



Vermindering van ammoniakemissie door voermaatregelen bij melkvee

Experimenteel onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, A. Klop, J.W. van Riel, J.L. Zonderland, L.B.J. Šebek, N.W.M. Ogink



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Vermindering van ammoniakemissie door voermaatregelen bij melkvee

Experimenteel onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, A. Klop, J.W. van Riel, J.L. Zonderland, L.B.J. Šebek, N.W.M. Ogink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Mest en Milieu' projectnummer BO-20-004-022.ASG-LR-7(2013) en BO-20-004-022.ASG-LR-21 (2014)

Wageningen Livestock Research
Wageningen, oktober 2017

Rapport 1052

Dooren, H.J.C. van, A. Klop, J.W. van Riel, J.L. Zonderland. L.B.J. Šebek, N.W.M. Ogink, 2017.
Vermindering van ammoniakemissie door voermaatregelen bij melkvee; Experimenteel onderzoek op Dairy Campus. Wageningen Livestock Research, Rapport 1052.

Samenvatting NL

Naast stalmaatregelen zijn ook voer- en managementmaatregelen beschikbaar om de ammoniakemissie uit de melkveehouderij terug te dringen. Uitgangspunt voor emissiearme melkveevoeding is de vermindering van de totale hoeveelheid stikstof in urine uitgescheiden (TAN-excretie) en de stikstofconcentratie in de urine (TAN-concentratie). Voor verdere toepassing van voedingsmaatregelen bestaat behoefte aan een bruikbaar instrument waarmee melkveehouders op basis van de duidelijke parameters de ammoniakemissie kunnen schatten kan worden. In dit onderzoek zijn de relaties tussen TAN-excretie en TAN-concentratie en de ammoniakemissie vastgesteld en worden borgingsparameters voorgesteld. De meest perspectievolle parameters zijn het melkureumgehalte, de TAN-excretie en het urinevolume. De laatste twee kunnen berekend worden op basis van rantsoensamenstelling en voeropname. Aansluiting bij de methoden en werkwijze van de kringloopwijzer ligt voor de hand.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/424720> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2017 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 is onderdeel van Wageningen University & Research.

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.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Doelstelling en onderzoeksvragen	9
1.2 Eerder onderzoek	10
1.3 Leeswijzer	11
2 Opzet experimenteel onderzoek	12
2.1 Experiment 1 (2013)	12
2.1.1 Proefopzet	12
2.1.2 Rantsoenen	12
2.2 Experiment 2 (2014)	13
2.2.1 Proefopzet	13
2.2.2 Rantsoenen	14
2.3 Beschrijving meetunit Dairy Campus	15
2.4 Groepsindeling dieren	17
2.5 Waarnemingen en berekeningen	17
2.6 Statistische analyse	20
3 Resultaten en discussie	21
3.1 Uitvoering	21
3.2 Waarnemingen en berekeningen	21
3.2.1 Temperatuur	21
3.2.2 Voeropname	22
3.2.3 Melkgift en –samenstelling	23
3.2.4 Wateropname, urinevolume en mestproductie	24
3.2.5 Urinesamenstelling en samenstelling toplaag mest	25
3.2.6 TAN excretie, TAN concentratie en ammoniakemissie	26
3.3 Statistische analyse	28
3.3.1 Behandelingseffecten	28
3.3.2 Enkele-en meervoudige relaties	28
3.4 Vergelijking met eerdere datasets	31
3.5 Discussie	32
4 Conclusies	35
Literatuur	36

Samenvatting

Om de ammoniakemissie uit de melkveehouderij terug te dringen is een reeks van stalmaatregelen beschikbaar die beschreven wordt in Bijlage 1 van de Regeling ammonia en veehouderij (Rav). Naast deze stalmaatregelen biedt de programmatische aanpak stikstof (PAS) bedrijven de mogelijkheid de ammoniakemissie verder terug te dringen via voer- en managementmaatregelen. Deze maatregelen staan beschreven in Bijlage 2 van de Rav.

Achterliggend uitgangspunt voor voermaatregelen bij melkvee is dat zowel de TAN¹-excretie (totale N-uitscheiding via urine) als de TAN-concentratie in urine van invloed zijn op de ammoniakemissie. Waar de veranderingen in de TAN-excretie vooral van invloed is op de vloeremissie heeft de TAN-concentratie in urine en de daaraan gerelateerde TAN-concentratie in de toplaag van de mest, vooral invloed op de ammoniakemissie uit de kelder. De TAN-concentratie wordt bepaald door de totale TAN-excretie en door voerparameters die de wateropname en daarmee het urinevolume bepalen.

De reductie van de ammoniakemissie door voermaatregelen wordt in de regelgeving tot nu toe gekoppeld aan een te bereiken melkureumconcentratie in de tankmelk. De melkureumconcentratie geldt daarbij als een borgingsparameter van de TAN-excretie die weer wordt beïnvloed via de voeding. Voor verdere toepassing van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te verminderen bestaat behoefte aan verfijning van het instrument. Op basis van variabelen die duidelijk aan de emissiebron gerelateerde zijn moet de ammoniakemissie geschat kunnen worden. Daarvoor moeten een aantal relaties en aannames verder onderbouwd worden. Dit zijn:

- De relatie tussen berekende TAN-excretie en gemeten TAN-concentratie in urine;
- De relatie tussen berekende TAN-excretie en TAN-concentratie in de toplaag van de mest;
- De relatie tussen de berekende TAN-excretie, de gemeten TAN-concentratie in urine en de TAN-concentratie in de toplaag van de mest enerzijds en de gemeten ammoniakemissie anderzijds.

Doel van dit experimenteel onderzoek was om deze relaties op groepsniveau en onder gecontroleerde omstandigheden vast te stellen en om te zoeken naar bruikbare en betrouwbare borgingsparameters.

Voor beantwoorden van de onderzoeksvragen zijn twee experimenten uitgevoerd op onderzoekscentrum Dairy Campus. In beide experimenten is het aan melkkoeien gevoerde rantsoen (ruwvoer en krachtvoer) zodanig gevarieerd dat in de waarden van TAN-excretie en TAN-concentratie twee niveaus zijn ontstaan die zijn gecombineerd tot vier behandelingen. In beide experimenten zijn 16 blokken van 4 dieren gemaakt met vergelijkbaar productieniveau en lactatiestadium. De vier dieren uit elk blok werden vervolgens random aan een afdeling toegewezen. Dieren die door droogzetten de groep moesten verlaten zijn vervangen door dieren met een vergelijkbaar productieniveau. De vier handelingen zijn in vier perioden gerouleerd over de vier beschikbare afdelingen. Elke periode duurde drie weken waarbij de eerste twee weken dienden als gewenning voor de dieren aan de het nieuwe rantsoen en alleen de gegevens uit week drie gebruikt zijn. De volgende waarnemingen/berekeningen zijn uitgevoerd:

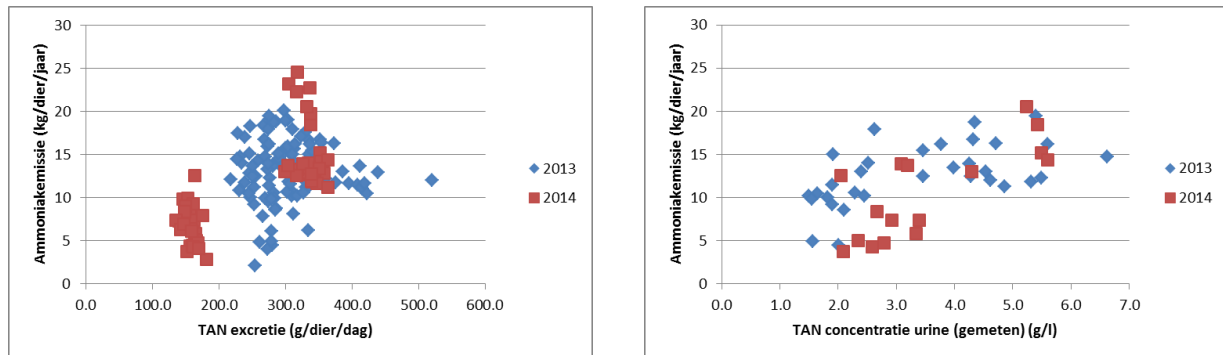
- De *TAN excretie*, berekend volgens een formule in Šebek et al. (2016).
- De *TAN concentratie*, berekend door de TAN excretie te delen door het urinevolume.
- Het *urinevolume*, berekend volgens een formule afgeleid door Bannink et al. (1999).
- De *ammoniakemissie*, continue bepaald aan de hand van gemeten concentraties en ventilatieniveau.
- De *ruwvoeropname*, per groep bepaald.
- De *krachtvoeropname*, per koe gemeten in automatisch krachtvoerboxen.
- De voersamenstelling, door middel van monster van alle rantsoencomponenten in week twee en drie van elke periode.
- Het *mestniveau* in de kelder, wekelijks gemeten
- De *wateropname*, door wekelijks afgelezen watermeters.

¹ Totaal ammoniakale stikstof

- De *urinesamenstelling*, bepaald bij vijf dieren in elke afdeling op twee dagen in de derde week van elke periode.
- De *mestsamenstelling*, bepaald in de toplaag van de mest.
- De *melkproductie* per dier, ieder melkmaal gemeten met een elektronische melkmeter.
- De *melksamenstelling per dier*, afgeleid uit gegevens van de melkcontrole uitgevoerd in de tweede en derde week van elke periode..

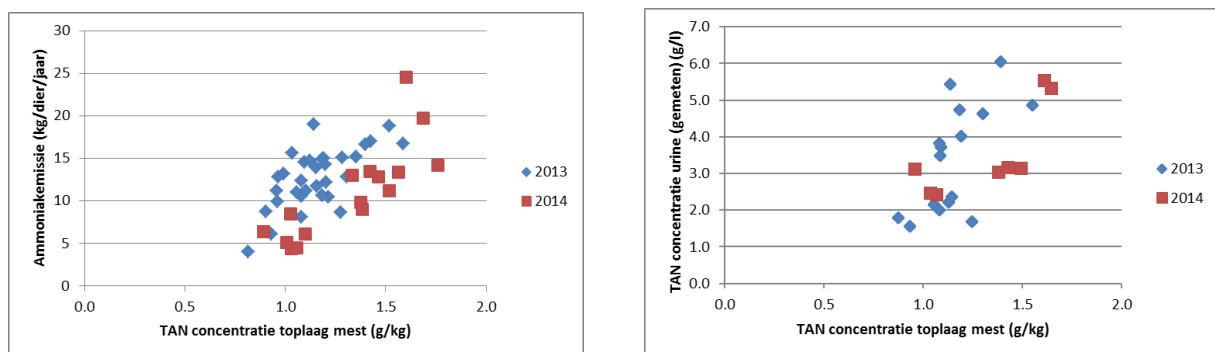
Beide experimenten zijn gezamenlijk geanalyseerd met de REML procedure voor linear mixed models in Genstat 18de editie. (VSN International, 2015).

Uit de resultaten blijkt dat zowel dat TAN excretie als TAN concentratie (gemeten in urine) een positieve relatie hebben met de ammoniakemissie (Figuur A)



Figuur A: Relatie tussen TAN excretie (links) en TAN concentratie (rechts) met ammoniakemissie.

Ook de TAN concentratie in de toplaag van de mest correleert positief met de ammoniakemissie (Figuur B;links). Ook het verband met de berekende TAN concentratie in urine (gemeten) is duidelijk (Figuur B;rechts). De relatie tussen TAN concentratie in de toplaag mest en de *berekende* TAN concentratie in urine is slechter.



Figuur B: Relatie tussen TAN concentratie in de toplaag mest en de ammoniakemissie (links) en TAN concentratie in urine (berekend).

De ammoniakemissie bleek het beste te schatten door gebruik te maken van twee parameters, in plaats van één. De twee relaties die het meest in aanmerking komen om te worden gebruikt voor het voorspellen van de invloed van voeding op de ammoniakemissie, zijn die waarbij melkureum (MU) of TAN excretie (TE) gecombineerd worden met urinevolume (UV).

Geconcludeerd wordt dat er een bruikbare dataset is gevormd waarmee de relaties tussen verschillende parameters (waaronder TAN excretie en TAN concentratie) en de ammoniakemissie kon worden onderzocht. Verklarende modellen waarin twee voorspellers worden opgenomen verbeterden de voorspelling van de ammoniakemissie in vergelijking met gebruik van één verklarende parameter. De parameters die de meest nauwkeurige beschrijving geven van de variatie in de ammoniakemissie zijn melkureum, TAN excretie, urinevolume en TAN concentratie (gemeten). Daarvan zijn de eerste drie het meest geschikt om op melkveebedrijven vast te leggen. Zo ontstaan twee modellen waarmee de ammoniakemissie berekend kan worden:

Ammoniakemissie (g/dier/dag) = e^Z

$$Z = 0,53 + 1,16 * MU - 0,19 * UV$$

of

$$Z = -2,42 + 1,28 * TE - 0,34 * UV$$

MU: Natuurlijk logaritme van ureumgehalte (mg/100 g melk)

UV: Natuurlijk logaritme van urine volume (l/dier/dag)

TE: Natuurlijk logaritme van TAN excretie (g/dier/dag)

Voor het vastleggen van rantsoen- en melkgegevens voor berekening van deze parameters ligt aansluiting bij de kringloopwijzer voor de hand.

1 Inleiding

Om de ammoniakemissie uit de melkveehouderij terug te dringen is een reeks van stalmaatregelen beschikbaar die beschreven worden in Bijlage 1 van de Regeling ammonia en veehouderij (Rav). Naast deze stalmaatregelen biedt de programmatische aanpak stikstof (PAS) bedrijven de mogelijkheid de ammoniakemissie verder terug te dringen via voer- en managementmaatregelen. Deze maatregelen staan beschreven in Bijlage 2 van de Rav. De reductie van de ammoniakemissie door voermaatregelen is gekoppeld aan een te bereiken ureumgetal in de tankmelk. Wanneer dat gedurende 3 kalenderjaren gemiddeld 19 mg per liter of lager is, mag een emissiereductie van 10% ingerekend worden. De onderbouwing daarvan is gebaseerd op een dataset van emissiemetingen op praktijkbedrijven en wordt beschreven in Ogink et al. (2014). Het melkureumgetal geldt daarbij als een borgingsparameter en wordt beïnvloed via de voeding.

Uitgangspunt voor emissiearme melkveevoeding is dat zowel totale stikstofverliezen in urine, uitgedrukt als TAN²-excretie, als de stikstofconcentratie in de urine, uitgedrukt als TAN-concentratie, van invloed zijn op de ammoniakemissie. Waar de veranderingen in de TAN-excretie vooral van invloed is op de vloeremissie heeft de TAN-concentratie en de daaraan gerelateerde TAN-concentratie in de toplaag van de mest, vooral invloed op de ammoniakemissie uit de kelder. De TAN-concentratie wordt bepaald door de totale TAN-excretie en door voerparameters die de wateropname en daarmee het urinevolume bepalen.

Voor verdere toepassing van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te verminderen bestaat behoefte aan verfijning van het instrument voor melkveehouders waarmee op basis van de duidelijke emissiebron-gerelateerde variabelen de ammoniakemissie geschat kan worden. Daarvoor moeten een aantal relaties en aannames verder onderbouw worden. Dit zijn:

- De relatie tussen berekende TAN-excretie en gemeten TAN-concentratie in urine;
- De relatie tussen berekende TAN-excretie en TAN-concentratie in de toplaag van de mest;
- De relatie tussen de berekende TAN-excretie, de gemeten TAN-concentratie in urine en de TAN-concentratie in de toplaag van de mest enerzijds en de (absolute of totale) gemeten ammoniakemissie anderzijds.

De onderbouwing van deze relaties vond in twee fasen plaats. In een vooronderzoek op een aantal praktijkbedrijven stonden de eerste twee relaties centraal en in het in dit rapport beschreven experimenteel onderzoek werden deze relaties opnieuw maar nu op groepsniveau en onder gecontroleerde omstandigheden bepaald en werd daarnaast de ammoniakemissie gemeten. Tegelijk werd in deze fase ook gezocht naar bruikbare en betrouwbare borgingsparameters wanneer gevonden relaties toegepast worden in ammoniakregelgeving.

1.1 Doelstelling en onderzoeksvragen

De eerste doelstelling van dit onderzoek is het op groepsniveau vaststellen van de relatie tussen stikstofexcretie en -concentratie in urine en de gemeten ammoniakemissie.

De tweede doelstelling is het identificeren van bruikbare en betrouwbare borgingsfactoren.

Uit deze doelstelling zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Wat is de relatie tussen TAN-excretie en TAN-concentratie aan de ene kant en de gemeten ammoniakemissie aan de andere kant?
- Wat is de relatie tussen de TAN-concentratie in de toplaag van de mest en de gemeten ammoniakemissie?
- Welke overige parameters zijn voor de praktijk bruikbaar als betrouwbare borgingsfactoren?

² TAN: Totaal ammoniakale N (stikstof) in kg. Voor de definitie en berekening van de TAN-excretie wordt aangesloten bij Velthof et al., (2009). Daarin wordt TAN omschreven als de som van de potentiële hoeveelheden ammoniak-N (NH₃-N) en ammonium-N (NH₄⁺-N) in urine.

1.2 Eerder onderzoek

Onderzoek naar de relatie tussen voeding en ammoniakemissie bij melkvee is niet nieuw. Al door Smits et al (1995) werd bij lacterende melkkoeien een 42% lagere ureumconcentratie in urine en een 39% lagere ammoniakemissie gevonden door een verlaging van de onbestendig eiwit balans (OEB) van 1060 naar 40 gram.

Tussen 1998 en 2002 heeft op proefbedrijf de Waiboerhoeve van het toenmalige Praktijkonderzoek Veehouderij uitgebreid onderzoek plaatsgevonden naar de relatie tussen voeding en ammoniakemissie uit de stal (van Duinkerken et al., 2005). Daarin stond het effect van verschillende ruwvoerrantsoenen (gras, mais of een combinatie daarvan) en het OEB niveau (0, 500 en 1000 gram) op de ammoniakemissie centraal. Naast de ingestelde voerparameters werd ook het melkureumgetal betrokken in de relaties met de ammoniakemissie. Dat resulteert in het volgende model:

$$\text{NH}_3\text{-emissie} = e^Z$$

Met

$$Z = 0,75 + 2,76 \cdot 10^{-2} \cdot (T-15) + 5,35 \cdot 10^{-2} \cdot U + 4,11 \cdot 10^{-4} \cdot U^2$$

Waarbij T staat voor de staltemperatuur in °C en U voor het ureumgetal in mg/100g melk waarmee de ammoniakemissie in kg/dier in een stalperiode van 190 dagen wordt berekend. Het effect van ureumconcentratie in urine op de ammoniakemissie wordt wel benoemd maar niet verder uitgewerkt. Dit onderzoek werd herhaald bij weidend vee met vergelijkbare uitkomsten (van Duinkerken et al., 2011).

Ogink et al., (2014) vonden in een dataset van 17 praktijkbedrijven ook een relatie tussen melkureum en de ammoniakemissie van 2,6% per punt. Het effect van de buitentemperatuur bedroeg 1,5% per graad Celsius.

Het eerder vermelde vooronderzoek naar de relatie tussen TAN-excretie en gemeten TAN-concentraties in urine en toplaag van de mest (Šebek et al, 2016) vond in 2013 plaats op negen praktijkbedrijven. Tijdens een week waarin de voersamenstelling en -opname van het vee nauwkeurig werd gemeten, zijn tevens monsters van urine en mest genomen en geanalyseerd op totaal-N en ureum-N in urine en totaal-N en ammonium-N in mest. Daarnaast zijn gegevens verzameld over het aantal aanwezige dieren en hun melkproductie en is van 10 dieren de TAN-concentratie in de urine bepaald en het geproduceerde urinevolume berekend. Mestmonsters werden genomen van de toplaag van de mest in de kelder. Hieruit bleek dat de berekende TAN-excretie op basis van voergegevens goed overeenkwam met de TAN-excretie berekend op basis van de gemeten TAN-concentratie in de urine en het berekende volume urine. Een goede, zij het iets minder sterke, relatie werd gevonden tussen de TAN-excretie berekend op basis van voerparameters en de gemeten TAN-concentratie in urine.

De relatie tussen de TAN-excretie en de TAN-concentratie in de toplaag van de mest bleek echter slecht te zijn. De TAN-concentratie in de toplaag van de mest bleek wel goed te correleren met de TAN-concentratie in de urine. Factoren die het urinevolume bepalen varieerden kennelijk anders dan de factoren die zorgden voor de spreiding van de TAN-excretie. Wellicht was ook het feit dat de gegevens afkomstig waren van negen deelnemers aan het Koeien & Kansen project, dat gericht is op vermindering van de stikstofverliezen op melkveebedrijven, van invloed. Hierdoor lag het niveau van de TAN-excretie naar verwachting lager dan een gemiddeld melkveebedrijf en was de spreiding kleiner.

Helaas was het tijdens de praktijkmetingen niet mogelijk de ammoniakemissie uit de stallen te meten. De relatie tussen TAN-concentratie in de urine en de toplaag van de mest aan de ene kant en de ammoniakemissie aan de andere kant kon daarom niet onderbouwd worden. Ook kon de directe relatie tussen de berekende TAN-excretie en de ammoniakemissie niet worden onderzocht. Geconcludeerd werd dat voor verdere onderbouwing en verdieping van genoemde relaties een experiment met herhaalde waarnemingen binnen eenzelfde stal en met mogelijkheden tot sturing van rantsoenen nodig is.

1.3 Leeswijzer

In dit rapport wordt verslag gedaan van deze experimentele fase. Twee experimenten werden uitgevoerd. In hoofdstuk 2 wordt de opzet van deze experimenten besproken en in hoofdstuk 3 de resultaten inclusief discussie. Hoofdstuk 4 bevat vervolgens de conclusies.

2 Opzet experimenteel onderzoek

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen is onderzoek uitgevoerd op proeffaciliteit Dairy Campus in twee experimenten. In beide experimenten is het gevoerde rantsoen (ruwvoer en krachtvoer) zodanig gevarieerd dat er sprake was van twee niveaus in TAN-excretie en TAN-concentratie die gecombineerd tot vier behandelingen leidden. Oorspronkelijk was het de opzet dit in één experiment uit te voeren maar doordat er bij de instelling van de krachtvoerautomaten een fout optrad in de krachtvoervertrekking zijn de beoogde contrasten van de TAN-excretie in de behandelingen gerealiseerd. Daarom werd, gebruik makend van de ervaringen in het eerste experiment, een tweede experiment uitgevoerd waarin dat contrast wel werd gerealiseerd. De opzet van beide experimenten komen in dit hoofdstuk aan bod.

2.1 Experiment 1 (2013)

2.1.1 Proefopzet

In het eerste experiment is de TAN-excretie en de TAN-concentratie in de urine ieder op twee niveaus vastgelegd. De niveaus werden ingesteld door te variëren in rantsoensamenstelling (zowel het ruwvoerdeel als het krachtvoerdeel). De TAN-excretie had een beoogd niveau van 140 en 260 gram per dier per dag en de TAN-concentratie was ingesteld op een laag en op een hoog niveau door toevoeging van extra voederzout aan het ruwvoer. Door combinatie van deze twee proeffactoren ontstonden vier behandelingen (tabel 1).

Tabel 1 Overzicht van behandelingen en beoogde instelling proeffactoren in experiment 1.

Behandeling	TAN-excretie	TAN-concentratie
1 (260L)	260	Laag (L)
2 (140L)	140	Laag (L)
3 (260H)	260	Hoog (H)
4 (140H)	140	Hoog (H)

Het eerste experiment werd opgezet als een Latijns vierkant met vier behandelingen die in vier periode door loting werden toegewezen aan de vier afdelingen volgens onderstaand schema (tabel 2).

Tabel 2 Overzicht verdeling behandelingen over afdelingen en perioden in experiment 1.

Periode	Afdeling 1	Afdeling 2	Afdeling 3	Afdeling 4
1	260L	140H	260H	140L
2	140H	140L	260L	260H
3	260H	260L	140L	140H
4	140L	260H	140H	260H

Elke periode duurde drie weken en bestond uit twee aanpassingsweken en een meetweek.

2.1.2 Rantsoenen

Het rantsoen was per behandeling verschillend en bestond uit twee delen. Het ruwvoerdeel bestond voornamelijk uit graskuil, snijmaïs en stro aangevuld met enkele enkelvoudige voeders en mineralen en werd als totaal gemengd rantsoen (TMR) 's ochtends aan het voerhek op groepsniveau verstrekt. Het krachtvoerdeel werd via de krachtvoerboxen en in de melkstal individueel verstrekt. In tabel 3 worden per behandeling de hoeveelheden van de verschillende componenten van het TMR weergegeven en in tabel 4 de hoeveelheden krachtvoer per behandeling en productieniveau.

Tabel 3 Overzicht van rantsoensamenstelling TMR per behandeling tijdens experiment 1 in kg ds per dier.

Rantsoen	TAN140	TAN140	TAN260	TAN260
	Laag	Hoog	Laag	Hoog
Graskuil	6,0	6,0	12,8	12,8
Snijmaïs	8,0	8,0	3,2	3,2
Stro	0,5	0,5	0,4	0,4
Aminomax	-	-	1,0	1,0
Soja (bestendig)	2,0	2,0	-	-
Protiwanze (TGC ¹)	2,0	2,0	2,0	2,0
Smulsiroop	0,7	0,7	0,7	0,7
Voederkalk	0,1	0,1	0,1	0,1
DairyFit Lact. nP	0,16	0,16	0,16	0,16
Magnesiumoxide (gries)	0,04	0,04	0,04	0,04
Voederzout	1,0	-	1,0	-
Totaal TMR	20,5	19,5	21,4	20,4

¹ Tarwegistconcentraat

Tabel 4 Overzicht van krachtvoer soorten en beoogde krachtvoergiften per behandeling tijdens experiment 1 in kg per dier.

Periode	Soort	Productieniveau	140	140	260	260
			Laag	Hoog	Laag	Hoog
Melkstal	Stimulans Rendement	Laag	2,0	2,0	2,0	2,0
Krachtvoerbox	Proefbrok 6600	Laag	1,0	1,0	2,0	2,0
Melkstal	Stimulans Rendement	Midden	3,0	3,0	2,0	2,0
Krachtvoerbox	Proefbrok 6600	Midden	1,5	1,5	3,5	3,5
Melkstal	Stimulans Rendement	Hoog	5,0	5,0	2,0	2,0
Krachtvoerbox	Proefbrok 6600	Hoog	1,5	1,5	5,5	5,5

2.2 Experiment 2 (2014)

2.2.1 Proefopzet

In het tweede experiment zijn weer beide parameters TAN-excretie en TAN-concentratie gevarieerd. Op basis van de ervaringen in het eerste experiment is het contrast in de TAN-excretie vergroot en kreeg dit een beoogd niveau van 200 en 400 gram per dier per dag. De TAN-concentratie werd opnieuw ingesteld op een laag en op een hoog niveau door toevoeging van extra voederzout. Het hoofddoel van dit experiment was de vaststelling van het effect van TAN-excretie dat in het eerste experiment niet goed tot uiting was gekomen door verkeerde krachtvoergiften. Hierom, en vanwege efficiëntieoverwegingen, is ervoor gekozen de behandeling TAN-concentratie te verstrengelen met periode. Zo ontstonden twee behandelingen (zie tabel 5) waarbij door de toevoeging van voederzout de beoogde TAN-concentratie binnen een periode voor beide behandelingen gelijk is gehouden.

Tabel 5 Overzicht verdeling behandelingen over afdelingen en perioden in experiment 2.

Behandeling	TAN-excretie	TAN-concentratie
1	400	Laag (L)
2	200	Laag (L)
3	400	Hoog (H)
4	200	Hoog (H)

Het tweede experiment is opgezet als een wisselproef waarbij de twee niveaus TAN-excretie kruislings zijn toegewezen aan twee afdelingen en na afloop van de eerste periode zijn gewisseld. Zo ontstond het volgende schema (zie tabel 6).

Tabel 6 Overzicht verdeling behandelingen over afdelingen en perioden in experiment 2.

Periode	Afdeling 1	Afdeling 2	Afdeling 3	Afdeling 4
1	200H	400H	200H	400H
2	400L	200L	400L	200L

Elke periode bestond weer uit drie weken waarvan de eerste twee weken als aanpassingsweken werden beschouwd en de derde week als meetweek.

2.2.2 Rantsoenen

De opzet van de rantsoenen in experiment 2 was vergelijkbaar met die in experiment 1. Binnen een periode is de totale hoeveelheid mineralen bijgestuurd door toevoeging van voederzout om vergelijkbare TAN-concentratie te krijgen. Tussen de periodes is een verschil in TAN-concentratie aangelegd door toevoeging van (extra) voederzout. De rantsoenen zijn weergegeven in tabel 7 (TMR) en in tabel 8 (krachtvoer).

Tabel 7 Overzicht van rantsoensamenstelling TMR per behandeling tijdens experiment 2 in kg ds per dier.

Rantsoen	200 Hoog	400 Hoog	200 Laag	400 Laag
Graskuil	4,0	9,5	4,0	9,5
Snijmaïs	10,4	2,2	10,4	2,2
Stro	0,5	0,5	0,5	0,5
Aminomax	0,5	2,1	0,5	2,1
Soja (bestendig)	0,4	0,4	0,4	0,4
Protiwanze (TGC ¹)	1,0	1,0	1,0	1,0
Smulsiroop	0,5	0,5	0,5	0,5
Voederkalk	0,1	0,1	0,1	0,1
DairyFit Lact. nP	0,16	0,16	0,16	0,16
Magnesiumoxide (gries)	0,04	0,04	0,04	0,04
Voederzout	-	0,4	0,3	1,0
Totaal TMR	17,6	16,9	17,9	17,5

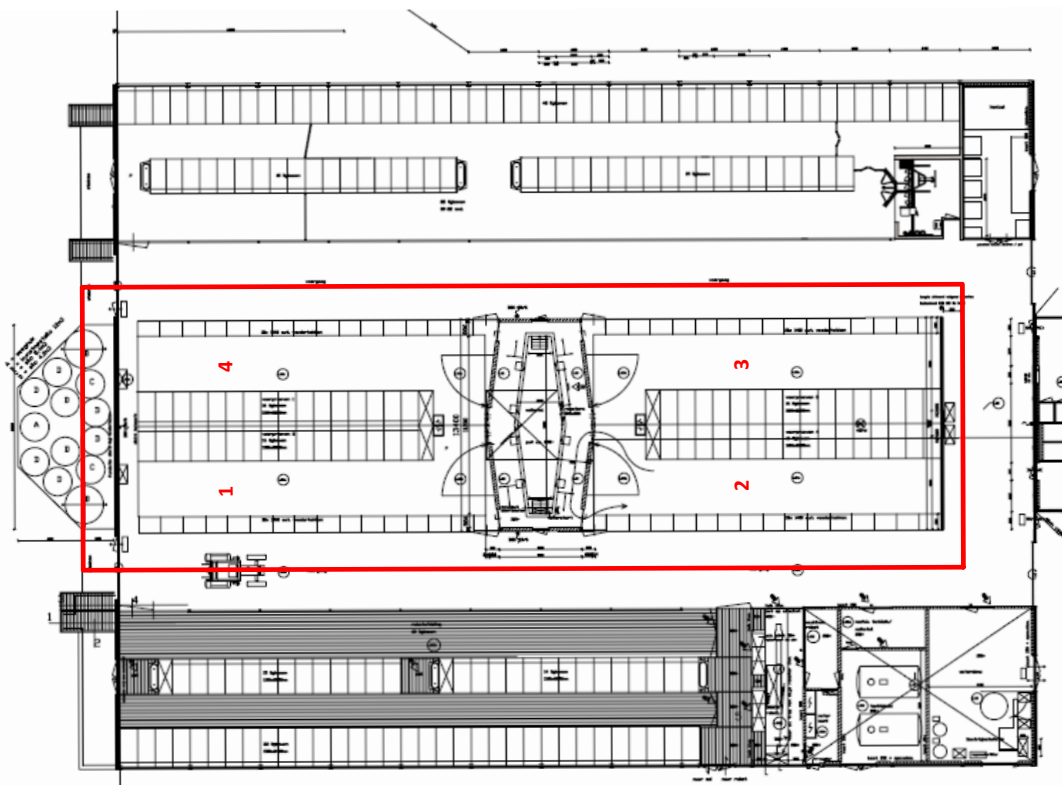
¹ Tarwegistconcentraat

Tabel 8 Overzicht van krachtvoer soorten en -giftten per behandeling tijdens experiment 2 in kg per dier.

Periode	Soort	Productieniveau	200 Hoog	400 Hoog	200 Laag	400 Laag
Melkstal	Stimulans Rendement	Laag	2,0	2,0	2,0	2,0
Krachtvoerbox	Stimulans Rendement	Laag	3,0	-	3,0	-
	Proefbrok 6600	Laag	1,0	4,0	1,0	4,0
Melkstal	Stimulans Rendement	Midden	2,0	2,0	2,0	2,0
Krachtvoerbox	Stimulans Rendement	Midden	4,0	-	4,0	-
	Proefbrok 6600	Midden	1,0	5,0	1,0	5,0
Melkstal	Stimulans Rendement	Hoog	2,0	2,0	2,0	2,0
Krachtvoerbox	Stimulans Rendement	Hoog	5,0	-	5,0	-
	Proefbrok 6600	Hoog	1,0	6,0	1,0	6,0

2.3 Beschrijving meetunit Dairy Campus

Beide experimenten vonden plaats op Dairy Campus. Dairy Campus is een melkveebedrijf, onderdeel van Wageningen Livestock Research in Leeuwarden. In een stal voor ongeveer 180 melkkoeien is in het midden een gedeelte gereserveerd voor het doen van emissieonderzoek. Deze meetunit ammoniakemissie bestaat uit vier afdelingen, ieder met plek voor 16 dieren (zie **figuur 1**). De afdelingen zijn ingedeeld als een 1-rijige ligboxenstal met een loopgang van 3,5 meter breed achter het veiligheidsvoerhek. De loopgang bestaat uit een betonnen roostervloer waarover om de twee uur een roosterschuiф loopt. Elke afdeling is verder voorzien van een krachtvoerbox en een waterbak. De afdelingen zijn gegroepeerd rond een vier maal twee stands open tandem melkstal waar alle dieren twee keer per dag gemolken worden. Elke stand is voorzien van een melkmeter. In de melkstal bestaat de mogelijkheid om krachtvoer te voeren. De afdelingen bevinden zich midden in de stal met aan elke kant een voergang. De afdelingen zijn geheel onderkelderd maar zonder verbinding tussen de afdelingen onderling of de rest van de stal. Ook boven de roosters zijn de afdelingen van elkaar gescheiden door een tentconstructie van enigszins lichtdoorlatende folie (zie **figuur 2**).



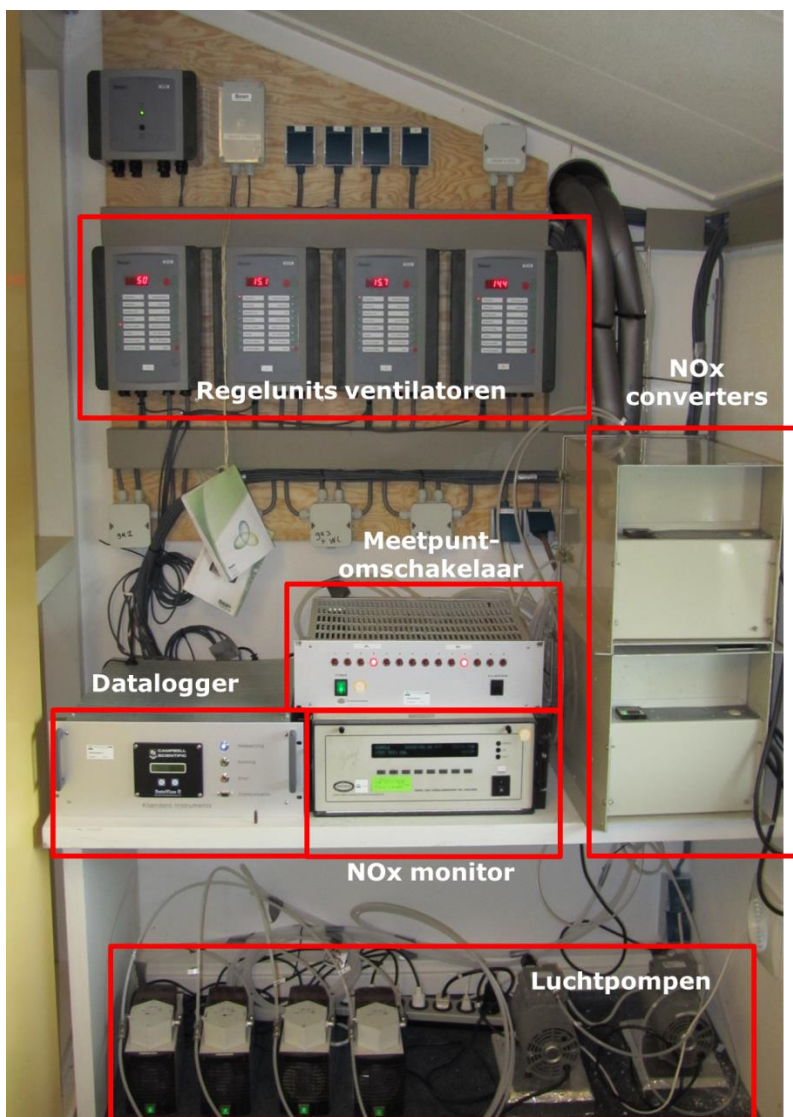
Figuur 1 Plattegrond van Dairy Campus met centraal daarin de vier genummerde afdelingen van de meetunit.

Deze tent is aan de voorkant, bij het voerhek, voorzien van een gordijn dat opgetrokken kan worden. Hiermee wordt de luchtinlaat in de afdelingen geregeld. De onderkant van het gordijn hangt op een hoogte van ca. 50 cm. Alleen tijdens het voeren gaat het gordijn helemaal omhoog. De ingaande lucht is afkomstig uit de rest van de stal. In het dak van de afdelingen zijn twee ventilatoren (Fancom) met een diameter van 80 cm gemonteerd voor de afvoer van de lucht. Elke ventilator heeft volgens fabrieksopgave een maximale capaciteit van 20.750 m³ per uur bij 0 Pa tegendruk en 19.050 m³ per uur bij 30 Pa tegendruk. In elke afdeling is één van de ventilatoren is voorzien van een meet- en smoorunit (Fancom ATM80). Van een meet- en smoorunit van dit type is voor de bouw van de meetunit de relatie tussen debiet en uitgangssignaal bepaald door DLG in Duitsland. Deze ventilatiekromme wordt gebruikt voor het berekenen van het ventilatieniveau. Het ventilatieniveau in elke afdeling wordt onafhankelijk geregeld door een klimaatcomputer (Fancom FC14) die beide ventilatoren simultaan aanstuurt op basis van het signaal uit de meet- en smoorunit. Verder is de afdeling uitgerust met verlichting (2 stuks) en wordt de temperatuur en luchtvochtigheid continue gemeten.



Figuur 2 *Zicht op afdeling 1 van de meetunit. Het gordijn voor regeling van de luchtinlaat is omhoog. In de afdelingen zijn de twee ventilatoren voor de luchtafvoer te zien.*

In elke ventilatiekamer is een monsterleiding aangebracht voor de bemonstering van de uitgaande lucht. Deze leidingen (8 stuks in totaal) lopen naar een meetpuntomschakelaar (MPO) (zie **figuur 3**). Aan de onderkant van elk gordijn zijn 4 monsterpunten aangebracht voor de bemonstering van de ingaande lucht. De luchtflow van elk punt wordt beperkt door een capillair. Deze vier monsterpunten per afdeling worden samengebracht tot één monsterleiding per afdeling (vier in totaal) die ook naar de MPO loopt. Deze MPO heeft 12 ingangen verdeeld over twee kanalen (A en B). Per kanaal wordt één ingang gedurende 10 minuten verbonden met een NO_x-monitor die de concentratie NO_x in de aangeboden luchtstroom meet. Om de aanwezige ammoniak om te zetten naar NO_x zijn beide kanalen voorzien van een converter die onder hoge temperaturen het aanwezige ammoniak (NH₃) omzet naar NO_x. Gemiddelde concentraties per meetpunt worden elke minuut opgeslagen door een datalogger (Campbell Scientific CR1000) die tevens de MPO aanstuurt. Naast de ammoniakconcentratie slaat de datalogger ook elke minuut het ventilatieniveau per afdeling op en elk kwartier de gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid in elke afdeling, op de twee voergangen en van de buitenlucht.



Figuur 3 Overzicht van meetopstelling voor ammoniakemissiemetingen.

2.4 Groepsindeling dieren

In beide experimenten werden, uit de op dat moment aanwezig en beschikbare dieren, 16 blokken van 4 dieren gemaakt met vergelijkbaar productieniveau en lactatiestadium. Vijf van deze blokken bevatten dieren met een laag productieniveau, vijf bevatten dieren met een gemiddeld productieniveau (midden) en zes blokken bevatten dieren met een hoog productieniveau. De vier dieren uit elk blok werden vervolgens random aan een afdeling toegewezen. Dieren die door droogzetten de groep moesten verlaten werden vervangen door dieren met een vergelijkbaar productieniveau en lactatiestadium.

2.5 Waarnemingen en berekeningen

TAN-excretie en TAN-concentratie

De TAN-excretie werd berekend als het verschil tussen de opname van verteerbare stikstof via ruw- en krachtvoer (VRE) en de stikstofuitscheiding met de melk (eiwitproductie) rekening houdend met een kleine post voor aanzet in het dier (4 gram). De gebruikte formule hiervoor is afkomstig uit Šebek et al. (2016):

$$TAN = \frac{VRE}{6,25} - \frac{MP * \frac{Eiwit\%}{100} * 1000}{6,38} - 4$$

Met:

TAN: Totaal ammoniakale stikstof excretie (g/dier)

VRE: Verteerbaar ruw eiwit opname (g/dier)

MP: Melkproductie (kg/dier)

Eiwit%: Eiwitgehalte in melk (%)

De TAN-concentratie is berekend door de TAN-excretie te delen door het volume urine. Het urinevolume is berekend uit balans tussen inname van N, K en Na in het ruw- en krachtvoer en de uitscheiding met melk volgens een formule van Bannink et al. (1999):

$$Uvol = 1,3441 + VO (1,079 * Na\% + 0,5380 * K\% + 0,1266 * N\%) - MP(0,1216 + 0,0275 * Eiwit\%)$$

Met:

Uvol: Hoeveelheid urine (kg/dag)

VO: voeropname ruw- en krachtvoer (kg ds/dag)

Na%: gehalte natrium

K%: gehalte kalium

N%: gehalte stikstof

MP: Melkproductie (kg/dier)

Eiwit%: Eiwitgehalte in melk (%)

Ammoniakemissie

Het ventilatieniveau in de afdelingen was in beide experimenten ingesteld op 40% van de maximale capaciteit (21.000 m³/h). Daarmee bedroeg het ventilatiedebiet per dier ongeveer 1.000 m³/uur. De opgeslagen minuutwaarden van de ammoniakconcentratie werden per ventilator gemiddeld tot uurwaarden. Ook de opgeslagen minuutwaarden van het ventilatiedebiet werden per afdeling gemiddeld tot uurwaarden. De ammoniakemissie per afdeling per uur werd vervolgens berekend volgens:

$$\frac{(C_{uit} - C_{in}) * 17}{24 * 1000} * V \quad (1)$$

Met

C_{uit}: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht gemiddeld over de twee ventilatoren

C_{in}: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie van de ingaande lucht

V: het uurgemiddelde ventilatiedebiet

Op basis van de uurgemiddelde ammoniakemissie werd de ammoniakemissie per dag uitgerekend. Omdat tijdens het voeren de gordijnen die de luchtinlaat regelen omhoog staan werden de emissiecijfers tussen 6:00 en 10:00 niet meegenomen.

Mestniveau

Wekelijks werd per afdeling het mestniveau in de kelder bepaald door het gemiddelde te nemen van bepalingen op vijf verschillende plaatsen in de afdeling.

Monsternamen en analyse toplaag mest

In week 3 van elke periode werd op twee dagen een monster genomen van de toplaag van de mest door met een afgeplatte tepelbeker op 10 willekeurige plekken in de afdeling een hoeveelheid mest te verzamelen en na goede menging in een emmer daaruit een monsterpot te vullen. De monsters werden geanalyseerd door het Servicelab van Wageningen UR Livestock Research op DS, as, N-totaal, N-NH₃, P, K en pH.

Monsternamen en analyse urinemonsters

In week 3 van elke periode werd op twee dagen in elke afdeling van 5 koeien een urinemonster genomen. Deze monsters van minimaal 100 ml werden direct gekoeld en door het Servicelab van Wageningen UR Livestock Research geanalyseerd op ureum- en ammoniumgehalte.

Melkproductie en -controle

De melkproductie per dier is elk melkmaal gemeten met elektronische melkmeters en vastgelegd in de databank voor onderzoeksgegevens. In week 2 en 3 van elke periode werden van elk dier op twee achtereenvolgende dagen melkmonster genomen. De analyse van deze monsters op vet, eiwit, lactose, ureum en celgetal werd door Qlip uitgevoerd.

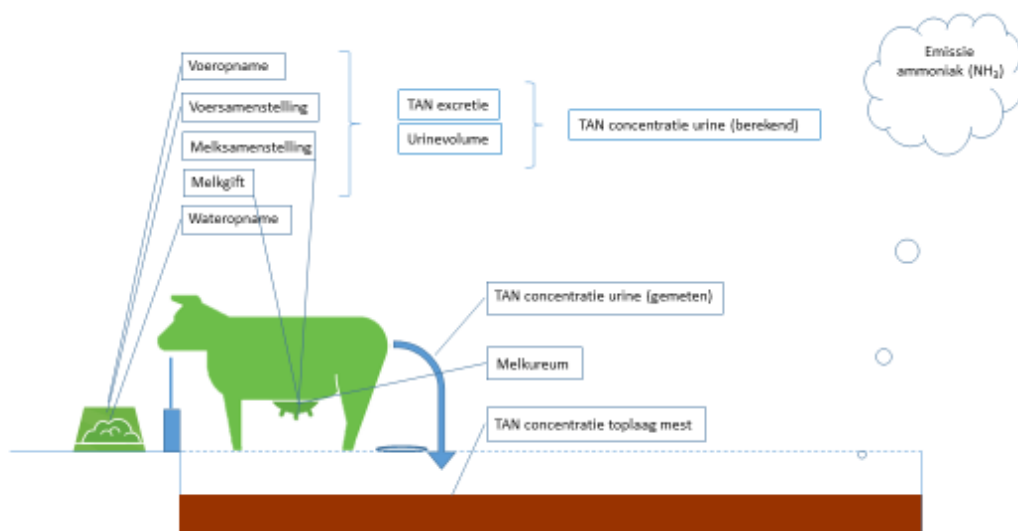
Wateropname

Alle dieren kregen onbeperkt drinkwater tot hun beschikking. De wateropname werd per afdeling geregistreerd via watermeters in de toevoerleiding van de drinkwaterbak. De watermeters werden wekelijks afgelezen.

Voeropname en -samenstelling

Ruwvoer werd eenmaal daags ('s ochtends) onbeperkt aan het voerhek verstrekt. Per rantsoen werden de dagelijks afgewogen hoeveelheden van alle componenten vastgelegd. Op drie dagen (maandag, woensdag en vrijdag) werden de voerresten per groep verzameld en gewogen. De overige dagen werden de voerresten geschat. De krachtvoergiften in de voerboxen en de melkstal worden per koe geregistreerd.

Elke dag werd van elke afdeling van het gevoerde ruwvoermengsel een monster genomen voor drogestof bepaling. Van de afzonderlijke gevoerde componenten werd minimaal een keer per week een monster voor drogestof bepaling genomen. In week 2 en 3 van elke periode werd van alle ruwvoerders, enkelvoudige voeders en krachtvoerders een monster genomen voor voederanalyse. Deze voermonsters werden opgeslagen bij -20°C. Aan het einde van de proef werden gepoolde monsters gemaakt voor analyse door BLGG op DS, as, N (ruw eiwit), NDF, ruw vet, zetmeel en in vitro verteerbaarheid. Van de mineralen werden geen monsters genomen.



Figuur 4 Schematisch overzicht van waarnemingen en berekeningen (zie ook Bijlage 1).

2.6 Statistische analyse

De behandelingseffecten zijn, voor beide experimenten afzonderlijk, geanalyseerd met de ANOVA procedure in Genstat 18 (VSN International, 2015). Experiment 1 is opgezet als een Latijns Vierkant en volgens bijbehorend model geanalyseerd:

$$E = C + \text{afdeling} + \text{periode} + \text{behandeling} + \varepsilon$$

Met

E : Natuurlijk logaritme van ammoniakemissie in g/dag

C : Constante

Behandeling : De combinatie van de effecten van beoogde TAN-excretie en TAN-concentratie en de interactie daartussen.

ε : Restvariantie

Bij de analyse zijn de gemiddelden per 7 meetdagen (maandag tot maandag) genomen.

Experiment 2 is geanalyseerd met het volgende model:

$$E = C + \text{TANconcentratie} + \text{TANVooraf} + \text{TANconcentratie.TANexcretie} + \varepsilon$$

Met

E : Natuurlijk logaritme van ammoniakemissie in g/dag

C : Constante

TANVooraf : de beoogde TAN-excretie

TANConcentratie : de beoogde TAN-concentratie.

ε : Restvariantie

Bij de analyse zijn de gemiddelden per 7 meetdagen (maandag tot maandag) genomen.

Vervolgens zijn beide experimenten gezamenlijk geanalyseerd met de REML procedure voor *linear mixed models* in Genstat 18 (VSN International, 2015) met het volgende model:

$$y_{j,a,p} = \alpha + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \varepsilon_{j,a,p}$$

Met

y : Natuurlijk logaritme van ammoniakemissie in g/dag

j : Experiment (1,2)

a : Afdeling (1,2,3,4)

p : Periode (1,2,3,4)

α : Constante

x_{1-3} : Voorspellers (op ln-schaal) beginnend met een enkele tot maximaal drie voorspellers.

β_{1-3} : bijbehorende regressiecoëfficiënten

$\varepsilon_{j,a,p}$: restvariantiecomponent voor experiment (j), afdeling (a) en periode (p)

Analyse vond plaats met verschillende modelvarianten.

Variant 1: model met een verschillende *residual error* per experiment (j), een random interactieterm $\text{experiment*voorspeller}$ (X) en random termen experiment , $\text{experiment.afdeling}$, $\text{experiment.periode}$ en $\text{experiment.afdeling.periode}$.

Variant 2: als variant 1 maar zonder de verschillende *residual error* per experiment (j).

Variant 3: als variant 2 maar zonder de random interactieterm $\text{experiment*voorspeller}$ (X).

Bij de beoordeling van de verschillende modellen en voorspellers spelen de volgende criteria een rol:

- Is gezamenlijke analyse zonder onderscheid te maken naar experiment gerechtvaardigd?
- In welke mate verschilt de restvariantie tussen de beide experimenten?
- Zijn de voorspellers algemeen geldig of wisselt de bijdrage tussen experimenten?
- Hoe groot is de totale onverklaarde variantie?
- Zijn de regressiecoëfficiënten significant?
- Zijn de voorspellers onafhankelijk van elkaar bij combinatie van meerdere voorspellers?

3 Resultaten en discussie

3.1 Uitvoering

Experiment 1 ging van start op vrijdag 2 augustus 2013 en duurde tot en met donderdag 7 november. Wisselingen in het rantsoen vonden per periode, om de drie weken plaats. De wisselingen in het ruwvoerrantsoen zijn uitgevoerd zoals aangegeven in tabel 3. De wisselingen in de krachtvoergift zijn echter foutief verlopen. Er hebben geen wisselingen plaatsgevonden waardoor de instellingen van de eerste periode gedurende het hele experiment gehandhaafd bleven. Omdat het krachtvoerdeel een belangrijk deel uitmaakt van het totale rantsoen als het gaat om het voeren op een verschil in TAN excreties, werden de beoogde verschillen in TAN-excretie niet gerealiseerd. Tabel 9 geeft een overzicht van de foutieve behandelingen. Omdat de instelling van de TAN concentratie geheel via het ruwvoerdeel liep, hebben zich daar geen problemen voorgedaan.

Tabel 9 Overzicht geslaagde (groen) en mislukte (rood) behandelingen in experiment 1.

Periode	Afdeling 1	Afdeling 2	Afdeling 3	Afdeling 4
1	260L	140H	260H	140L
2	140H	140L	260L	260H
3	260H	260L	140L	140H
4	140L	260H	140H	260H

In de statistische analyse zijn wel de resultaten van elke periode meegenomen, waarbij de gerealiseerde TAN-excreties zijn gebruikt. Door deze fout kon de onderzoeksvraag naar de relatie tussen TAN-excretie en ammoniakemissie niet goed meer beantwoord worden en is besloten om een tweede aanvullend experiment uit te voeren. Op basis van de ervaringen met het realiseren van de beoogde niveaus in TAN-excretie in experiment 1 is in experiment 2 gekozen voor grotere contrasten (zie paragraaf 2.2).

Experiment 2 ging van start op vrijdag 31 januari 2014 en duurde tot donderdag 13 maart 2014. Wisseling van het rantsoen vond per periode, na de drie weken plaats.

3.2 Waarnemingen en berekeningen

In onderstaande paragrafen worden de resultaten van de belangrijkste waarnemingen weergegeven, steeds als gemiddelde per behandeling. Daarvoor zijn de waarnemingen in de derde week van elke periode genomen.

3.2.1 Temperatuur

Gedurende beide experimenten is zijn de volgende gemiddelde temperaturen gemeten in de afdelingen, de rest van de stal en buiten (

tabel **10**).

Tabel 10 Overzicht van gemiddelde temperaturen per behandeling in °C.

Behandeling		Afdeling	Stal	Buiten
<i>Experiment 1</i>				
140	H	16,6	15,2	13,2
140	L	16,4	15,2	13,2
260	H	16,3	15,2	13,2
260	L	16,4	15,2	13,2
<i>Experiment 2</i>				
200	H	11,4	9,9	6,5
200	L	13,1	12,2	9,1
400	H	11,2	9,9	6,5
400	L	13,1	12,2	9,1

De buitentemperaturen en de temperaturen in zowel de afdelingen als de rest van de stal waren in het eerste experiment voor alle afdelingen vrijwel gelijk. In het tweede experiment is de temperatuur in de tweede ronde (TAN-concentratie is L) iets hoger (1,7-1,9 °C). Van Duinkerken et al (2003) en Ogink et al (2014) vonden allebei een effect van temperatuur op de ammoniakemissie (respectievelijk 2,7% en 1,5% per °C). Door de opzet van de experimenten is de invloed van temperatuur op de resultaten verkleind. Er zijn geen significante periode effect gevonden en daarom is het aannemelijk dat temperatuurverschillen die in de loop van het experiment zijn opgetreden geen belangrijk effect hebben gehad op de ammoniakemissie. Bij toepassing van de gevonden relaties tussen voorspellers en ammoniakemissie in de praktijk moet nog wel met het temperatuureffect rekening worden gehouden.

3.2.2 Voeropname

In tabel 11 is de opname van ruwvoer en krachtvoer per behandeling weergegeven in kg ds/dier/dag zoals die is gerealiseerd tijdens het experiment.

Tabel 11 Gemiddelde voeropname per behandeling in kg ds per dier per dag.

Behandeling		Totaal	Ruwvoer	Krachtvoer
<i>Experiment 1</i>				
140	H	22,9	18,4	4,5
140	L	23,6	19,0	4,6
260	H	21,6	17,2	4,4
260	L	21,8	17,2	4,6
<i>Experiment 2</i>				
200	H	21,6	15,4	6,2
200	L	23,1	17,1	6,0
400	H	22,6	16,4	6,2
400	L	22,1	15,9	6,2

De verschillen in voeropname bleven zowel tussen behandelingen als tussen experimenten beperkt. Op basis van deze voeropname en de voersamenstelling die voor het hele rantsoen en de verschillende componenten bepaald werd, is de VRE en OEB opname en de opname van N, K en Na berekend zoals weergegeven in

tabel **12.**

Tabel 12 Gemiddelde opname per behandeling van VRE, OEB, N, K en Na in g/dier/dag]

Behandeling		VRE	OEB	N	K	Na
<i>Experiment 1</i>						
140	H	2990	238	656	411	50
140	L	2953	244	647	404	408
260	H	2685	644	594	493	60
260	L	2621	642	579	472	409
<i>Experiment 2</i>						
200	H	1892	-30	487	352	45
200	L	1932	-121	498	365	155
400	H	3147	995	710	530	198
400	L	3060	1002	689	485	427

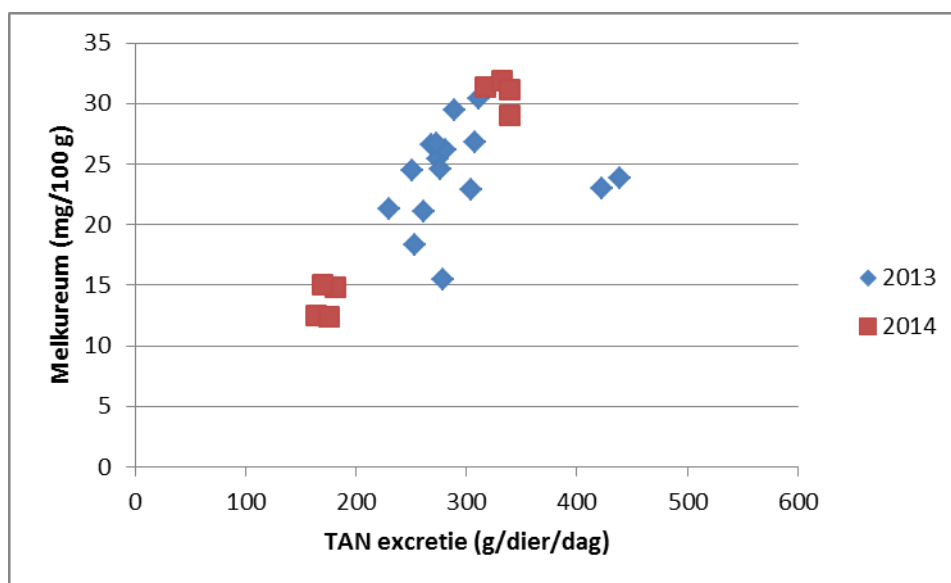
3.2.3 Melkgift en –samenstelling

In tabel 13 is een overzicht gegeven van de gemiddelde melkproductie en samenstelling.

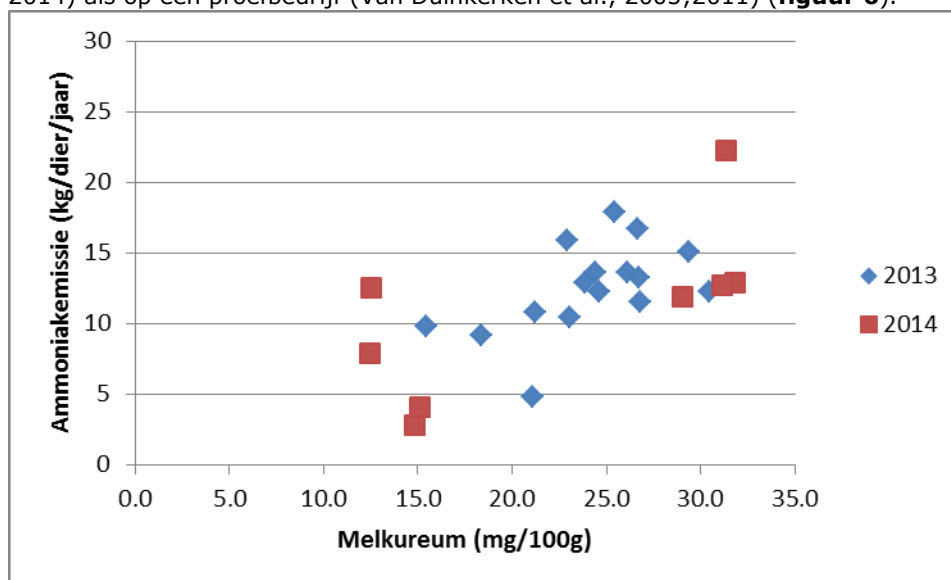
Tabel 13 Overzicht van gemiddelde melkgift en –samenstelling.

Behandeling		Melkgift kg/dier/dag	Vet %	Eiwit %	Lactose %	Ureum mg/100 g	Celgetal x 1000
<i>Experiment 1</i>							
140	H	26,8	4,5	3,6	4,5	25	162
140	L	26,4	4,5	3,6	4,5	21	139
260	H	24,3	4,6	3,6	4,5	27	153
260	L	23,5	4,6	3,6	4,4	23	165
<i>Experiment 2</i>							
200	H	25,4	4,7	3,6	4,6	12	173
200	L	25,1	4,6	3,7	4,5	15	287
400	H	28,1	4,6	3,7	4,5	32	247
400	L	26,5	4,5	3,7	4,5	30	115

Melksamenstelling week tussen de behandelingen en experimenten niet wezenlijk af behalve het melkureumgehalte waarin, met name in experiment 2, duidelijk de behandelingen tot uiting kwamen. De relatie tussen TAN-excretie en melkureum is weergegeven in **figuur 5**.

**Figuur 5** Relatie tussen TAN excretie en melkureum.

De relatie tussen melkureum en ammoniakemissie is eerder gevonden, zowel in praktijk (Ogink et al., 2014) als op een proefbedrijf (Van Duinkerken et al., 2005;2011) (**figuur 6**).



Figuur 6 Relatie tussen melkureum en ammoniakemissie.

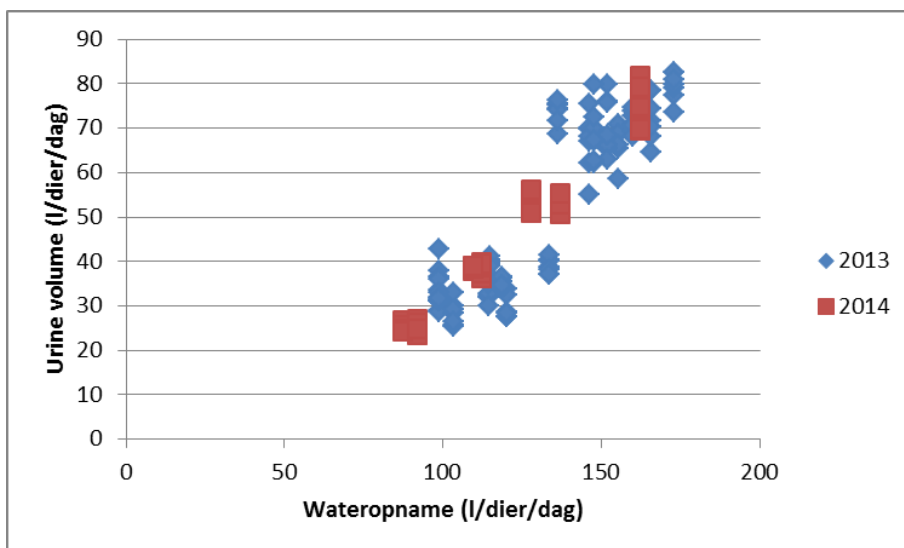
3.2.4 Wateropname, urinevolume en mestproductie

In tabel 14 is de gemiddelde wateropname per dier per dag voor de verschillende behandelingen weergegeven. De extra zoutgift is daarin goed terug te zien. Ook in de drijfmestproductie (feces en urine) die op basis van de metingen van het mestniveau is uitgerekend is het effect van de extra zoutgift terug te vinden. Aan de absolute waarde van de mestproductie moet echter minder waarde worden gehecht door de betrekkelijke onnauwkeurigheid van de bepaling van de mesthoogte.

Tabel 14 Gemiddelde wateropname, urinevolume en mestproductie per behandeling in liter/dier/dag.

Behandeling		Urinevolume	Wateropname	Mestproductie
<i>Experiment 1</i>				
140	H	31,3	109	92,0
140	L	69,5	154	115,3
260	H	36,5	117	85,1
260	L	73,0	155	113,9
<i>Experiment 2</i>				
200	H	25,6	90	88
200	L	38,4	111	93
400	H	54,0	132	102
400	L	76,3	162	132

Voor een berekende TAN concentratie op basis van de TAN excretie is het berekende urine volume nodig. Het berekende urinevolume blijkt goed gerelateerd te zijn aan de wateropname. (**figuur 7**).



Figuur 7 Relatie tussen gemeten wateropname en berekend urinevolume.

3.2.5 Urinesamenstelling en samenstelling toplaag mest

De samenstelling van de urine en de toplaag van de mest zijn weergegeven in tabel 15 en tabel 16. Hierin is duidelijk het effect van de behandelingen (extra zoutgift) terug te zien. Door de verhoogde wateropname is de gemeten ureumconcentratie in de urine lager. Datzelfde geldt voor de gehalten in de toplaag van mest. Ook daarin is een verdunningseffect opgetreden door de hogere zoutgift en wateropname.

Tabel 15 Gemiddelde ureum- en gemeten TAN-concentratie in urine per behandeling in gram/liter.

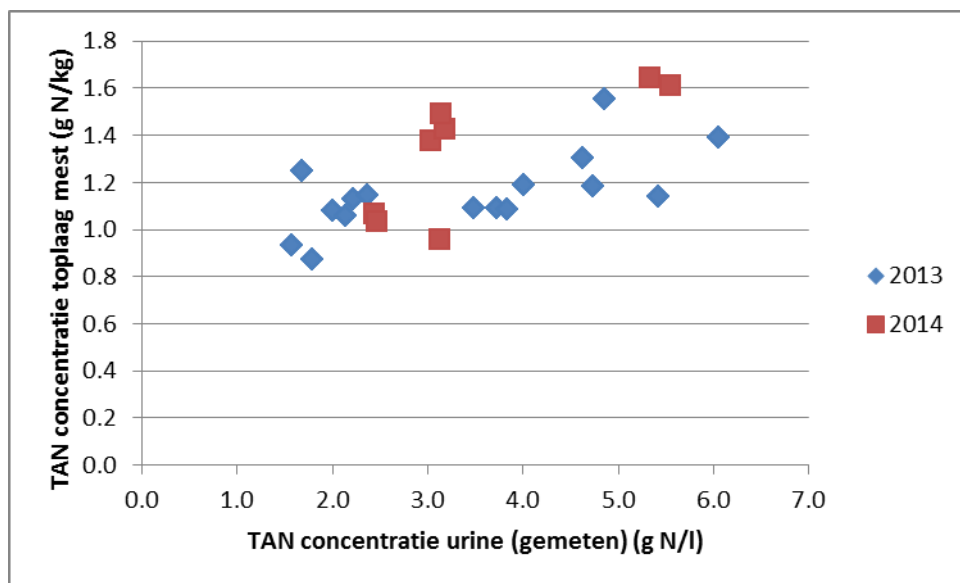
Behandeling		Ureumconcentratie g/l	TAN-concentratie g N/l
<i>Experiment 1 (2013)</i>			
140	H	9,6	5,2
140	L	2,7	2,0
260	H	7,2	4,1
260	L	3,0	2,3
<i>Experiment 2 (2014)</i>			
200	H	6,4	3,1
200	L	4,9	2,5
400	H	11,2	5,4
400	L	6,5	3,2

Tabel 16 Gemiddelde samenstelling van de toplaag mest per behandeling in gram/kg (TAN in g N/kg).

Behandeling		DS	As	N-tot	P	K	NH ₄ ⁺	TAN	pH
<i>Experiment 1</i>									
140	H	114,3	21,4	5,0	0,8	3,1	1,6	1,3	6,9
140	L	109,6	22,9	4,3	0,7	2,3	1,4	1,1	6,9
260	H	111,6	23,7	4,7	0,9	3,5	1,6	1,2	7,0
260	L	106,4	24,4	4,1	0,8	2,6	1,4	1,1	6,9
<i>Experiment 2</i>									
200	H	109,9	19,3	4,2	0,7	3,5	1,5	1,2	6,7
200	L	108,7	19,7	4,1	0,8	2,2	1,4	1,0	6,4
400	H	105,3	22,5	4,8	0,9	3,6	2,1	1,6	6,9
400	L	100,2	23,3	4,5	0,9	2,9	1,9	1,5	6,7

Door de hogere wateropname en het grotere urinevolume ligt het droge stofgehalte van de afdelingen met een lage TAN-concentratie (L) ook lager dan die met een hogere TAN concentratie (H). Dat is ook te zien in de overige gehalten van stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K).

De gemeten TAN concentratie in de toplaag van de mest was positief gecorreleerd met de gemeten TAN concentratie in de urine (**figuur 8**).



Figuur 8 Relatie tussen gerealiseerde TAN concentratie in urine en in de toplaag van de mest.

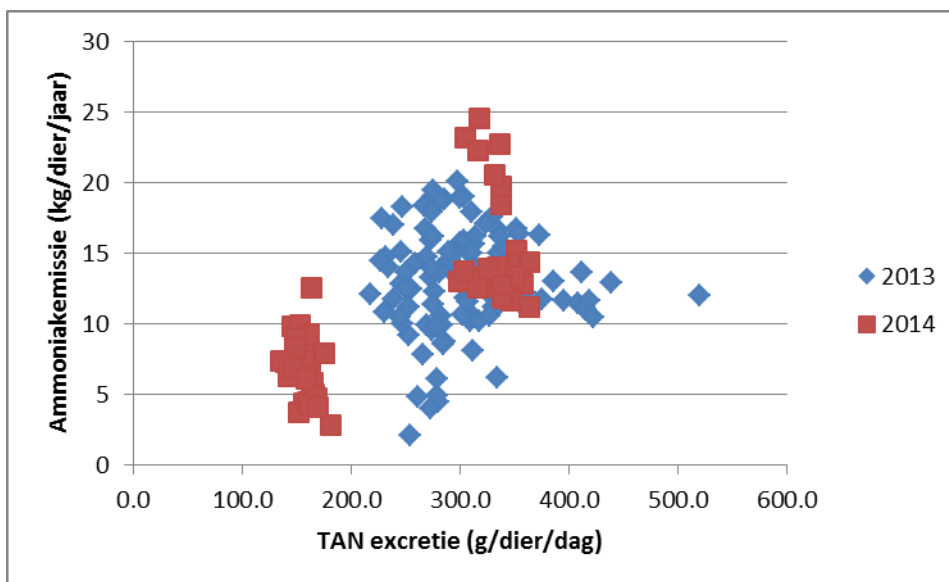
3.2.6 TAN excretie, TAN concentratie en ammoniakemissie

De berekende gemiddelde TAN excretie en TAN concentratie per behandeling is weergegeven in tabel 17.

Tabel 17 Overzicht van de gemiddelde gerealiseerde TAN excretie, gemeten TAN concentratie en ammoniakemissie.

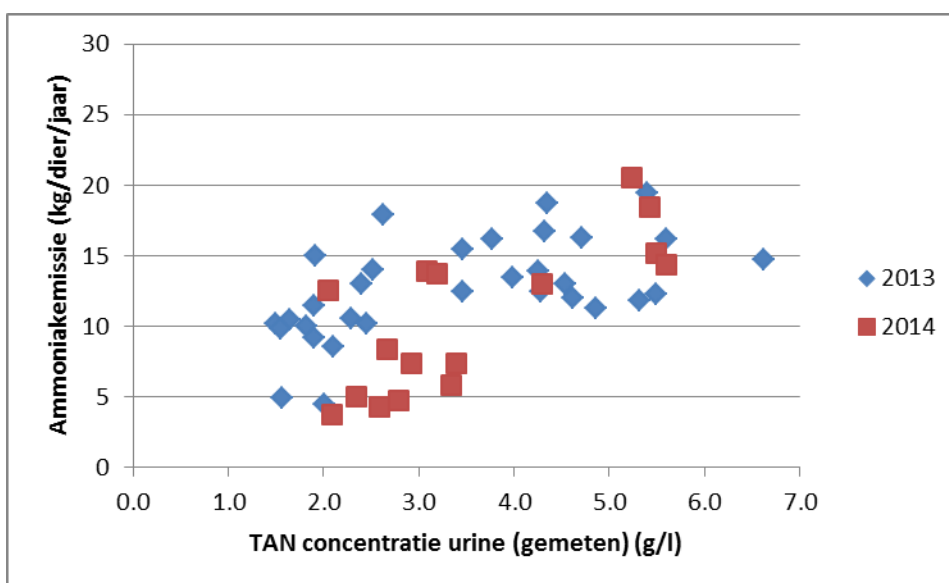
Behandeling		TAN excretie	TAN concentratie	Ammoniakemissie	Ammoniakemissie
		g/dier/dag	(gemeten) g N/l	g/dag	kg/dp/jaar
<i>Experiment 1 (2013)</i>					
140	H	325	5,2	625	14,3
140	L	321	2,0	465	10,6
260	H	290	4,1	663	15,1
260	L	283	2,3	518	11,8
<i>Experiment 2 (2014)</i>					
200	H	155	3,1	369	8,4
200	L	161	2,5	212	3,7
400	H	336	5,4	767	17,5
400	L	331	3,2	567	12,9

Door afwijkingen bij de uitvoering van experiment 1 waren de contrasten in TAN excretie tussen de behandelingen van experiment 1 minder groot dan beoogd en is het beoogde niveau van TAN-excretie van 140 gram per dier per dag niet gerealiseerd is. De TAN-excretie is in deze behandeling gemiddeld meer dan twee keer zo hoog uitgevallen. Doordat in het tweede experiment een groter contrast is aangelegd, is toch een voldoende grote spreiding in gerealiseerde TAN excretie ontstaan voor de relatie met ammoniakemissie (**Figuur 9**). Alleen de analyse van de gezamenlijke data van beide experimenten liet een verband tussen TAN-excretie en ammoniakemissie zien.



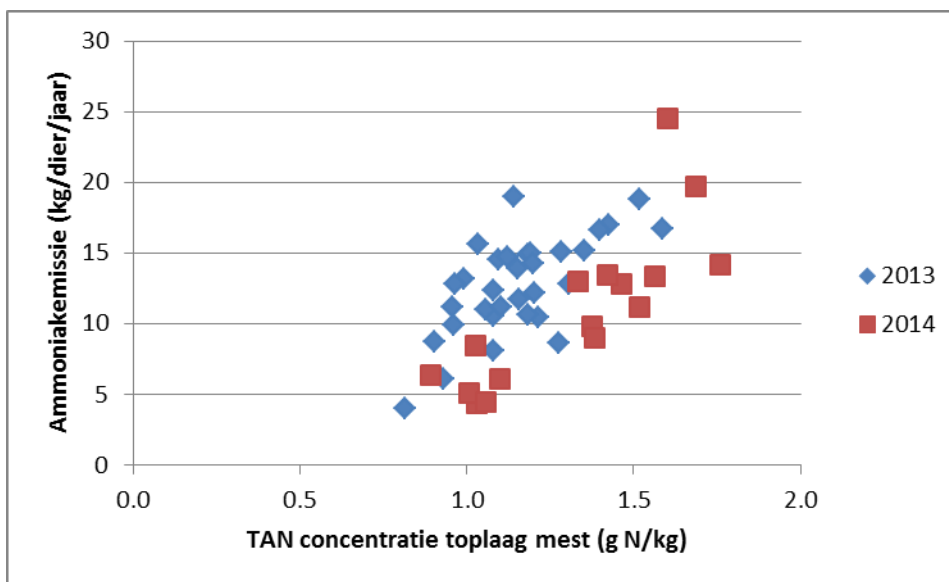
Figuur 9 Relatie tussen gerealiseerde TAN excretie en ammoniakemissie.

Het beoogde contrast in de TAN-concentratie in urine door middel van aanpassing van de voeding werd gerealiseerd zoals blijkt uit de gerealiseerde range in urinevolume en de gemeten TAN-concentratie. Zowel in experiment 1 (2013) als in experiment 2 (2014) is een duidelijk verband gevonden tussen gemeten TAN concentratie in urine en de ammoniakemissie (**figuur 10**).



Figuur 10 Relatie tussen gerealiseerde (gemeten) TAN concentratie in urine (g N/l) en ammoniakemissie.

Er bestaat tevens een verband tussen deze gemeten TAN concentratie in de toplaag van de mest en de ammoniakemissie (**figuur 11**) (zie ook paragraaf 3.2.5).



Figuur 11 Relatie gemeten TAN concentratie in toplaag mest (g N/kg) en ammoniakemissie.

3.3 Statistische analyse

3.3.1 Behandelingseffecten

De uitkomsten van de ANOVA-analyse zijn opgenomen in bijlage 2. Uit Tabel 17 werd al duidelijk dat de foutief verlopen krachtvoerwisselingen (zoals beschreven in paragraaf 3.1) grote gevolgen hebben gehad voor de gerealiseerde TAN-excretie. De vooraf beoogde niveaus en niveauverschillen zijn niet gerealiseerd. Daardoor is een analyse op hoofdeffect 'beoogde TAN excretie' (een dichotome variabele met twee niveaus) niet zinvol en ligt een analyse van de min of meer continue variabele gerealiseerd TAN excretie meer voor de hand. Zie daarvoor het vervolg van deze paragraaf. Het effect van TAN concentratie blijkt wel significant.

Bij experiment 2 is de een duidelijk significant effect van zowel vooraf ingesteld TAN-excretie en TAN-concentratie te zien. Uit Tabel 17 werd al duidelijk dat het beoogde niveau van TAN excretie niet helemaal gehaald is maar het beoogde *verschil* tussen de behandelingen wel gerealiseerd is. Beide effecten dragen bij aan een verandering van de ammoniakemissie.

3.3.2 Enkele-en meervoudige relaties

Tot nu toe zijn enkelvoudige relaties met de gemeten ammoniakemissie gepresenteerd. Een groter deel van de gevonden variatie in de ammoniakemissie kan mogelijk verklaart worden door meerdere parameters in de analyse te betrekken. In

tabel **18** is een overzicht weergegeven van de voorspellers (enkelvoudig of in combinatie) voor de ammoniakemissie die opgenomen zijn in de analyse. In de daarop volgende tabellen (tabel 19 t/m tabel 22) zijn de belangrijkste parameters van de analyse weergegeven. Modellen met alleen experiment, afdeling, periode en onderlinge interacties als *random* termen zijn daarbij uitgangspunt (variant 3 in paragraaf 2.6). De *deviance* van de andere twee varianten (zie paragraaf 2.6) mag daarbij niet teveel afwijken. De restvariantie is berekend als de som van de variantiecomponenten experiment, afdeling, periode en onderlinge interacties. Naarmate de fit van het model beter is neemt deze restvariantie af. Tenslotte worden de modelparameters bij de gekozen voorspellers (α en β) en de bijbehorende standaardfout (s.e.) weergegeven. Orthogonaliteit bij gebruik van meerdere voorspellers geeft de onafhankelijkheid van gekozen voorspellers aan. Criterium daarvoor is de ratio tussen de marginale F-toets en de conditionele F-toets. Een waarde van 1 geeft volledige onafhankelijkheid aan.

Tabel 18 Overzicht getoetste enkel- en meervoudige voorspellers.

Criterium	Melk- ureum	TAN excretie	TAN concentratie (berekend)	Urine volume	TAN concentratie Toplaag mest	TAN concentratie (gemeten)	Water- opname
Enkelvoudig	X	X	X	X	X	X	X
Meervoudig:							
Melkureum		X	X	X	X	X	X
TAN excretie			X	X	X	X	X
TAN concentratie				X	X	X	X

Melkureum en TAN-excretie komen als beste enkelvoudige voorspellers naar voren.

Tabel 19 Overzicht regressiecoëfficiënten enkelvoudige voorspellers.

Criterium	Melk- ureum	TAN excretie	TAN concentratie (berekend)	Urine volume	TAN concentratie Toplaag mest	TAN concentratie (gemeten)	Water- opname
Deviance 1	-32,65	-24,79	59,90	-16,23	-31,8	-26,04	-15,11
Deviance 2	-32,61	-23,95	-16,02	-11,02	-31,8	-23,94	-13,49
Deviance 3	-32,61	-23,95	-16,02	-11,02	-31,8	-22,86	-13,49
Restvariantie	0,10	0,12	0,15	0,20	0,19	0,14	0,18
α	0,07	-2,22	2,53	3,39	3,02	2,64	1,17
s.e. α	0,49	1,32	0,39	0,85	0,26	0,24	2,07
β	1,08	1,01	0,51	0,01	1,92	0,65	0,47
s.e. β	0,15	0,23	0,22	0,22	0,33	0,16	0,43

De grafische weergave van de modelrelaties tussen melkureum, TAN excretie, TAN concentratie in urine (gemeten) en TAN concentratie in de toplaag van de mest met ammoniakemissie, in kg per dier per jaar, zijn opgenomen in bijlage 3.

Tabel 20 Overzicht regressiecoëfficiënten meervoudige voorspellers in combinatie met melkureum.

	TAN excretie	TAN concentratie (berekend)	Urine volume	Melkureum TAN concentratie Toplaag mest	TAN concentratie (gemeten)	Water- opname
Deviance 1	-30,46	-36,29	-31,15	-34,13	-32,97	-31,71
Deviance 2	-30,42	-32,49	-31,15	-34,12	-32,93	-31,71
Deviance 3	-30,42	-32,49	-31,15	-34,12	-32,93	-31,71
Restvariantie	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,10
Orthogonaliteit	3,8	1,2	1,0	4,4	2,2	1,0
α	-0,12	-0,13	0,53	0,99	0,39	1,43
s.e. α	1,21	0,45	0,53	0,64	0,46	1,02
β_1	1,04	1,01	1,16	0,73	0,87	1,18
s.e. β_1	0,30	0,14	0,15	0,22	0,16	0,15
β_2	0,06	0,24	-0,19	0,85	0,27	-0,35
s.e. β_2	0,33	0,11	0,11	0,39	0,12	0,23

Tabel 21 Overzicht regressiecoëfficiënten meervoudige voorspellers in combinatie met TAN excretie.

	TAN concentratie (berekend)	Urine volume	TAN excretie		Water- opname
			TAN concentratie Toplaag mest	TAN concentratie (gemeten)	
Deviance 1	-25,07	-25,07	-32,08	-29,02	-21,54
Deviance 2	-24,73	-24,73	-36,41	-28,94	-23,52
Deviance 3	-24,73	-24,73	-32,08	-28,94	-23,52
Restvariantie	0,10	0,10	0,11	0,08	0,12
Orthogonaliteit	1,2	0,8	5,7	1,6	1,0
α	-2,42	-2,42	0,09	-1,98	-1,09
s.e. α	1,19	1,19	1,27	1,05	1,51
β_1	0,94	1,28	0,47	0,84	1,24
s.e. β_1	0,21	0,24	0,24	0,19	0,26
β_2	0,34	-0,34	1,50	0,39	-0,50
s.e. β_2	0,15	0,15	0,37	0,11	0,35

Tabel 22 Overzicht regressiecoëfficiënten meervoudige voorspellers in combinatie met TAN concentratie (berekend).

	Urine volume	TAN concentratie (berekend)		Water-opname
		TAN concentratie Toplaag mest	TAN concentratie (gemeten)	
Deviance 1	-28,54	-29,77	-22,98	-33,34
Deviance 2	-28,59	-29,74	-21,22	-33,16
Deviance 3	-28,51	-29,74	-21,22	-33,10
Restvariantie	0,13	0,18	0,25	0,09
Orthogonaliteit	0,59	13,29	1,28	0,58
α	-4,92	2,30	2,58	-4,26
s.e. α	0,72	0,34	0,41	1,40
β_1	0,90	0,21	1,08	0,83
s.e. β_1	0,13	0,16	0,30	0,12
β_2	0,61	1,57	-0,69	1,26
s.e. β_2	0,14	0,42	0,36	0,26

Wanneer een model wordt gekozen met één verklarende parameter kunnen op basis van kleinste restvariantie drie kandidaten benoemd worden: melkureum gevolgd door TAN excretie en TAN concentratie in urine (gemeten). De restvariantie wordt kleiner als er een tweede verklarende parameter wordt toegevoegd aan het model. Uitgaande van melkureum zijn TAN concentratie in urine (gemeten), urine volume en wateropname de drie beste kandidaten (Tabel 20). Op basis van orthogonaliteit hebben urine volume en wateropname de voorkeur. Ook wanneer TAN-excretie als uitgangspunt wordt genomen zijn TAN concentratie in urine (gemeten), urine volume en wateropname de drie beste kandidaten (

Tabel 21).

Berekende TAN concentratie in urine is een combinatie van TAN excretie en urinevolume en deze parameter voegt daarom niets extra's toe ten opzichte van de andere twee parameters.

Combinaties met berekende TAN concentratie in urine levert in combinatie met andere overblijvende parameters geen meerwaarde ten opzichte van eerdere combinaties op (tabel 22). Vooral doordat overgebleven combinaties niet onafhankelijk zijn van de berekende TAN concentratie in urine zoals bijvoorbeeld urinevolume en wateropname. Ook het toevoegen van een derde voorspeller had geen extra bijdrage.

Uiteindelijk bleek een combinatie van twee parameters die gerelateerd zijn aan de stikstofuitscheiding (TAN excretie en melkureum) en twee parameters die gerelateerd zijn aan de TAN concentratie (TAN concentratie in urine (gemeten) en urinevolume) het meest geschikt om de ammoniakemissie te voorspellen. Wanneer de geschatte parameters ingevuld worden ontstaan de volgende modelvarianten.

Ammoniakemissie (g/dier/dag) = e^Z

Met

$$Z1 = 0,53 + 1,16 * MU - 0,19 * UV \quad (1)$$

$$Z2 = 0,39 + 0,87 * MU + 0,27 * TC \quad (2)$$

$$Z3 = -2,42 + 1,28 * TE - 0,34 * UV \quad (3)$$

$$Z4 = -1,98 + 0,84 * TE + 0,39 * TC \quad (4)$$

Waarin:

MU: Natuurlijk logaritme van ureumgehalte (mg/100 g melk)

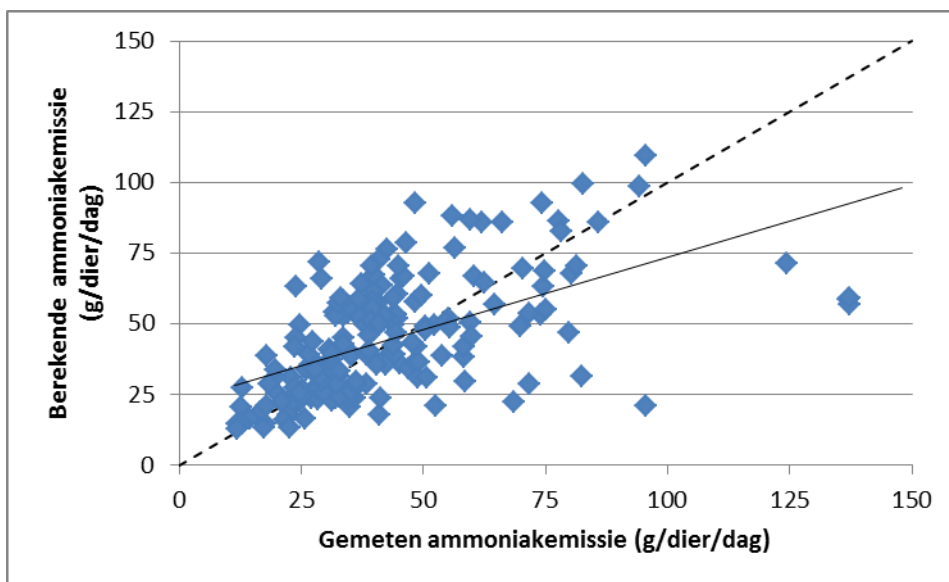
UV: Natuurlijk logaritme van urine volume (l/dier/dag)

TC: Natuurlijk logaritme van gemeten TAN concentratie in urine (l/dier/dag)

TE: Natuurlijk logaritme van TAN excretie (g/dier/dag)

3.4 Vergelijking met eerdere datasets

De eerder door Van Duinkerken et al (2003) gemeten ammoniakemissie in relatie tot de voeding en melkproductie en –samenstelling kan als input gebruikte worden om de nauwkeurigheid van de in paragraaf 3.3 gevonden relaties te evalueren. Gebruik van modellen met TAN excretie viel af omdat de VRE-opname niet in de toenmalige dataset opgenomen is. In figuur 12 is de door Van Duinkerken et al. (2003) gemeten ammoniakemissie (in g NH₃ per dier per dag) uitgezet tegen de berekende ammoniakemissie (ook in g NH₃ per dier per dag) op basis van melkureum en urinevolume (model (1)).



Figuur 12 Relatie tussen door Van Duinkerken et al (2003) gemeten ammoniakemissie en berekende ammoniakemissie met model (1) ($n=196$; ---: $y=x$).

$$\text{NH}_3\text{Model} = 22,63 + 0,51 \cdot \text{NH}_3\text{WBH}$$

NH_3Model = Berekende ammoniakemissie volgens model (1) in g/dier/dag. (s.e.: 2,57)

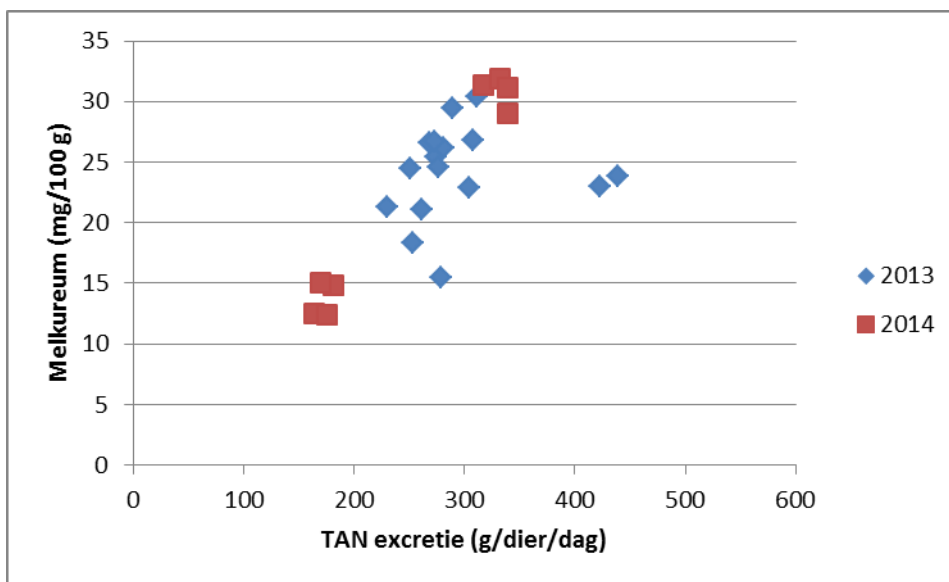
NH_3WBH = Gemeten ammoniakemissie op Waiboerhoeve door Van Duinkerken et al. (2003) in g/dier/dag. (s.e.: 0,05)

Met deze relatie werd 31% van de variantie verklaard.

3.5 Discussie

Eerste doelstelling van dit onderzoek was het op groepsniveau vaststellen van de relatie tussen TAN excretie en TAN concentratie in urine en de gemeten ammoniakemissie vanuit de gedachte dat zowel de totale verliezen uitgedrukt als TAN-excretie, als de stikstofconcentratie in de urine, uitgedrukt als TAN-concentratie, van invloed zijn op de ammoniakemissie en dat beide met voeding gestuurd kunnen worden.

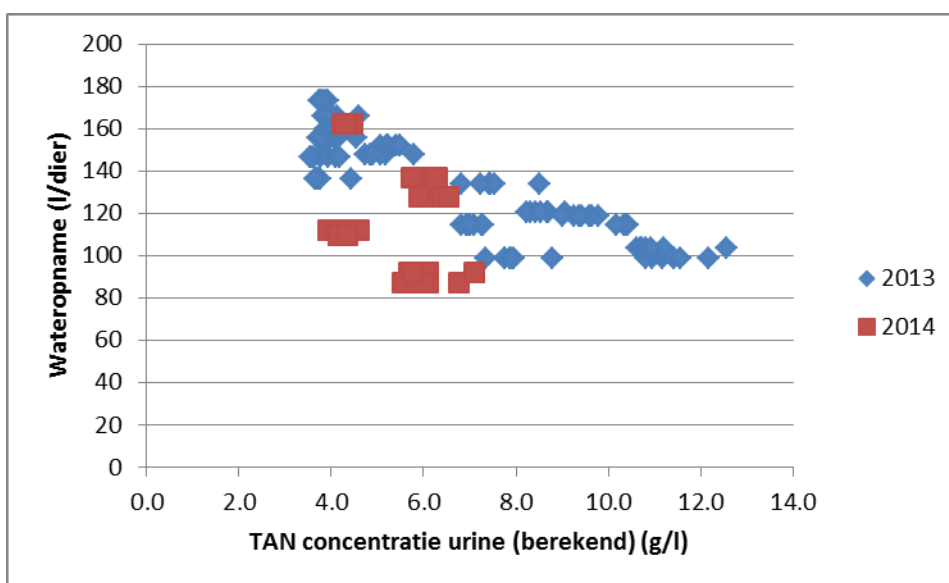
In het eerste experiment werd vanwege een voerfout een geringere spreiding van TAN excretie gerealiseerd dan in het tweede experiment. In het tweede experiment is het, mede op basis van de ervaringen in het eerste experiment, wel gelukt voldoende spreiding te realiseren. Overall laten de gegevens uit beide experimenten een duidelijke relatie zien tussen TAN excretie en de ammoniakemissie. Dat geldt ook voor de gemeten TAN concentratie in de urine en de TAN concentratie in de toplaag van de mest. Zoals verwacht is ook het melkureumgetal (via de TAN excretie; zie **figuur 13**) duidelijk positief gerelateerd aan de ammoniakemissie. Er zijn melkureum waarden gerealiseerd in een range die ook gangbaar is in de praktijk.



Figuur 13 Relatie tussen de TAN excretie (g/dier/dag) en het melkureum (mg/100 g melk).

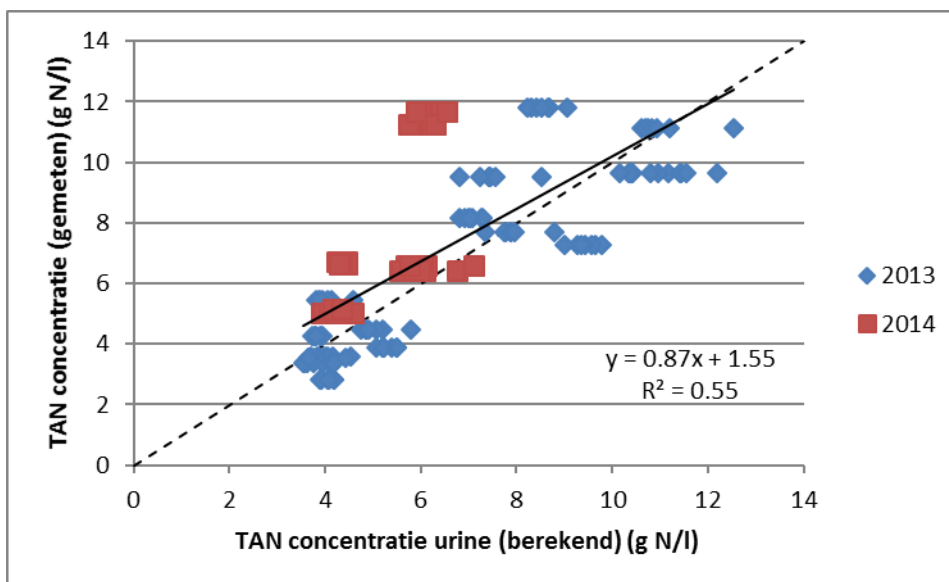
Ook het verband van de TAN concentratie (gemeten in de urine) en de ammoniakemissie is duidelijk naar voren gekomen. In beide experimenten is een goede spreiding van de TAN concentratie gerealiseerd. De TAN concentratie in de toplaag van de mest was ook duidelijk gerelateerd aan de TAN concentratie in de urine (zie **Figuur 8**).

De TAN concentratie in de urine kan ook afgeleid worden van de TAN excretie en het urinevolume. Dat urinevolume is berekend op basis van het Natrium-, stikstof en kaliumgehalte in het voer en de melkproductie en het eiwitgehalte in de melk. Een hoog zoutgehalte in het voer leidt daarbij tot een hogere wateropname, een groot volume urine en een lage TAN concentratie (**Figuur 7** en **Figuur 14**). Wateropname blijkt daarmee een goede voorspeller te zijn voor de TAN concentratie.



Figuur 14 Relatie tussen TAN concentratie in urine en in de wateropname.

De relatie tussen de berekende TAN concentratie in urine (op basis van TAN excretie en urinevolume) en de gemeten TAN concentratie in urine verschilt per experiment (jaar). Gezamenlijke analyse laat zien dat de berekende TAN concentratie een lichte onderschatting is van de gemeten TAN concentratie. (**Figuur 15**)



Figuur 15 Relatie tussen de berekende en gemeten TAN concentratie in urine (g N/l) van gezamenlijke data van beide experimenten ($y=x$: -----) .

Door gebruik te maken van zowel parameters gerelateerd aan de TAN excretie als parameters gerelateerd aan de TAN concentratie is de ammoniakemissie beter te schatten dan door gebruik van parameters uit beide groepen afzonderlijk. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat de TAN excretie en de TAN concentratie in dit experiment onafhankelijk van elkaar zijn ingesteld. Onder normale praktijkomstandigheden zal het waarschijnlijk niet mogelijk zijn de TAN excretie en de TAN concentratie (of daaraan gerelateerde parameters) volledig onafhankelijk van elkaar te variëren.

De tweede doelstelling van het onderzoek was het identificeren zowel van bruikbare als betrouwbare borgingsfactoren. In paragraaf 3.3 worden vier relaties voorgesteld die statische betrouwbare schatting van de ammoniakemissie geven. De praktische bruikbaarheid hangt af van de mogelijkheden de parameter vast te stellen en in het kader van vergunning te handhaven.

Er worden vier parameters gebruikt:

- Melkureum. Het tankmelk ureumgetal wordt al gebruikt om lagere ammoniakuitstoot aan te tonen en kan eenvoudig ook met andere parameters gecombineerd worden
- TAN-excretie. De TAN excretie wordt in bedrijfsspecifieke excretie (BEX) en kringloopwijzer uitgerekend. Als methoden die daarvoor gebruikt worden verschillen is het noodzakelijk deze te vergelijken. Voor BEX en Kringloopwijzer is al een structuur voor dataverzameling en – opslag beschikbaar waar gebruik van gemaakt zou kunnen worden.
- Urinevolume. Het urinevolume is uit te rekenen met aan aantal extra rantsoengegevens. Deze worden al vrij algemeen weergegeven (Na, K, N) en kunnen met waarschijnlijk kleine aanpassingen toegevoerd worden aan bijvoorbeeld de kringloopwijzer.
- TAN-concentratie in urine (gemeten). Deze kan bepaald worden via regelmatige steekproeven van verse urine van (een deel van) de veestapel. Dit is een bewerkelijke parameter en voor de vaststelling hiervan dient een geautomatiseerde meetmethode te worden ontwikkeld.

Verwachting is dat bij gebruik van de Kringloopwijzer de ammoniakemissie vrij eenvoudig kan worden berekend of de berekening kan worden verbeterd door naast TAN excretie of melkureum ook het berekende urinevolume te betrekken.

4 Conclusies

Ondanks afwijkingen in de uitvoering van één van de twee experimenten is een bruikbare dataset gevormd waarmee de relaties tussen verschillende parameters (waaronder TAN excretie en TAN concentratie) en de ammoniakemissie kon worden onderzocht. Verklarende modellen waarin twee voorspellers worden opgenomen verbeterden de voorspelling van de ammoniakemissie. De meest betrouwbare parameters zijn melkureum, TAN excretie, urinevolume en TAN concentratie (gemeten). Daarvan zijn de eerste drie het meest geschikt om op melkveebedrijven vast te leggen. Zo ontstaan twee modellen waarmee de ammoniakemissie berekend kan worden:

Ammoniakemissie (g/dier/dag) = e^Z

Met

$$Z = 0,53 + 1,16 * MU - 0,19 * UV$$

of

$$Z = -2,42 + 1,28 * TE - 0,34 * UV$$

Waarin:

MU: Natuurlijk logaritme van ureumgehalte (mg/100 g melk)

UV: Natuurlijk logaritme van urine volume (l/dier/dag)

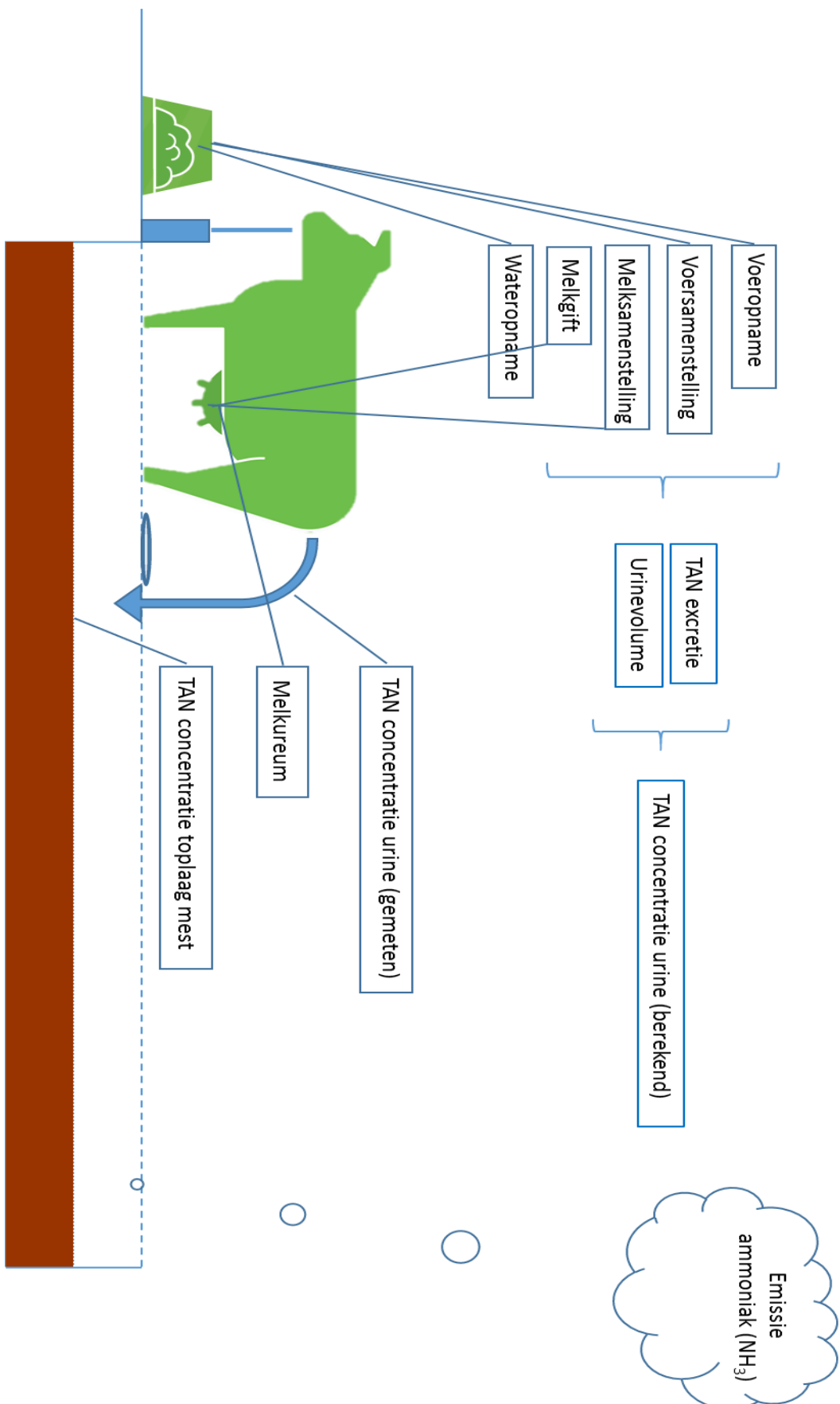
TE: Natuurlijk logaritme van TAN excretie (g/dier/dag)

Voor het vastleggen van rantsoen- en melkgegevens voor berekening van deze parameters ligt aansluiting bij de Kringloopwijzer voor de hand.

Literatuur

- Bannink, A.; H. Valk; A.M. van Vuuren (1999) Intake and Excretion of Sodium, Potassium, and Nitrogen and the Effects on Urine Production by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 82 (5): 1008-10118.
- Boer, I. J. M. de; M. C. J. Smits; H. Mollenhorst; G. van Duinkerken and G. J. Monteny (2002). Prediction of Ammonia Emission from Dairy Barns Using Feed Characteristics Part I: Relation Between Feed Characteristics and Urinary Urea Concentration. *Journal of Dairy Science* 85(12): 3382-3388.
- Duinkerken, G. van; G. André; M. C. J. Smits; G. J. Monteny and L. B. J. Šebek (2005). Effect of Rumen-Degradable Protein Balance and Forage Type on Bulk Milk Urea Concentration and Emission of Ammonia from Dairy Cow Houses. *Journal of Dairy Science* 88(3): 1099-1112.
- Duinkerken, G. van; M. C. J. Smits; G. André; L. B. J. Šebek and J. Dijkstra (2011). Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *Journal of Dairy Science* 94(1): 321-335.
- Monteny, G. J.; M. C. J. Smits; G. van Duinkerken; H. Mollenhorst and I. J. M. de Boer (2002). Prediction of Ammonia Emission from Dairy Barns using Feed Characteristics Part II: Relation between Urinary Urea Concentration and Ammonia Emission. *Journal of Dairy Science* 85(12): 3389-3394.
- Ogink, N.W.M., C.M. Groenestein, J. Mosquera (2014) Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij, Rapport 744, Wageningen Livestock Research, Wageningen
- Šebek, L.B., H.J.C. van Dooren, A. Klop, J.W. van Riel, N.W.M. Ogink (2016) Relatie tussen TANexcretie en mest- en urinesamenstelling op praktijkbedrijven. Wageningen, Wageningen UR Livestock Research, Livestock Research Rapport 941.
- Smits, M. C. J.; G. J. Monteny and G. van Duinkerken (2003). Effect of nutrition and management factors on ammonia emission from dairy cow herds: models and field observations. *Livestock Production Science* 84(2): 113-123.
- VSN International (2015). *Genstat 18th edition*, Hemel Hempstead, UK.

Bijlage 1 Overzicht parameters



Bijlage 2 Uitkomsten ANOVA analyse

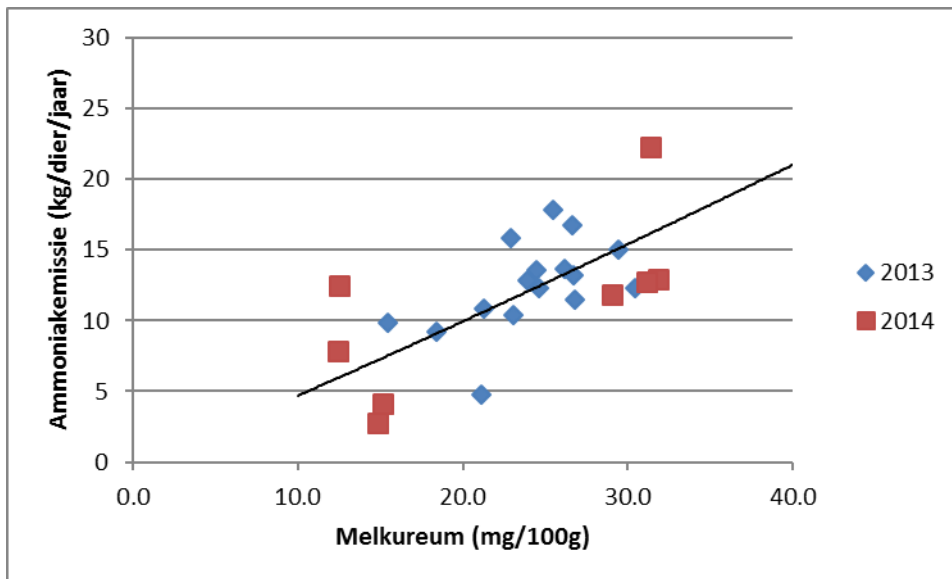
Experiment 1

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Afdeling	3	0.521	0.174	3.80	0.07
Periode	3	0.329	0.110	2.08	0.15
TANVooraf	1	0.003	0.003	0.06	0.80
TANConcentratie	1	0.419	0.419	7.96	0.02
TANVooraf.TANConcentratie	1	0.004	0.004	0.07	0.80
Residual	6	0.316	0.053		
Total	15	1.593			

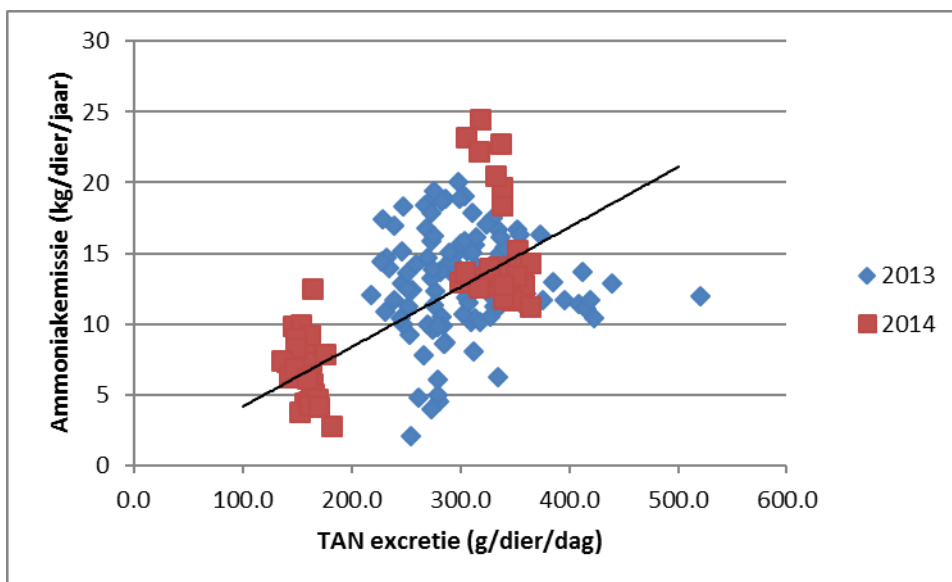
Experiment 2

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
TANVooraf	1	1.396	1.396	394.31	<.001
TANConcentratie	1	0.374	0.374	105.58	<.001
TANVooraf.TANConcentratie	1	0.029	0.028	8.10	0.05
Residual	4	0.014	0.004		
Total	7	1.812			

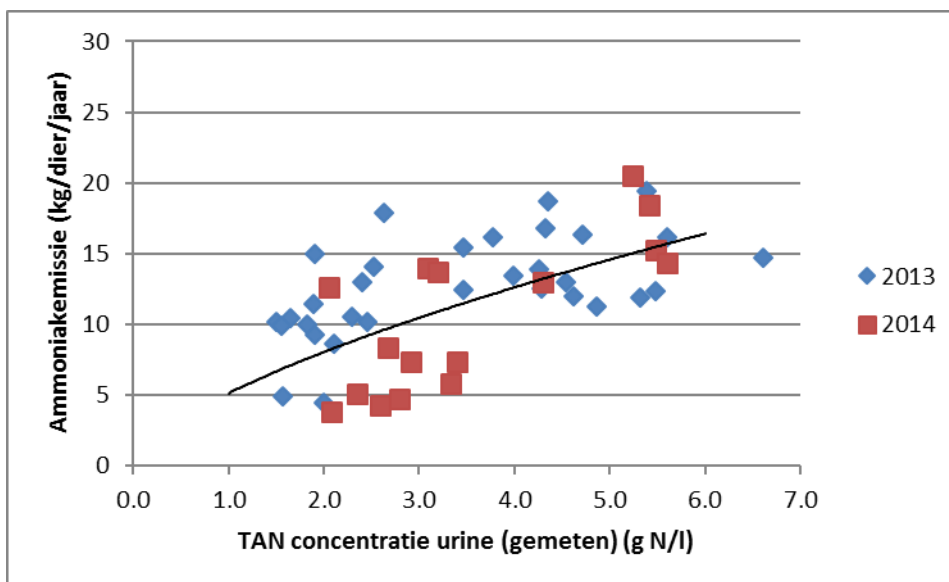
Bijlage 3 Grafische weergave enkelvoudige modelrelaties



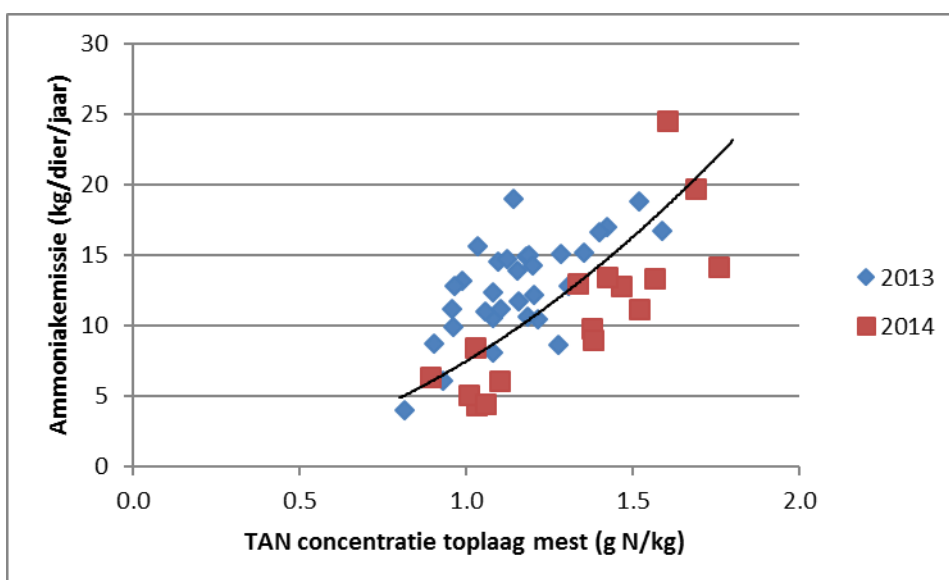
Figuur 16 Relatie tussen de melkureum en ammoniakemissie (waarnemingen) en de berekende modelrelatie (lijn).



Figuur 17 Relatie tussen de TAN excretie en ammoniakemissie (waarnemingen) en de berekende modelrelatie (lijn).



Figuur 18 Relatie tussen de TAN concentratie in urine (gemeten) en ammoniakemissie (waarnemingen) en de berekende modelrelatie (lijn).



Figuur 19 Relatie tussen de TAN concentratie in toplaag mest en ammoniakemissie (waarnemingen) en de berekende modelrelatie (lijn).

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](http://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.

