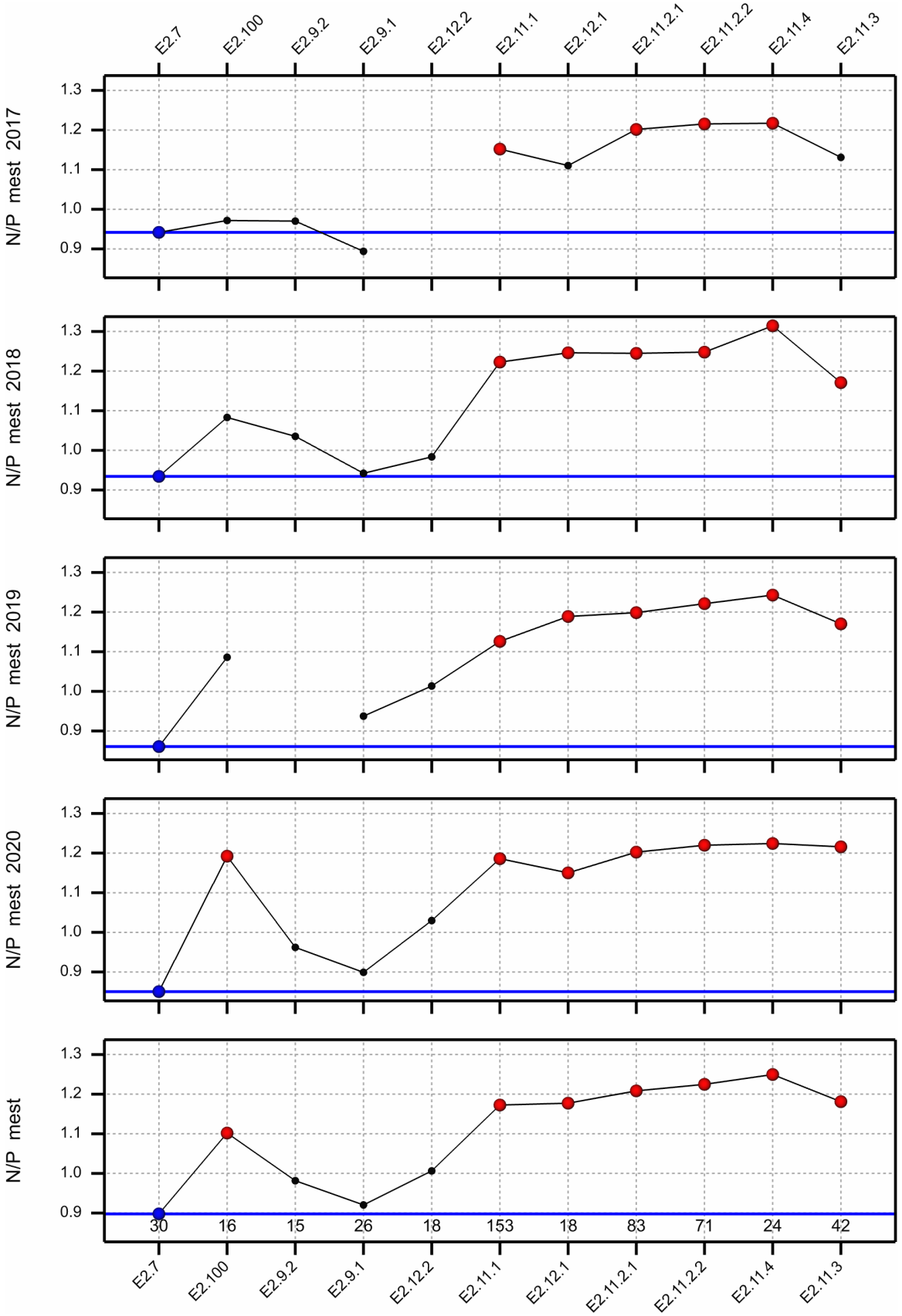

*Melkvee CBS-dataset: Groep predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in drijfmest monsters over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de blauwe vierkanten geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as. Zie tekst voor omschrijving groepen.*



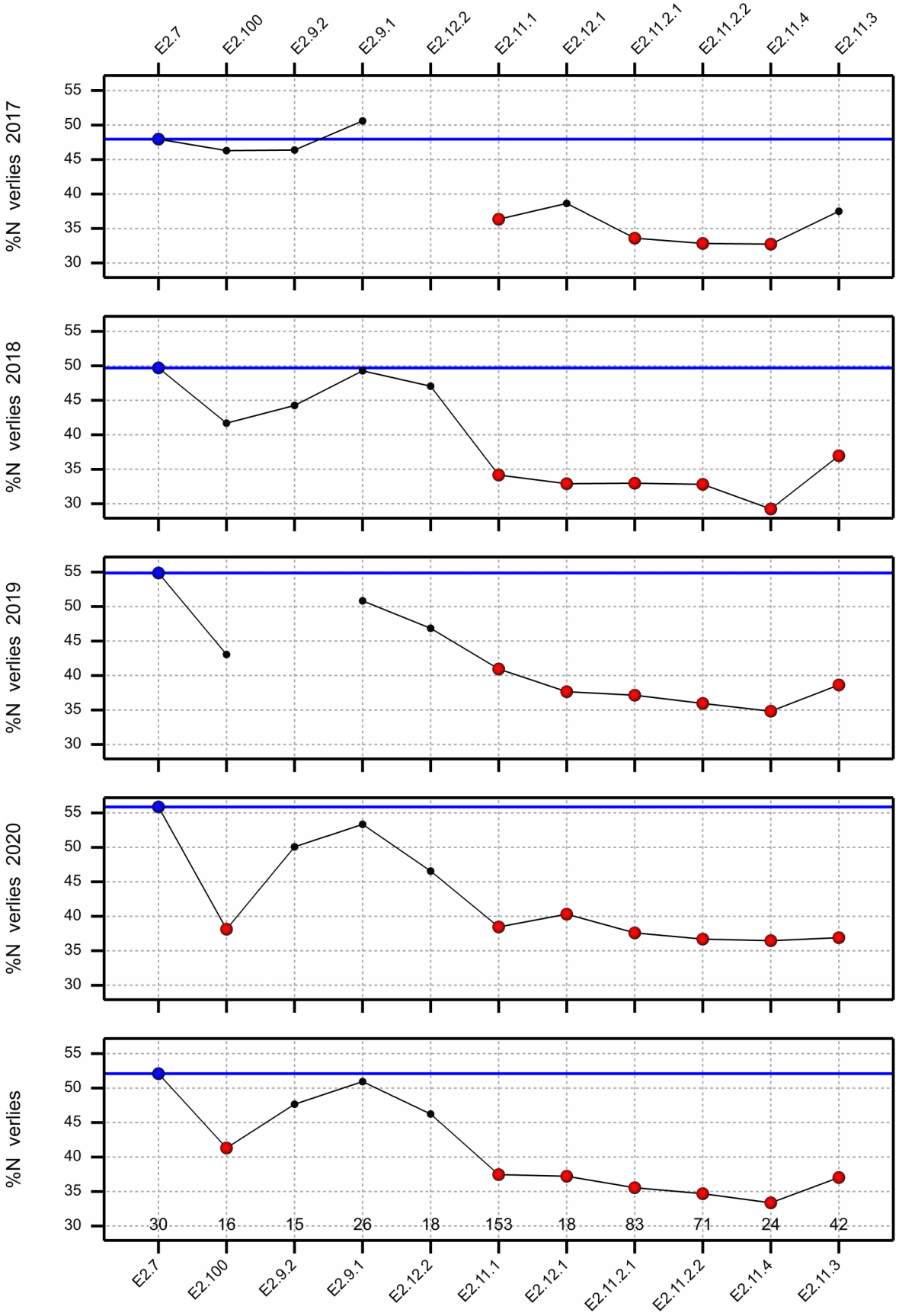

*Leghennen CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het N-gehalte in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E2.7 en de rode symbolen geven significante verschillen met E2.7 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Leghennen CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het P-gehalte in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E2.7 en de rode symbolen geven significante verschillen met E2.7 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Leghennen CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van de N/P-verhouding in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E2.7 en de rode symbolen geven significante verschillen met E2.7 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Leghennen CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E2.7 en de rode symbolen geven significante verschillen met E2.7 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*

Aanvullende analyses voor %N-verlies van groepen staltypes: Leghennen CBS-dataset

Naast de toetsing per staltype is tevens een toetsing uitgevoerd op groepsniveau waarbij de staltypen zijn gegroepeerd naar overeenkomend emissie-reducerend principe.

Daarbij zijn de volgende stalgroepen gedefinieerd:

1 = grondhuisvesting met beluchten

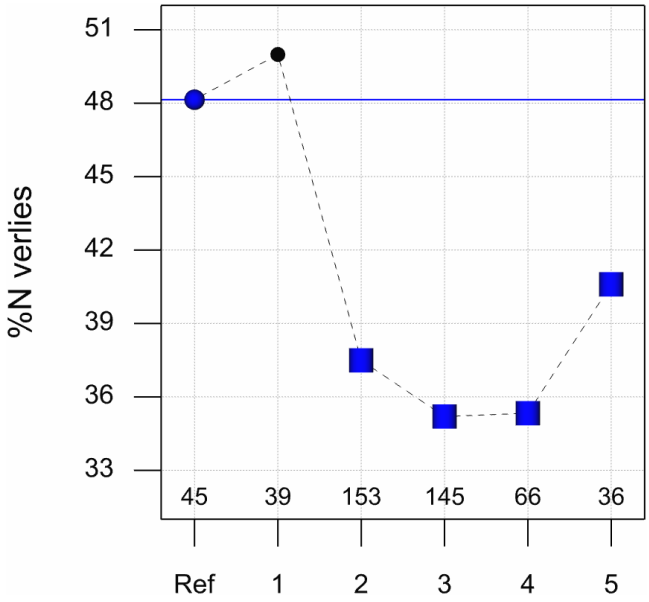
2 = volière-huisvesting, geen beluchting

3= volière-huisvesting, met beluchting

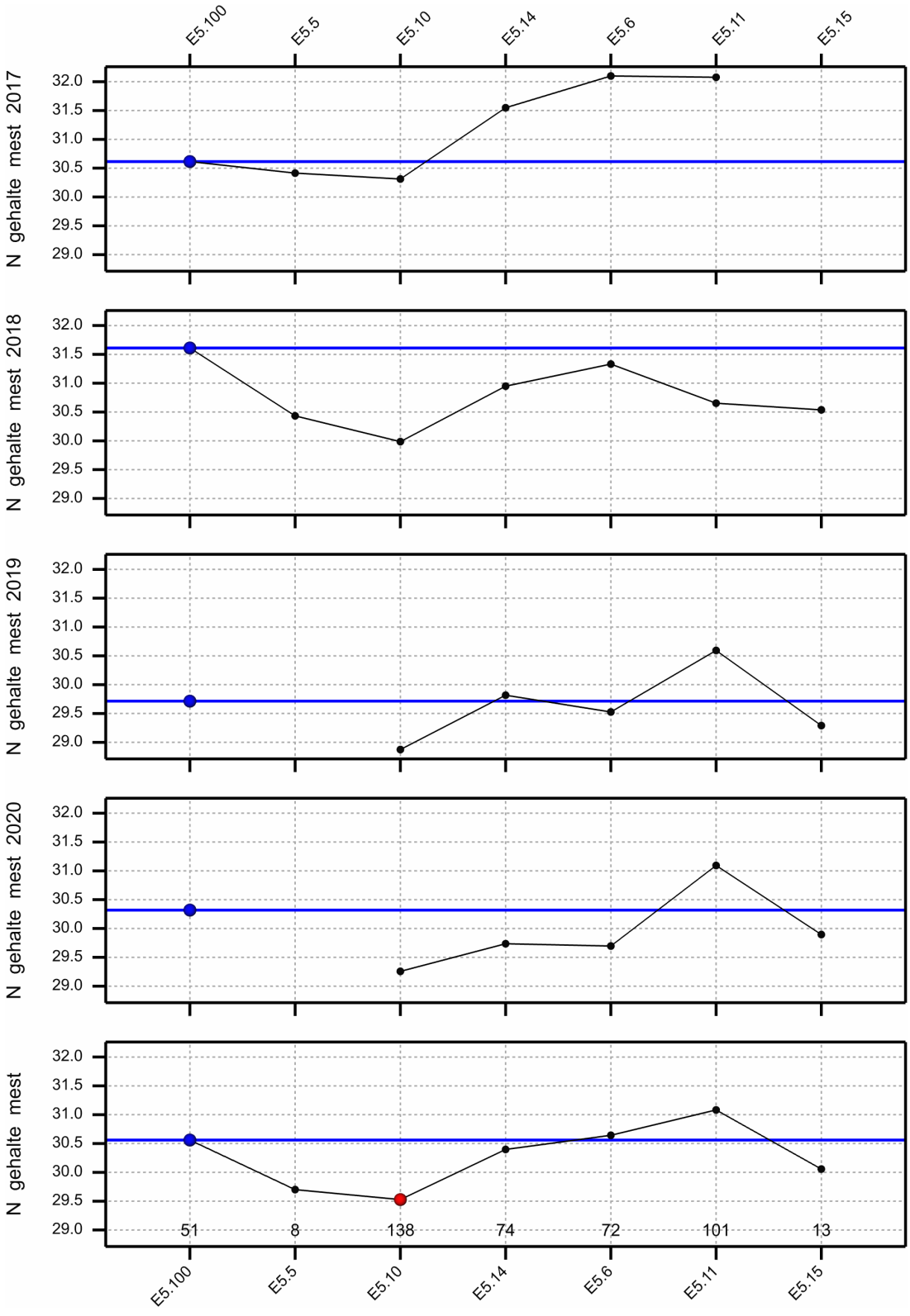
4 = volière-huisvesting, met beluchting+

5 = grondhuisvesting met frequente verwijdering mest

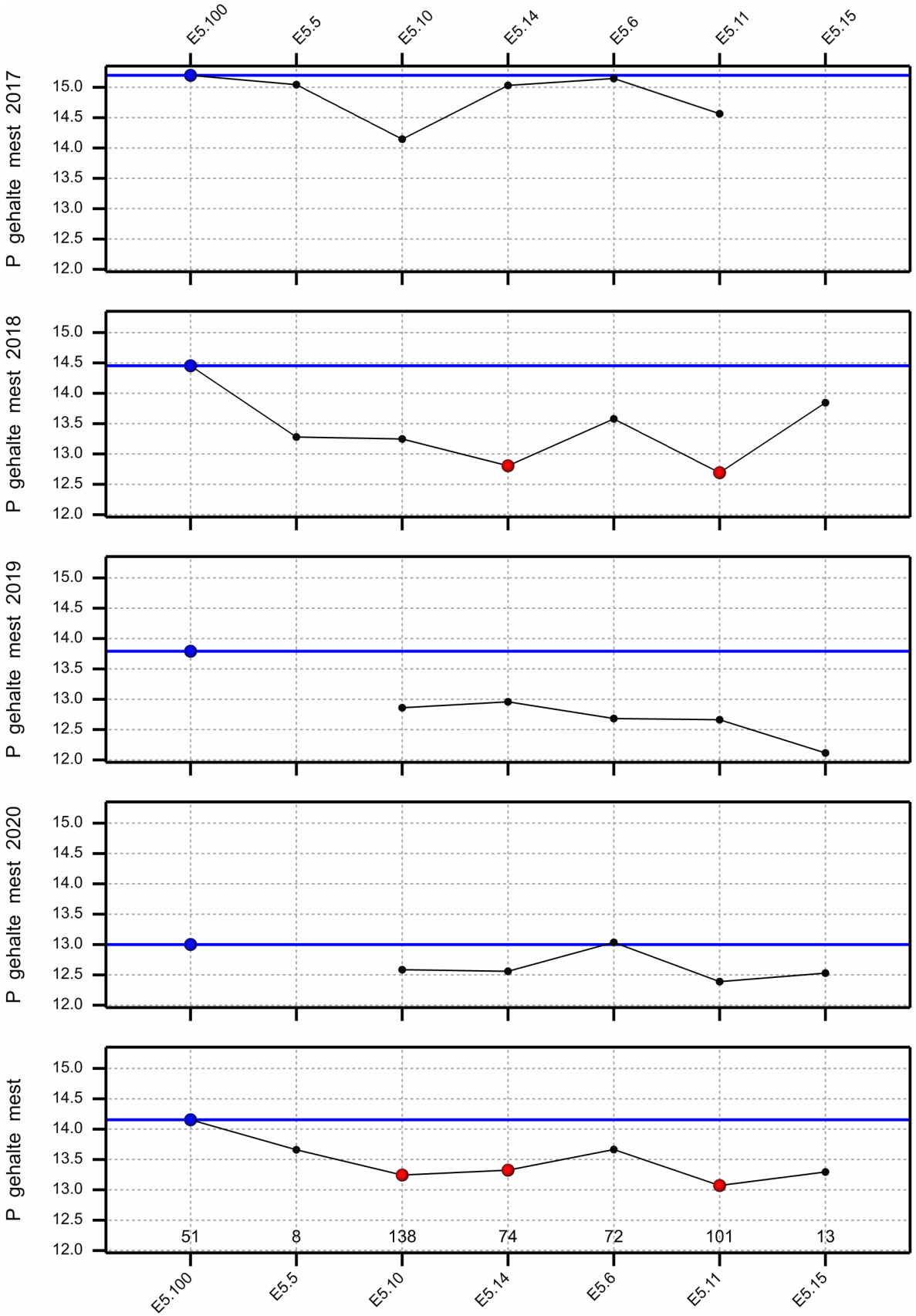
In onderstaande figuur is het resultaat van de analyse weergegeven.



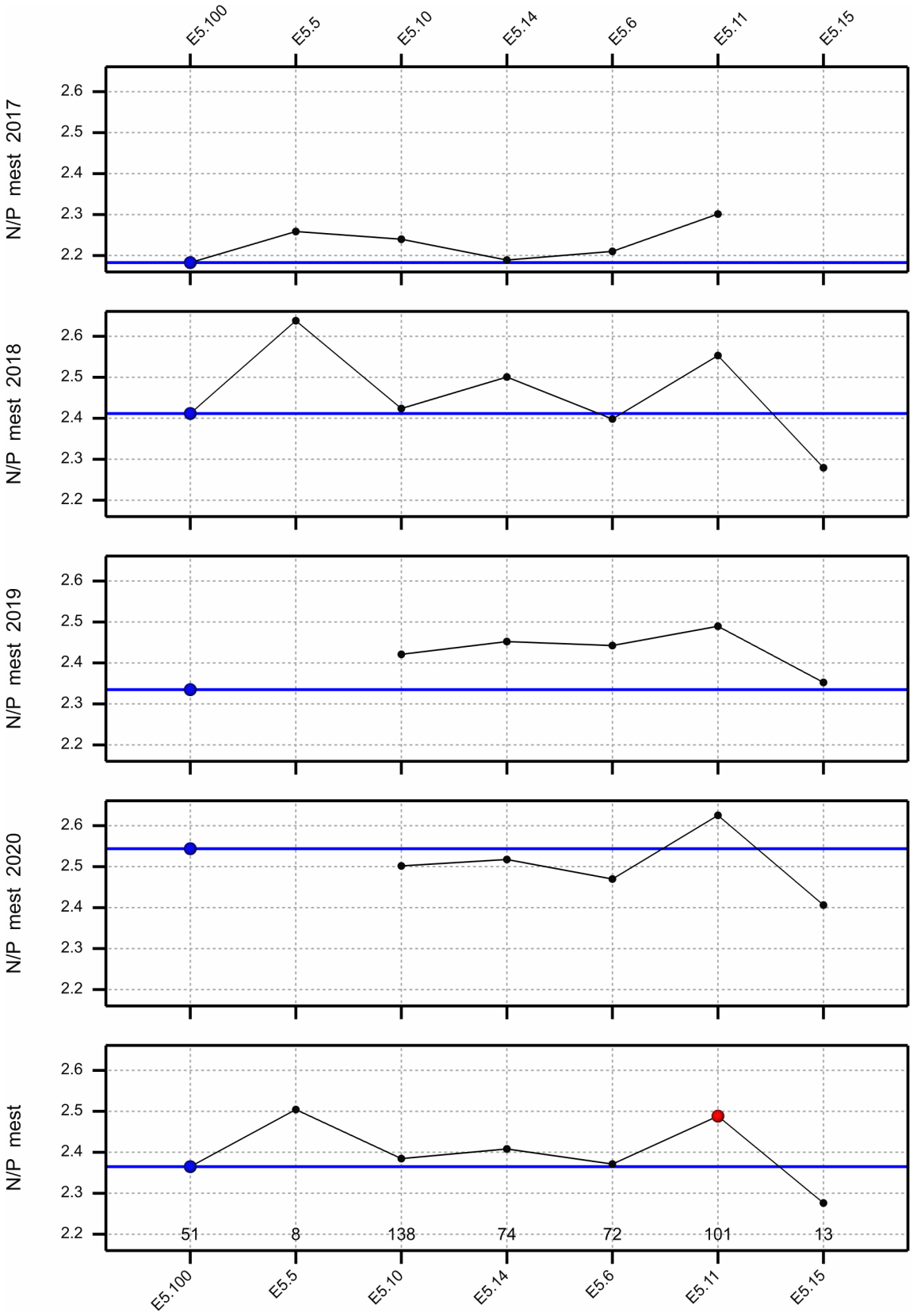

*Leghennen CBS-dataset: Groep predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in mest monsters over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E2.7 en de blauwe vierkanten geven significante verschillen met E2.7 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as. Zie tekst voor omschrijving groepen.*



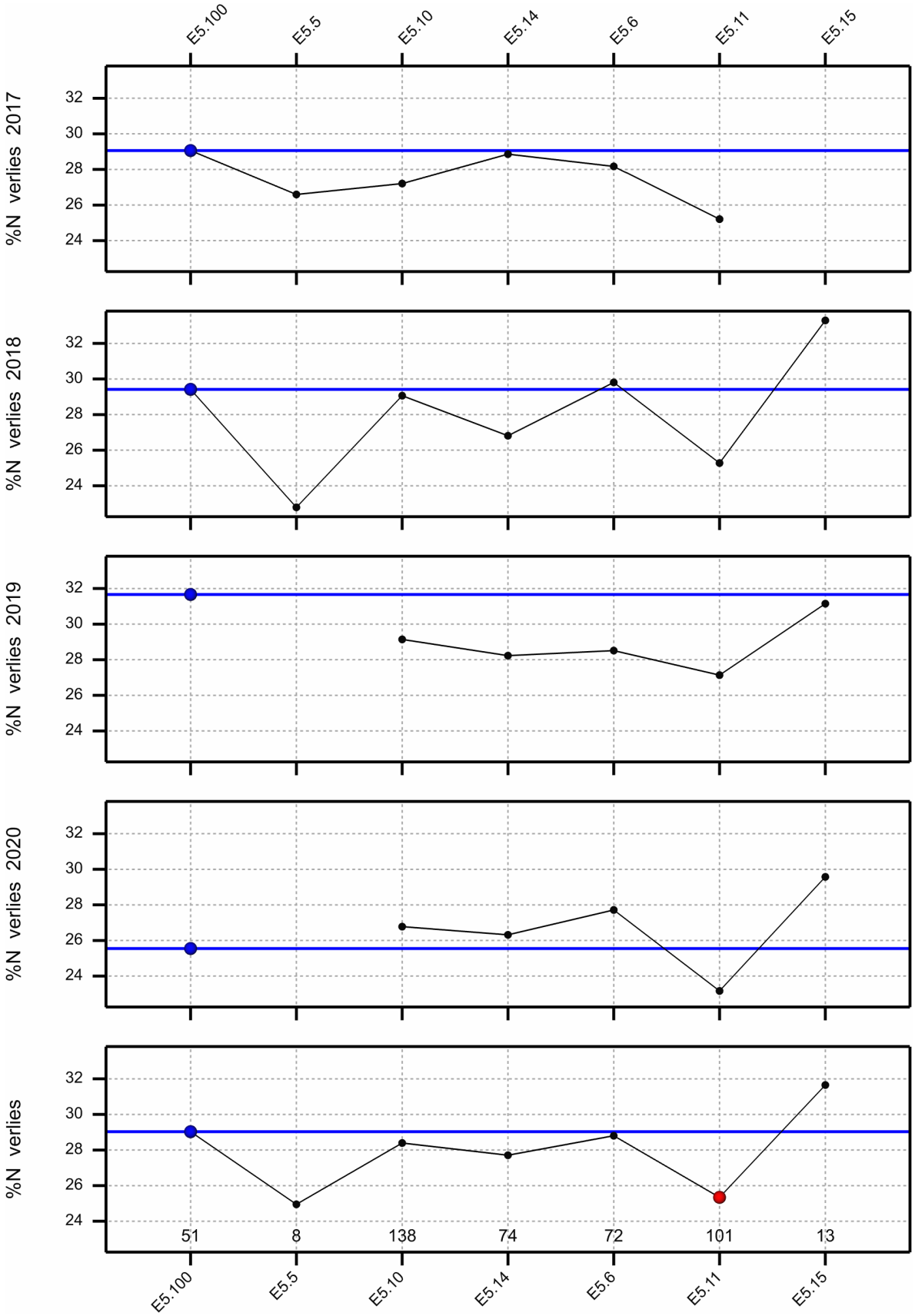

*Vleeskuikens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het N-gehalte in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E5.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met E5.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Vleeskuikens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het P-gehalte in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E5.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met E5.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Vleeskuikens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van N/P-verhouding in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E5.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met E5.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Vleeskuikens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E5.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met E5.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*

Aanvullende analyses voor %N-verlies van groepen staltypes: Vleeskuikens CBS-dataset

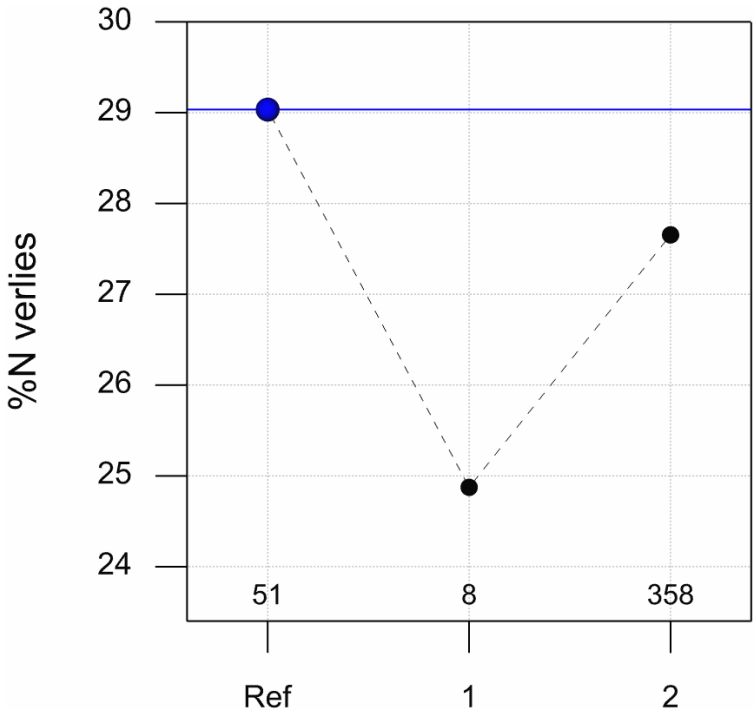
Naast de toetsing per staltype is tevens een toetsing uitgevoerd op groepsniveau waarbij de staltypen zijn gegroepeerd naar overeenkomend emissie-reducerend principe.

Daarbij zijn de volgende stalgroepen gedefinieerd:

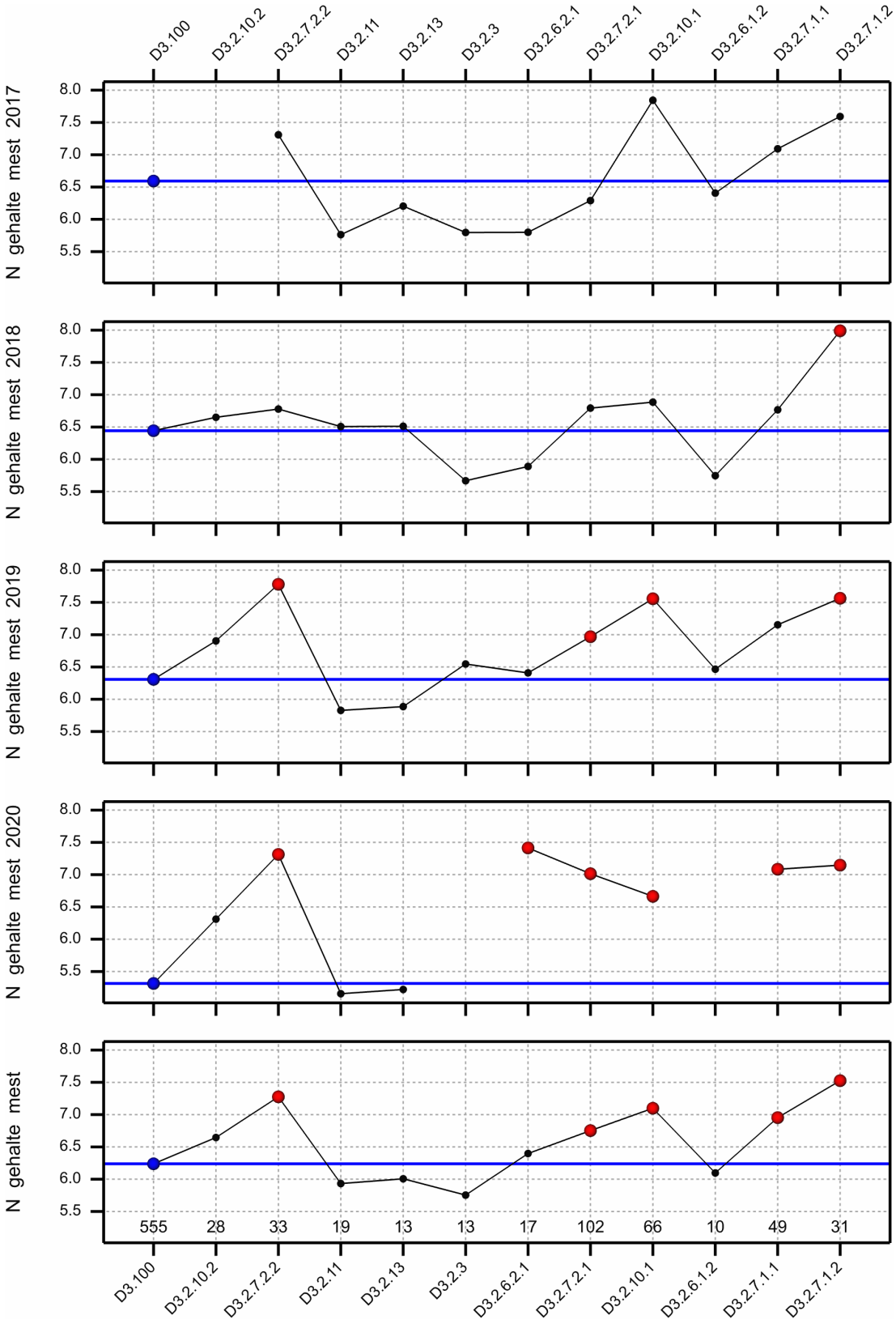
1 = vloerverwarming-/koeling

2 = strooiseldroging van bovenaf

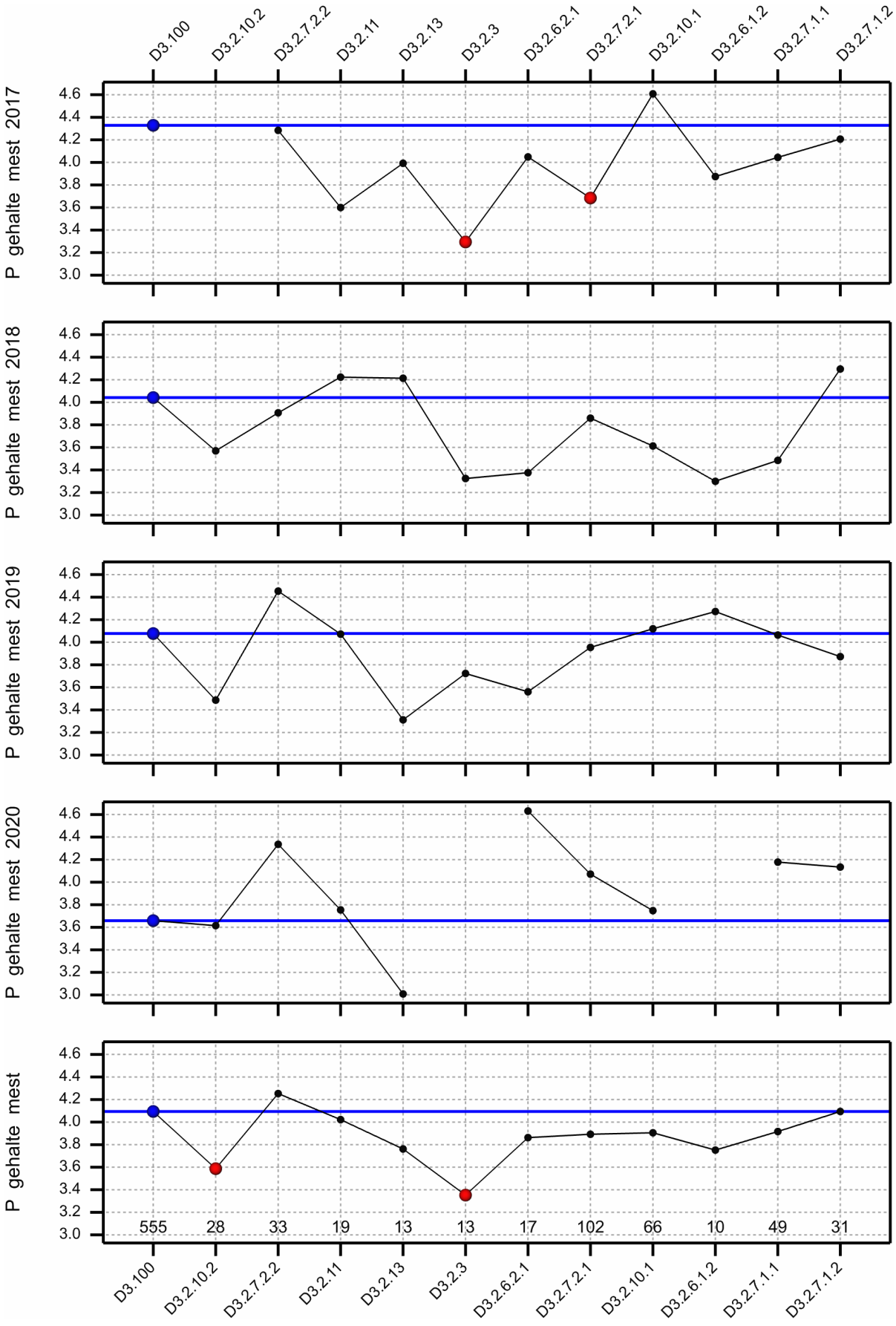
In onderstaande figuur is het resultaat van de analyse weergegeven.



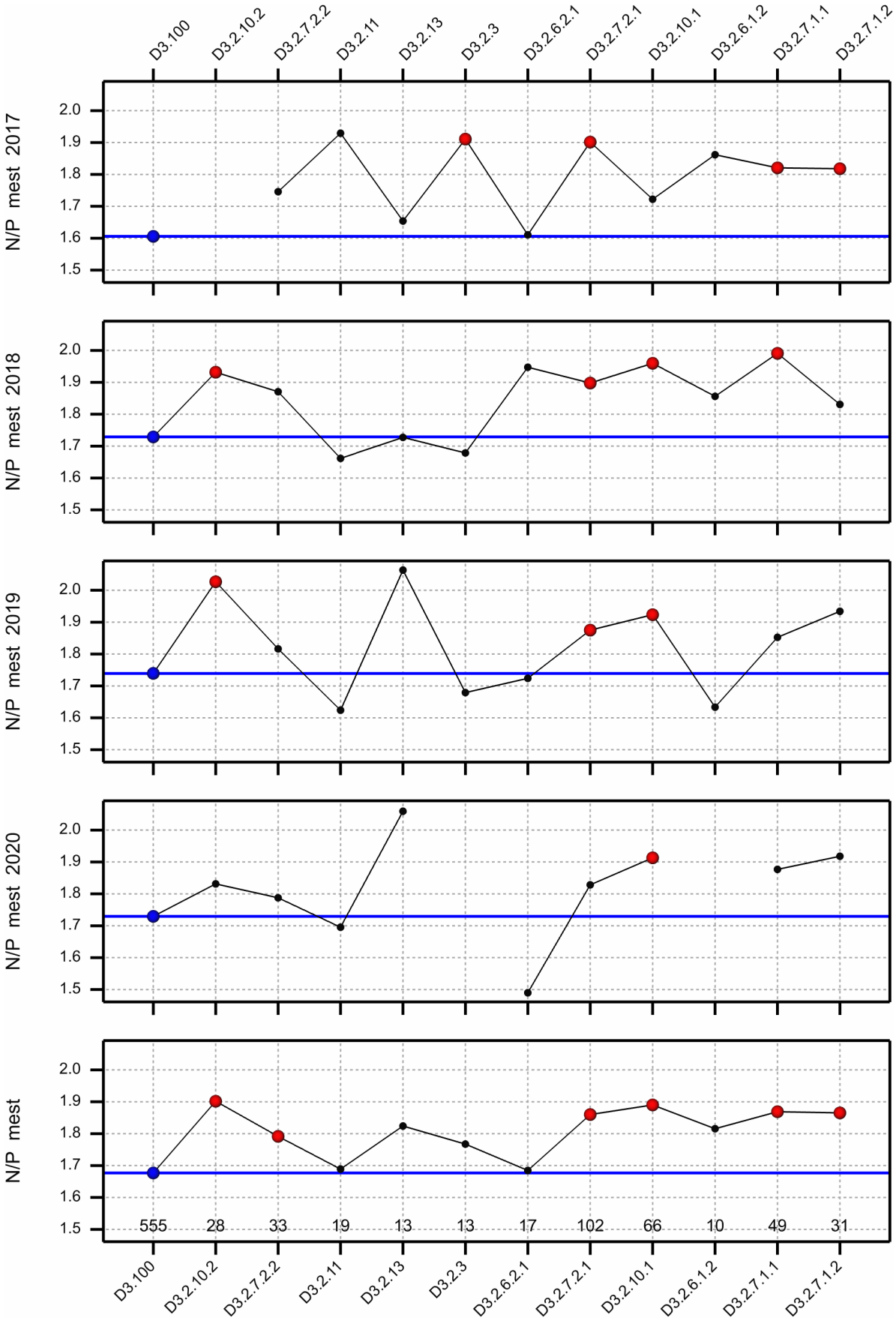

*Vleeskuikens CBS-dataset: Groep predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in mest monsters over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype E5.100 en de blauwe vierkanten geven significante verschillen met E5.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as. Zie tekst voor omschrijving groepen.*



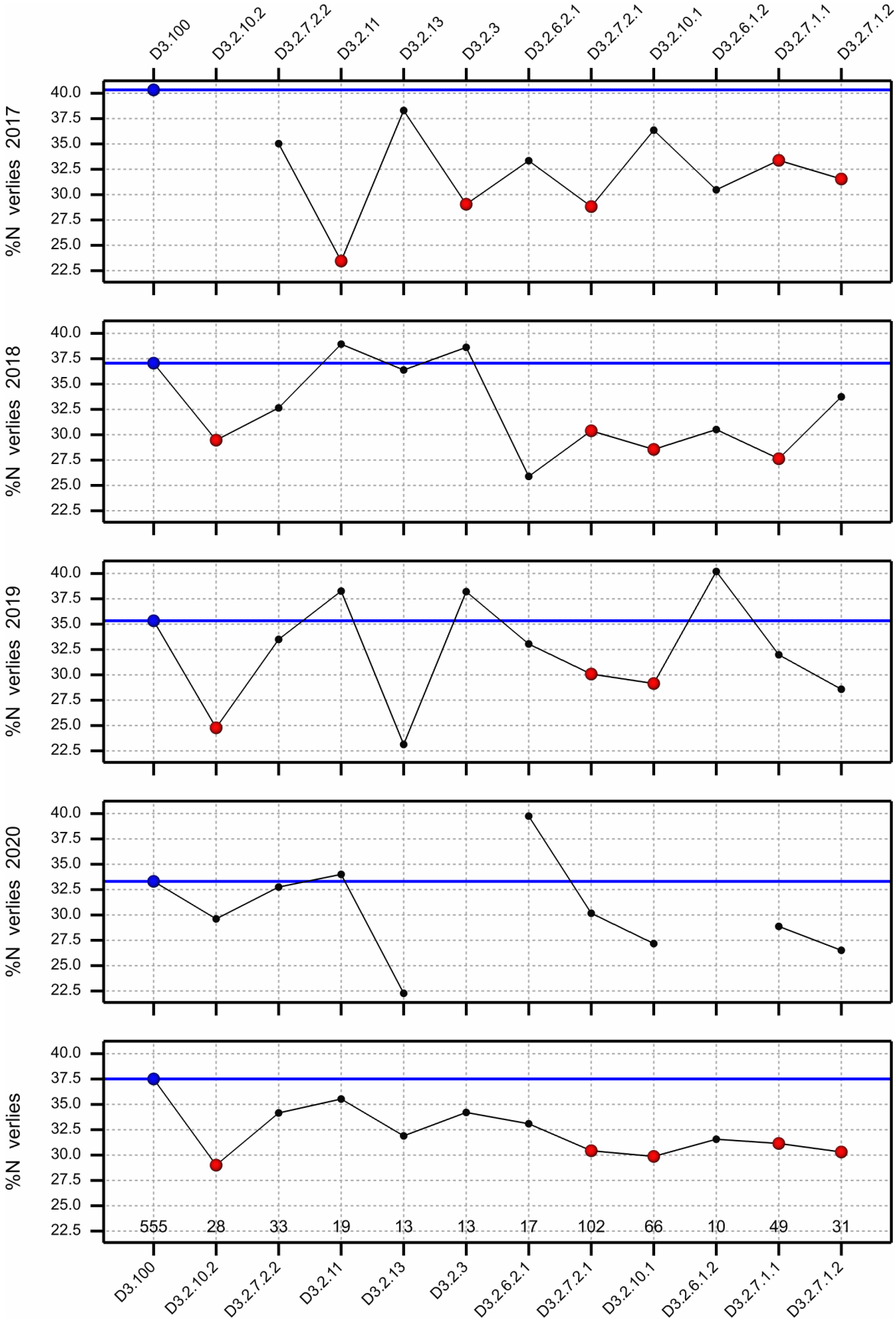

*Vleesvarkens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het N-gehalte in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype D3.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met D3.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Vleesvarkens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het P-gehalte in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype D3.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met D3.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Vleesvarkens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van N/P-verhouding in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype D3.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met D3.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Vleesvarkens CBS-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in mest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype D3.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met D3.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*

Aanvullende analyses voor %N-verlies van groepen staltypes: Vleesvarkens CBS-dataset

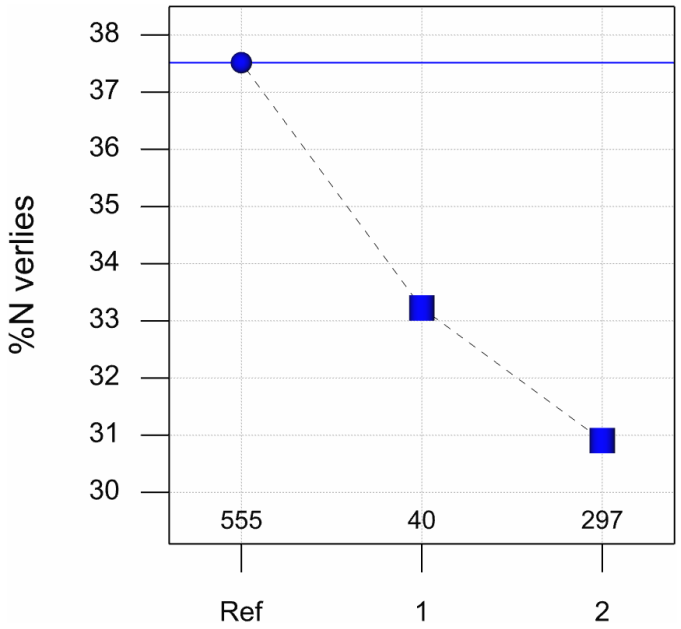
Naast de toetsing per staltype is tevens een toetsing uitgevoerd op groepsniveau waarbij de staltypen zijn gegroepeerd naar overeenkomend emissie-reducerend principe.

Daarbij zijn de volgende stalgroepen gedefinieerd:

1 = koelen mestoppervlak

2 = klein emitterend oppervlak

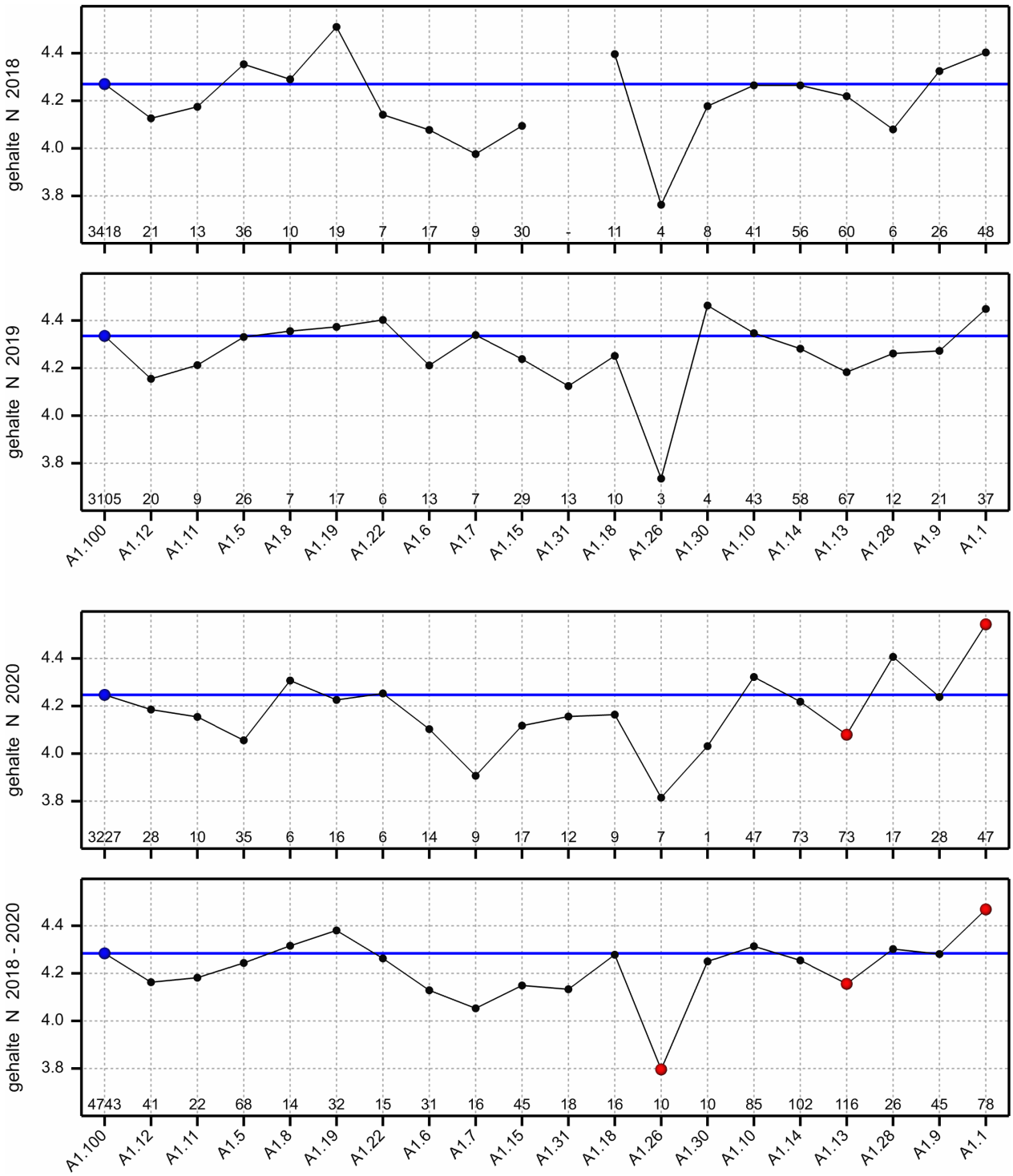
In onderstaande figuur is het resultaat van de analyse weergegeven.



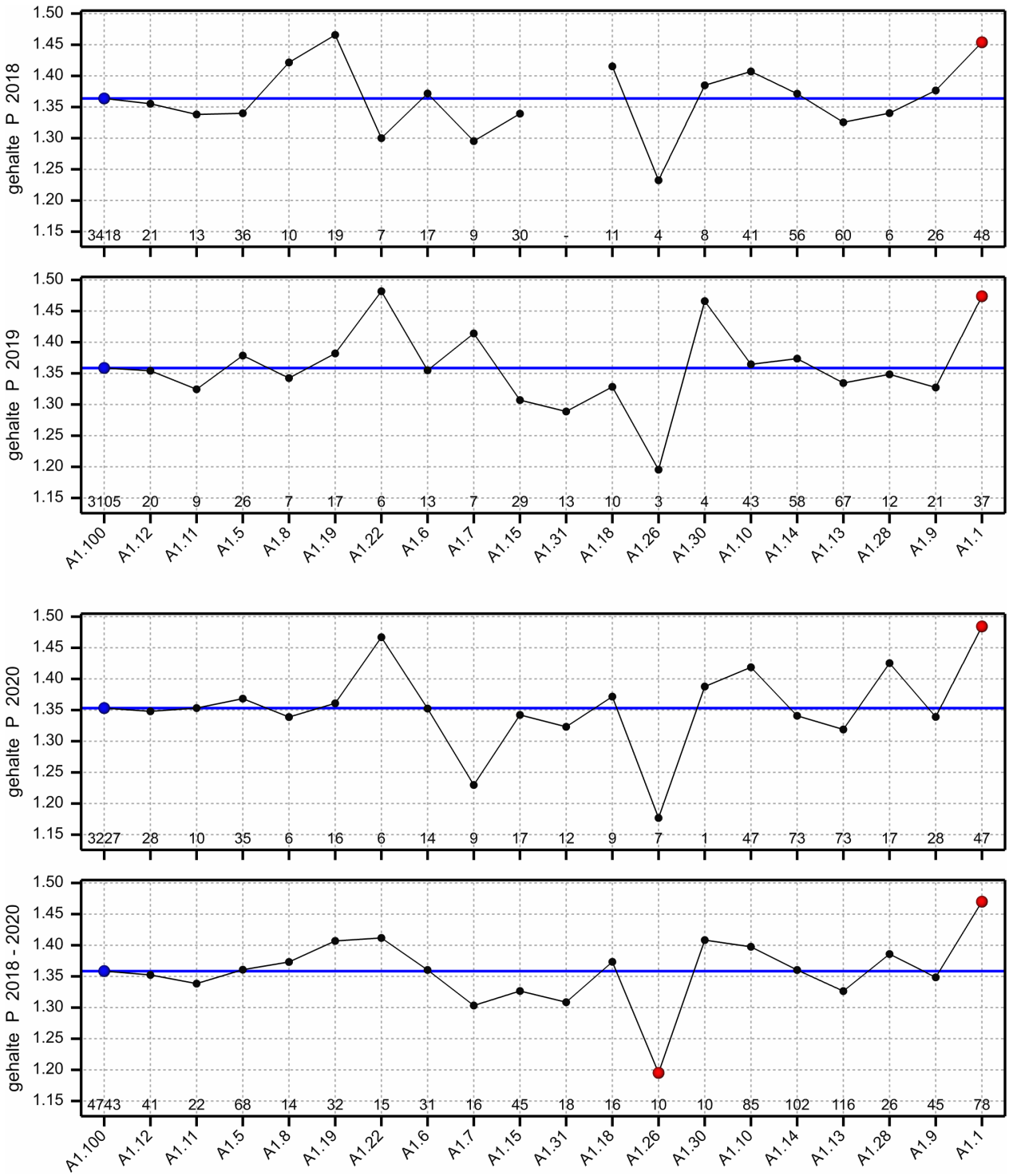

*Vleesvarken CBS-dataset: Groep predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in drijfmest monsters over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype D3.100 en de blauwe vierkanten geven significante verschillen met D3.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as. Zie tekst voor omschrijving groepen.*

# Bijlage 4 KLW-dataset: aanvullende analyses

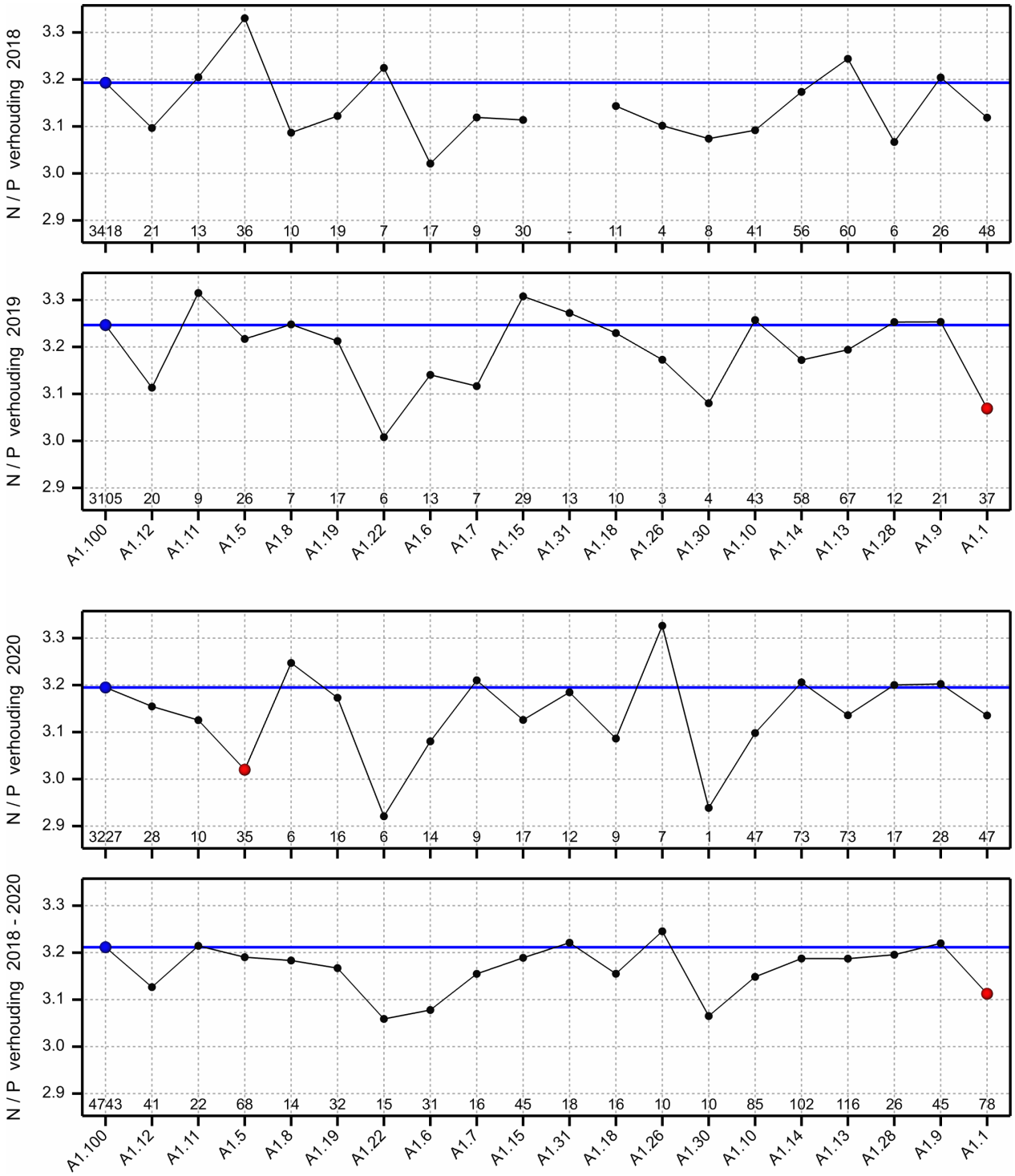
Aanvullende analyses voor N- en P-gehalten, N/P-verhouding en %N-verlies: KLW-dataset



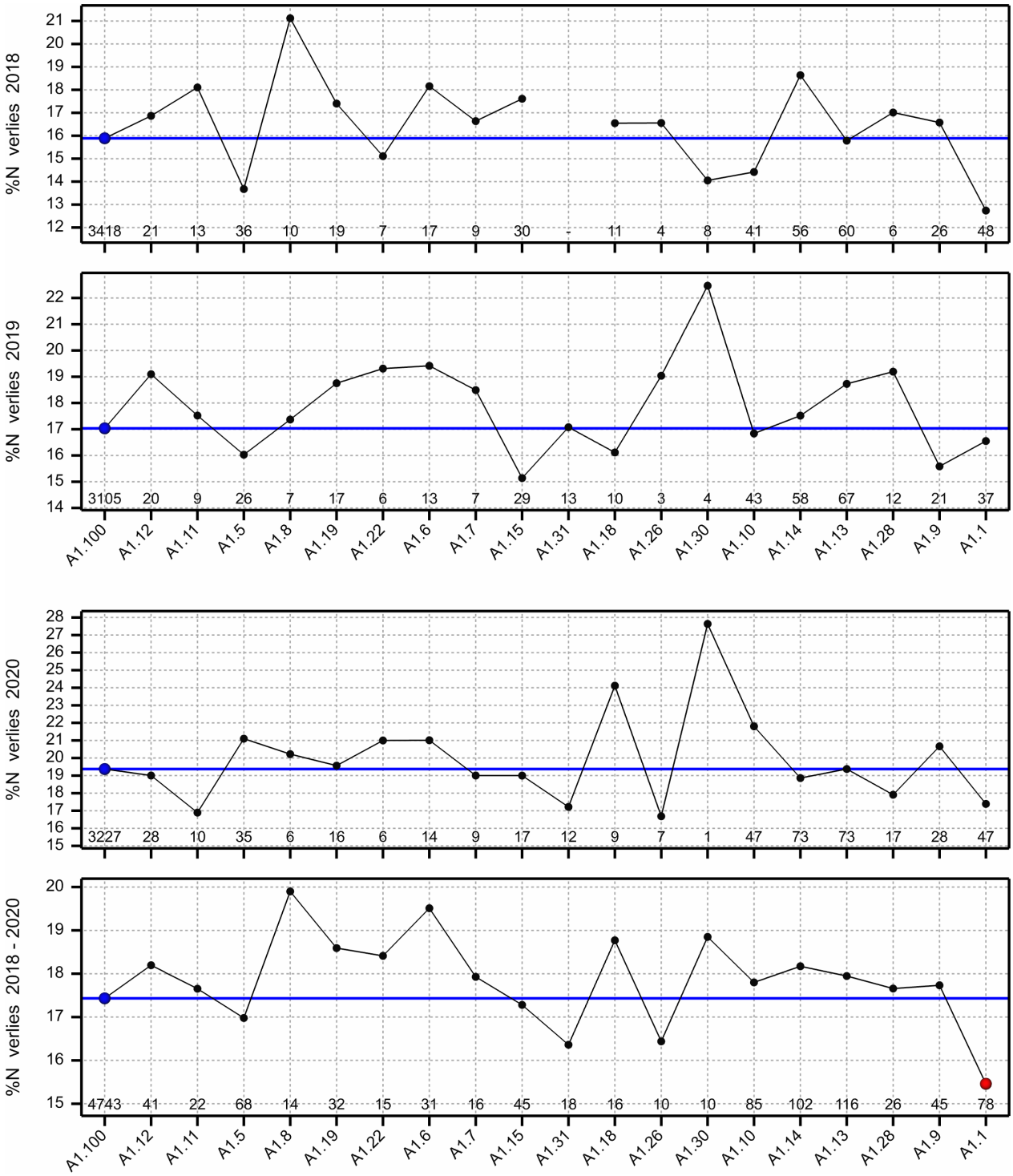

*Melkvee KLW-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het N-gehalte in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Melkvee KLW-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het P-gehalte in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Melkvee KLW-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van de N/P verhouding in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*




*Melkvee KLW-dataset: Staltype predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in drijfmest monsters per jaar en over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de rode symbolen geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as.*

Aanvullende analyses voor %N-verlies van groepen staltypes: Melkvee KLW-dataset

Naast de toetsing per staltype is tevens een toetsing uitgevoerd op groepsniveau waarbij de staltypen zijn gegroepeerd naar overeenkomend emissie-reducerend principe.

Daarbij zijn de volgende stalgroepen gedefinieerd:

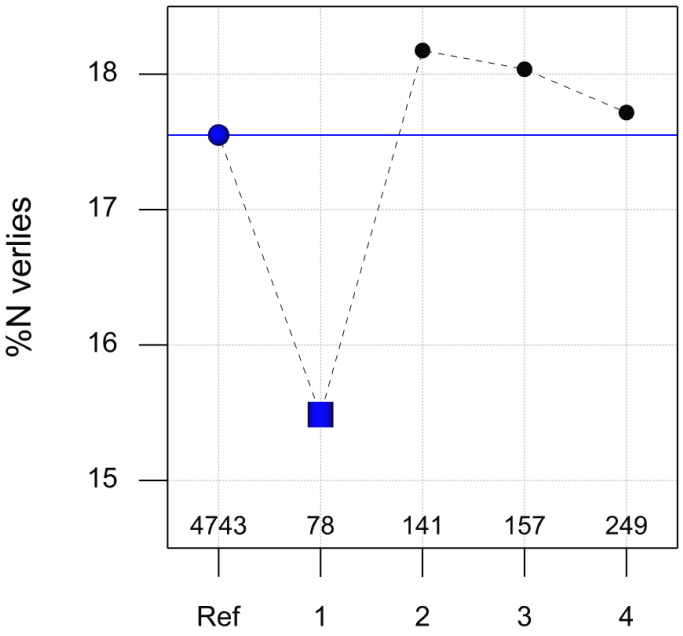
1 = klein emitterend oppervlak (grupstal)

2 = snelle afvoer urine van vloer

3 = snelle afvoer urine van vloer en geen/beperkte luchtuitwisseling met onderliggende mestopslag

4 = snelle afvoer urine van vloer en afgeronde rubber toplaag op vloer, cassettes

In onderstaande figuur is het resultaat van de analyse weergegeven.




*Melkvee KLW-dataset: Groep predicties voor de gecorrigeerde analyse van het %N-verlies in drijfmest monsters over jaren heen. De blauwe horizontale lijn geeft de predictie voor het referentie staltype A1.100 en de blauwe vierkanten geven significante verschillen met A1.100 bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 1%. Het aantal bedrijven per staltype staat boven de x-as. Zie tekst voor omschrijving groepen.*

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.