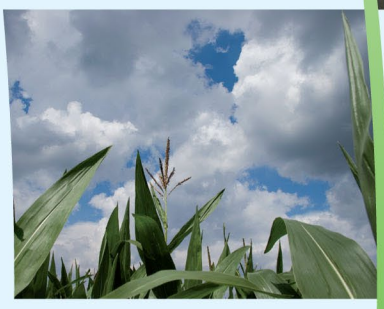
Soil for life

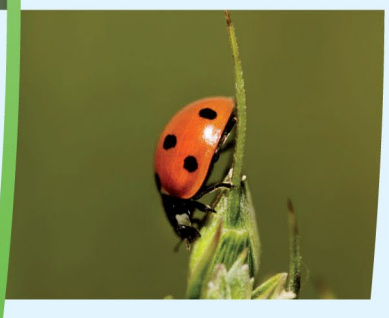
Rapport 1531.N.17

Minder ammoniak door betere voeding. Deel B: Emissiemetingen, modelberekeningen en evaluatie in de praktijk











www.nmi-agro.nl

tel. (088) 876 1280

© 2017 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

SBIR

Inhoud

		pagina
Samenvatting en conclusies		2
1	Inleiding	6
1.1	Algemeen	6
1.2	Gevolgde aanpak	6
1.3	Leeswijzer	7
2	Ammoniakemissie uit urine	9
2.1	Ammoniakemissie uit urine	9
2.2	Proefopzet	9
2.3	Resultaten	11
2.3.1	Urinesamenstelling	11
2.3.2	De ammoniakemissie	13
2.4	Discussie	15
3	Het berekenen van het aantal urinelozingen, de urineconcentratie en - productie	18
3.1	Inleiding	18
3.2	Aantal urinelozingen	18
3.2.1	Literatuur	18
3.2.2	Eigen metingen	19
3.3	De N-uitscheiding in urine	20
3.4	Urineproductie	22
3.4.1	Urineproductie op basis van literatuur	22
3.4.2	Urineproductie proef versus voer- en melkproductie kenmerken	23
3.5	Samenvatting	24
4	Ammoniakemissie en borging	25
4.1	Het emissiemodel voor het standaardbedrijf	25
4.2	Borging	26
4.2.1	Het emissiemodel voor het standaardbedrijf	26
4.2.2	NEMA en rav	26
4.2.3	Borging op basis van TAN in NEMA	27
4.2.4	Borging op basis van TAN in DynAm	28
5	Testen Prototype DynAm	30
5.1	Inleiding	30
5.2	Uitvoering op geselecteerde bedrijven	30
5.3	Resultaten	30
5.3.1	Melkproductie, voeding en ruweiwit	30
5.3.2	N-opname	31
5.3.3	N-efficiëntie	31
5.3.4	N--uitscheiding met urine	32
5.3.5	P-efficiëntie	32
5.4	Ammoniakemissie	33
5.4.1	Algemeen	33
5.4.2	Resultaat	33
5.5	Evaluatie resultaten	**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

5.6 Samenvatting en conclusies 35

6 Testen op een groot aantal praktijkbedrijven 36
6.1 Toepassing 36
6.2 Praktijktoetsing 37
6.3 Gebruikservaring van de voorlichters van ABZ en de Samenwerking 38
6.4 Aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling 39

7 Het ammoniakmodel 40
7.1 Introductie 40
7.2 Factoren van invloed op de emissie 41
7.2.1 Algemeen 41
7.2.2 Gevoeligheidsanalyse voor urinevolume (N-concentratie) en aantal urinaties en verdeling 42
7.2.3 Gevoeligheidsanalyse voor urine-N en ruweiwit 44
7.2.4 Gevoeligheidsanalyse staltemperatuur en vloeroppervlak 46

Bijlage 1 met achtergrondgetallen van 8 praktijkbedrijven 50

Bijlage 2. De beschrijving van het ammoniakmodel 51

Bijlage 3. Communicatieprotocol DyNam en VoerExpert 51

Samenvatting en conclusies

Dit project heeft als doel om de emissie van ammoniak (NH_3) op melkveebedrijven met 10% te verlagen door het ontwikkelen van een nieuw voerconcept. Via het rantsoen is de mesthoeveelheid en urinesamenstelling te beïnvloeden, en daarmee ook de NH_3-emissie. Daartoe zijn twee bestaande modellen (het huidige voederwaarderingsmodel van SFR (E-dairy) en ammoniakmodel van NMI) geïntegreerd in één managementinstrument DynAm (DynAmisch Ammoniak Model) om de NH_3-emissie van rantsoenen in beeld te brengen. Het voederwaarderingsmodel berekent het optimale rantsoen om melkproductie en diergezondheid te waarborgen, gegeven de aanwezige ruw- en krachtvoeders. Het NMI-model berekent de NH_3-emissie in de stal en bij toediening in het veld in relatie tot de eigenschappen van de mest en urine, het beweidingsmanagement, staleigenschappen en weersinvloeden. In een tweejarig project is DynAm verder onderbouwd middels een voederproef, emissiemetingen en urinemetingen aangevuld met recente informatie uit de literatuur. Er heeft toetsing in de praktijk plaatsgevonden en een prototype is ingezet in een voeradviesprogramma dat wordt gebruikt door voeradviseurs. Ook is ingezet om een sturings- en borgingsinstrument te ontwikkelen dat inzicht geeft in de effectiviteit van genomen maatregelen ter vermindering van de ammoniakemissie.

In deelrapport A (Kroon en van Straalen, 2017) wordt onder andere ingegaan op de uitgevoerde voederproef. In dit deelrapport B wordt ingegaan op de ammoniakemissie uit urine en in hoeverre dit direct gerelateerd is aan de hoeveelheid ureum in urine en ureumconcentratie. Daarnaast is aandacht besteed aan het voorspellen van de totale N-uitscheiding via urine, het aantal urinelozingen, het urinevolume, dat bepaalt met de N- uitscheiding de N-concentratie van urine (en samenstelling) en de verdeling van de lozingen over een etmaal. Dit zijn belangrijke stuurfactoren voor de emissie en zijn gebruikt om DynAm verder te onderbouwen. Een prototype is getest op 8 praktijkbedrijven. Na aanpassing is het prototype ingebouwd in het adviesprogramma van Rovecom (VoerXpert) en toegepast door voeradviseurs op praktijkbedrijven.

<u>De belangrijkste bevindingen ten behoeve van de onderbouwing van Dynam:</u>

- Urine bevat naast ureum een constante hoeveelheid niet ureum stikstof. Bij verlaging van het eiwitgehalte daalt de ureumuitscheiding en daarmee het relatieve aandeel van ureum in urine. Bij de gevoerde rantsoenen varieerde het aandeel ureum tussen 65 en 40%. Verwacht werd dat de emissie recht evenredig verloopt met de ureumconcentratie omdat ureum sneller wordt omgezet in ammoniakale stikstof dan niet ureum. De toegepaste meetmethode voor ammoniakemissie (gesloten fluxkamers, diffusiemeting), waarbij de emissie veel trager verloopt (over een periode van een aantal dagen) dan bij een aerodynamische methode lijkt dit te bevestigen. De emissie als percentage van N-totaal in urine was (initieel) nam recht evenredig toe de totaal-N concentratie in urine en de fractie-ureum in urine. De conclusie lijkt te zijn dat het diffusie experiment geschikt is om het verschil in emissie tussen urine met hoog en laag aandeel niet-ureum stikstof aan te tonen.
- Gemiddeld bedroeg het aantal urinelozingen 7,8 per etmaal met bijna 4 liter urine per lozing. Tot dusver is uitgegaan van 10 lozingen en 2,5 liter per koe per lozing (op basis van waarden gerapporteerd in recente literatuur).
- De urinesamenstelling is in de uitgevoerde voederproef niet verschillend tussen ochtend, middag en avond.
- Verhogen van het zoutgehalte met 250 g/koe per dag geeft gemiddeld 8 liter extra urineproductie. Deze extra productie is lager dan de literatuur van 20 jaar geleden aangeeft. Een laag aminozuur-

gehalte in het rantsoen geeft significant lagere waarden voor de N-gehalten in urine. Het urinevolume stijgt dan significant met 4,5 liter per koe per dag. Het aantal urinelozingen is het hoogst rondom de tijd dat er wordt gemolken en is ’s nachts het laagst.

- Het toepassen van literatuurformules op de gemeten N-uitscheiding in de voederproef van 2015 laat zien dat melkureum een matige indicator is voor de N-uitscheiding met urine (en ook het urinevolume) ook indien het zoutgehalte in rantsoen wordt meegenomen als verklarende variabele. Eenvoudige relaties gebaseerd op de ruweiwitopname, drogestofopname en melkproductie voldoen vaak beter dan relaties met o.a. melkureum als verklarende variabele. Regressieanalyse op de proefgegevens liet eveneens zien dat melkureum geen significante bijdrage levert aan het verklaren van de N-uitscheiding als bijv. de drogestofopname en het eiwitgehalte van het voer bekend zijn. De urineproductie kan op basis van de proefgegevens redelijk worden voorspeld op basis van een model dat naast melkureum de drogestofopname, het K- en Na-gehalte van het voer en de melkproductie bevat. Maar betere relaties zijn mogelijk zonder melkureum. In de literatuur zijn twee formules gevonden die in de voederproef gemeten urineproductie redelijk goed voorspellen.

De bevindingen van de proeven zijn meegenomen in DyNam.

Borging

Een van de ambities van dit project was het ontwikkelen van een ureumplusindcator, waarbij naast melkureum ook rekening wordt gehouden met kalium en natrium. Dit bleek uiteindelijk te onnauwkeurig om als voorspeller voor de ammoniakemissie te dienen op basis van de uitgevoerde analyses. Wel kon de ammoniakemissie direct gerelateerd worden aan de TAN (total ammoniakal nitrogen) of TAN plus urinevolume. Dat is op zich logisch omdat In DynAm de ammoniakemissie sterk bepaald wordt door de N-uitscheiding met urine en het urinevolume.

In het nationaal emissiemodel voor ammoniak NEMA (National Emission Model for Agriculture) wordt de ammoniakemissie gerelateerd aan TAN. Het is dan ook wenselijk om hier op aan te sluiten en TAN of TAN plus urine volume te kiezen als borging. In NEMA is voor Rav staltype A1.100 (jaarrond opstallen en klassieke ligboxenstal met roostervloer) afgeleid dat de emissie van dit staltype van 13,0 kg NH_3 emissie per koe per jaar correspondeert met een emisisefactor van 12,7% van de uitgescheiden TAN. Via een vergelijkbare aanpak als in NEMA is met DynAm ook een emissiefactor op basis van TAN afgeleid. Deze bedraagt 12,7% en is gebaseerd op een rantsoen met bijna 20 kg ds per koe, 15,7% ruweiwit en 8000 kg melk, hetgeen vergelijkbaar is met de rantsoenen die achter de norm van 13,0 kg NH_3-emissie zitten. Indien door rantsoenaanpassingen de TAN daalt, dan daalt de emissiefactor recht evenredig.

In DynAm wordt bij elke rantsoenberekening de urine-N en feces-N berekend. De TAN is daarmee aan de voorkant bekend. DynAm werkt op dag basis. Van daaruit kan DynAm geëxtrapoleerd worden naar jaarbasis voor standaardisatie en vergelijkingsdoeleinden (hoe doet een bepaald rantsoen het ten opzichte van het basisrantsoen). Echter in de praktijk vinden regelmatig rantsoenaanpassingen plaats omdat de melkproductie wijzigt en of de kwaliteit van de ruwvoermiddelen wijzigt. In feite dient dan de cumulatieve emissie van de verschillende perioden met een gewijzigd rantsoen bepaald te worden. DynAm is juist bedoeld om elk moment het rantsoen te optimaliseren om zo de ammoniakemissie te verminderen. Het is dynamisch en houdt continu de vinger aan de pols en geeft aan waar het bedrijf op dat moment staat qua ammoniakemissie. In feite is DynAm een soort borging vooraf op te behalen emissiedoelen.

Testen van een prototype op 8 bedrijven

Het eerste prototype is getest op 8 praktijkbedrijven in Noord-Nederland met relatief veel gras in het rantsoen. De aanpassingen in het rantsoen die in samenspraak met de ondernemers zijn gedaan zorgen over het algemeen voor een lager RE-gehalte in het rantsoen en een betere N-efficiëntie. De berekende emissiedaling was 11% in maart en 12% in juli 2016. Dat komt overeen met een daling van het ruweiwitgehalte van ruim 0,6% (bijvoorbeeld van 16,6 naar 16,0). Voor het opstellen van een advies zijn de individuele bedrijfsomstandigheden qua voedervoorziening en kosten sterk sturend. De mate waarin scherp voeren op eiwit mogelijk is, is voornamelijk afhankelijk van de al bestaande voorraad aan ruwvoeders. Er zijn geen signalen afgegeven door de ondernemers dat de melkproductie daalde. Scherp voeren zonder dat dit melkproductie kost vertaalt zich direct terug in een hogere N-efficiëntie en P-efficiëntie en een lagere ammoniakemissie.

Testen prototype op een groot aantal praktijkbedrijven door voeradviseurs

Het voeradviesprogramma E-dairy van de Schothorst is door Rovecom in licht afgeslankte vorm ingebouwd in VoerExpert (een rantsoenberekeningsprogramma van Rovecom). In samenwerking met Rovecom is een prototype adviesprogramma gebouwd waarin een koppeling met de ammoniakmodule uit DynAm tot stand is gebracht. Dit prototype is toegepast door voeradviseurs van ABZ-diervoeding en De Samenwerking tussen half maart en half juni van 2017 op 27 bedrijven. Deze rantsoenen zijn vergeleken met een rantsoenberekening van dezelfde bedrijven tussen 1 januari en half maart. Er waren 17 directe vergelijkingen mogelijk. Het resultaat van de vergelijking van 17 metingen voor en na half maart is dat er gemiddeld geen verschil in ammoniakemissie is. Het eiwitgehalte was gemiddeld ook niet verschillend. Over alle doorgerekende rantsoenen van de 27 bedrijven werd gemiddeld een ammoniakemissie van 13,2 kg per jaar berekend.

Aan de hand van een enquête die is gehouden onder een deel van de veehouders is geconstateerd dat het scherp op eiwit voeren vanuit oogpunt van vermindering van de ammoniakemissie kennelijk nog onvoldoende leeft. Dezelfde enquête gaf ook aan dat het prototype adviesprogramma de adviseurs nauwelijks extra tijd kostte.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Doel is het ontwikkelen van een nieuw voerconcept om op bedrijfsniveau de ammoniakemissie met 10% te verminderen. Een eerder uitgevoerde haalbaarheidsstudie ondersteund met modelberekeningen gaf aan dat dit perspectiefvol is. Via het rantsoen is de mesthoeveelheid en urinesamenstelling te beïnvloeden, en daarmee ook de NH_3-emissie. Om de doelen te realiseren, wordt het huidige voederwaarderingsmodel van SFR (E-dairy) gekoppeld aan het NMI-model voor NH_3-emissie. Het voederwaarderingsmodel berekent het optimale rantsoen om melkproductie en diergezondheid te waarborgen, gegeven de aanwezige ruw- en krachtvoeders. Het NMI-model berekent de NH_3-emissie in de stal en bij toediening in het veld in relatie tot de eigenschappen van de mest, het beweidingsmanagement, staleigenschappen en weersinvloeden. De beide modellen worden gekoppeld tot één managementinstrument DynAm, (*DynAmisch Ammoniak Model).* Dit instrument dient verder te worden onderbouwd middels experimentele proefresultaten en wetenschappelijk gepubliceerde algoritmes om een causale relatie te leggen tussen rantsoenen, dierproductie, mestkwaliteit en NH_3-emissies. Concrete aandachtspunten daarbij zijn:

- Het urinevolume dat geproduceerd wordt: het urinevolume samen met het niveau van eiwitvoeding bepaalt de N-concentratie van urine en is daarmee de drijvende kracht achter NH_3-emissie
- De urineerfrequentie: in het huidige model is van een constant aantal urinelozingen per dag uitgegaan. In werkelijkheid zal het volume van de urineplas, de grootte van de plas en het aantal urinelozingen samenhangen. Inzicht in de urineerfrequentie is nodig om hiermee beter rekening te houden
- Het zoutgehalte van het rantsoen: bekend is dat een hoger zoutgehalte in het rantsoen leidt tot een hogere urineproductie en daarmee tot een lagere ammoniakemissie. Hoe ziet die relatie eruit voor hedendaagse rantsoenen?
- Melkureum alleen is een te ruwe maat voor de hoeveelheid urine en het N-gehalte van urine. Bij voorkeur dient er een gecombineerde parameter te worden ontwikkeld die minimaal gebaseerd is op het ureumgehalte in melk en de mineralen in het rantsoen. Kan zo'n indicator gebruikt worden om bij te sturen met de voeding en kan die de basis vormen voor een borgingsinstrument?
- Kan het ureumgehalte in urine voldoende nauwkeurig worden voorspeld bij lage eiwitgehaltes, omdat vooral ureum de drijvende kracht is voor de ammoniakemissie.

Samen met de al bestaande modellen, vormen deze relaties en bouwstenen het rekenhart van het DynAm-instrument. Het ontwikkelde prototype wordt gebruikt om diverse scenario's en praktijksituaties te simuleren/evalueren en duurzame voerconcepten van fasevoedering te ontwikkelen die aansluiten bij de gangbare praktijk. Daarbij is inzetten op de ontwikkeling van een sturings- en borgingsinstrument dat inzicht geeft in de effectiviteit van genomen maatregelen op basis van de rantsoen- en melksamenstelling van groot belang.

1.2 Gevolgde aanpak

In het tweejarig project is een aanpak gevolgd die op te delen is in 4 fases:

1. Modelontwikkeling prototype adviesinstrument DynAm
2. Uittesten van het adviesinstrument
3. Toetsing op praktijkschaal
4. Reflectie en communicatie met de praktijk

In fase 1 ligt de focus op het verfijnen van de NH_3-emissie berekeningen gebaseerd op wetenschappelijke literatuur en toegespitst op de situatie van Nederlandse praktijkbedrijven. Daarnaast wordt een voederproef uitgevoerd ter onderbouwing van het concept. Verschillende rantsoenen worden gevoerd en het effect op de urinesamenstelling en op de ammoniakemissie worden in beeld gebracht via metingen. Ingezet wordt op een route naar een borgingsinstrument zo mogelijk op basis van het melkureum-getal (UreumPlus-indicator). Gebruik makend van het prototype model, praktijkgegevens en expert-judgement wordt voor de meest voorkomende situaties in Nederland een 'best practice' voerconcept ontwikkeld. In samenspraak met potentiële gebruikers wordt een overzicht gemaakt van risicofactoren en mogelijke oplossingsrichtingen die het risico beperken/minimaliseren.

In Fase 2 wordt het prototype DynAm-instrument getest bij een groep van 5-10 melkveehouders. De resultaten van deze fase worden gebruikt voor verdere verfijning en verbetering van het DynAm-instrument.

In Fase 3 wordt het DynAm-instrument getest binnen een gangbaar rantsoenberekeningsprogramma van Rovecom. Verschillende mengvoerbedrijven die gebruik maken van de Rovecom software worden ingeschakeld om het prototype DynAm-instrument toe te passen en te evalueren op minimaal 25 praktijkbedrijven. Na deze fase vindt een finale update plaats van het DynAm-instrument.

Fase 4 is een doorlopend onderdeel om het DynAm-instrument aan te laten sluiten bij de problemen en wensen die in de praktijk worden ervaren/leven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillende communicatiekanalen richting melkveehouders, bedrijfsvoorlichters en dierenartsen (publicaties, studiegroepen, demodagen).

1.3 Leeswijzer

In het overall eindrapport van fase 2 (Straalen et al., 2017) zijn de belangrijkste bevindingen van de studie weergegeven. In deelrapport A "Het effect van eiwitgehalte en zouttoevoeging op melkproductie en –samenstelling, verteerbaarheid, stikstofuitscheiding met de urine en ammoniakemissie bij melkkoeien in mid-lactatie" (Kroon & van Straalen, 2017) zijn de uitgevoerde voederproef en de ontwikkeling van een 'best practice' voerconcept weergegeven. Er is een overzicht gemaakt van potentiele risicofactoren plus mogelijke oplossingsrichtingen die het risico beperken/minimaliseren.
In deze deelrapportage (deelrapport B, Bussink et al., 2017) zijn de aanpak en bevindingen gerapporteerd die ondersteunend/ onderbouwend zijn aan het DynAm-model en het meten van ammoniakemissie. Ook de mogelijkheden tot borging en het testen van het adviesinstrument op praktijkbedrijven en als prototype applicatie zijn gerapporteerd.

In H2 wordt nader ingegaan op het effect van de urinesamenstelling op de ammoniakemissie op basis van de uitgevoerde voederproef (zie deelrapport A) met 12 rantsoenen. In H3 wordt nader ingegaan op het kwantificeren/voorspellen van de urineproductie van melkvee op basis van rantsoenkenmerken, gebaseerd op proef- en literatuurgegevens. Zowel de urinesamenstelling als het urinevolume bepalen in hoge mate de ammoniakemissie en zijn cruciale factoren voor DynAm. In H4 wordt nader ingegaan op de mogelijkheden van borging. In H5 worden de resultaten beschreven van de toepassing van DynAm op 8 praktijkbedrijven door NMI en in H6 de resultaten van het uittesten op meer dan 25 praktijkbedrijven in samenwerking met mengvoerbedrijven ABZ, de Samenwerking en de softwarefirma Rovecom. In H7 is het DynAm-model beschreven.

2 Ammoniakemissie uit urine

2.1 Ammoniakemissie uit urine

Belangrijke factoren voor het voorspellen van de ammoniakemissie met DynAm zijn:

- De concentratie N in urine
- De samenstelling van de urine
- Het aantal urinelozingen en urinevolume

Daarnaast spelen stalfactoren (staltype), management (wanneer zijn koeien binnen of buiten) en weerseffecten een rol.

De N-concentratie in de urine wordt vooral beïnvloed door de N-rijkdom van het rantsoen en het zoutgehalte van het rantsoen. De nutriënten in het voer worden benut voor de productie van melk en voor onderhoud en groei van het dier. De onverteerde componenten worden met de mest uitgescheiden. De rest (wel geresorbeerd maar niet omzet in melk en vlees) wordt uitgescheiden via de urine. Uit de benutting van de stikstof in de pens en stofwisseling kan de uitscheiding van N met de urine worden berekend via E_Dairy (ingebed in DynAm). De belangrijkste bron voor ammoniakemissie is de ureum in urine dat snel wordt omgezet naar ammoniumcarbonaat en uiteindelijk ammoniak. Daarnaast bevat urine nog andere N-houdende bestanddelen die langzamer worden omgezet naar ammoniumcarbonaat en daarmee minder risico geven op ammoniakemissie op basis van model proeven met grond door Whitehead et al., (1989). De belangrijkste bestanddelen in urine zijn, in afnemende volgorde van NH_3-emissie (Whitehead et al., 1989; Bussink, 1996):

Ureum > Allantoine > Creatinine > Creatine > Hippuurzuur

Verder zijn er nog componenten als xanthine en hypo-xanthine. Ook deze hebben een laag potentieel voor NH_3-emissie. De niet ureum-N componenten van urine worden in redelijk constante hoeveelheden uitgescheiden van ongeveer 50 gram N per koe per dag (Van Straalen pers mede). Spek (2012) heeft een relatie afgeleid waarbij urine-N (g/d) = 55,4+ 0,932× ureum-N (g /d) (R^2 = 0,99). Daaruit valt af te leiden dat een koe per dag 55 gram niet ureum-N uitscheidt.
Bij een dalende N-opname van de koe, neemt de ureumuitscheiding sterk af. Dat leidt tot een lager aandeel ureum in de urine en daarmee in theorie tot een meer dan evenredige daling van het ammoniakemissie potentieel. Tot dusver zijn echter geen gegevens bekend of dit ook opgaat voor stalvloeren.

Niet alleen het aandeel ureum in de urine kan van belang zijn, ook de totale concentratie is van invloed op de ammoniakemissie. De concentratie aan N en ureum in de urine wordt niet alleen bepaald door de hoeveelheid opgenomen N door het dier, maar ook door het zoutgehalte. Veel zout of kalirijk gras leidt tot een hogere urineproductie en daarmee tot verdunning zoals blijkt uit de resultaten van Spek et al. 2012 en Bannink et al. (1999).
Het effect van de diverse rantsoenen in de voederproef op de urinesamenstelling en ammoniakemissie is nader onderzocht met behulp van een modelopstelling.

2.2 Proefopzet

Er is een factoriele voerproef uitgevoerd waarin rantsoenen zijn gevoerd die sterk verschillen in samenstelling. De voerproef kende:

- 3 eiwitniveaus (re=hoog (~160 g/kg ds), gemiddeld ((~150 g/kg ds), laag (~140 g/kg ds))
- 2 aminozuurniveaus (AZ=hoog en laag gehalte metaboliseerbaar methionine en lysine); en
- 2 zoutniveaus (zout =geen of 250 g/koe/ dag extra). Doel is om enerzijds een hoge eiwitbenutting te realiseren en anderzijds urine met een lage concentratie aan N en ureum. De opzet en uitvoering van de voederproef is gerapporteerd in deelrapport A (tabel 1, Kroon en van Straalen, 2017).

Een week (12 mei 2015) voor de start van de emissieproef is een vlakke betonnen vloer besmeurd met mest (enting met urease). De proef zelf is uitgevoerd van 19 tot 24 mei 2015. Het effect van een verschillende eiwit- en zoutopname met het rantsoen op de NH_3-emissie is gemeten via gesloten diffusiekamers. Daartoe zijn er tijdens de uitvoering van de voerproef gedurende 3 achtereenvolgende dagen van de 12 rantsoenen per rantsoen 2 urinemonsters genomen van 2 verschillende melkkoeien. (dag 1: ochtendurine, dag 2: middagurine en dag 3: avondurine). Dit geeft 3*24 experimentele eenheden. De urine werd zo kort mogelijk voorafgaand aan de start van het experiment opgevangen en gekoeld bewaard (bij 4 °C) tot het moment dat deze gebruikt werd in de proef.

Het meten van ammoniak vond plaats door op een stalvloer 10 ml urine aan te brengen. Vervolgens is midden op de urineplek een pvc-ring geplaatst van 2 cm hoogte en 5 cm doorsnede. Op de PVC-ring werd een petrischaaltje met 10 ml 1M HCl gezet. Over de urineplek werd vervolgens een emmer met een doorsnede van 25 cm geplaatst (zie foto's). Met krijt werd de plek van de emmer gemarkeerd zodat na elke wisseling van de zuursink, de emmer op dezelfde plaats kan worden teruggezet. De PVC-ring had aan de zijkant twee gaten om luchtuitwisseling binnen de PVC-ring en de lucht onder de emmer mogelijk te maken met. De zuursink werd met enige regelmaat vervangen gedurende een periode van 3 tot 4 dagen (vaak na 1-2, 12, 24, 48 en 72 uur). Bij het vervangen werd de HCl oplossing overgebracht in afsluitbare buisjes, waarna opnieuw 10 ml zuur op de petrischaal werd gebracht en vervolgens werd deze weer op de pvc-ring onder de emmer geplaatst. De hoeveelheid opgevangen ammonium is later bepaald in het laboratorium van ALNN.





Figuur 1. Een voorbeeld van een urineplek met zuursink en na afdekking van plekken met emmers.

De proef is uitgevoerd van 19 tot 23 mei 2015. In de week dat de voederproef werd uitgevoerd, zijn op 19 mei, 20 en 21 mei telkens 24 urinemonsters ingezet die 3-4 dagen werden gevolgd.

Van de urine die is ingezet in de proef is een submonster genomen waaraan vervolgens per 9 ml urine 1ml zuur is toegevoegd (om omzettingen te voorkomen). Deze 72 monsters zijn onderzocht op totaal N, ureum-N, urinezuur en creatinine door het laboratorium van het MC Zuiderzee Ziekenhuis te Lelystad. Daarnaast is het N- en K-gehalte in de urine gemeten door het laboratorium van de Schothorst.

2.3 Resultaten

2.3.1 Urinesamenstelling

Ten behoeve van de NH_3-emissie metingen zijn in totaal 72 urinemonsters geanalyseerd, afkomstig van 2 melkkoeien van 12 behandelingen/rantsoenen (3 eiwitniveaus (re), 2 aminozuurniveaus (AZ) en wel of geen zout (zout) toevoeging) en 3 dagdelen. Eerst is een eenvoudige overzichtsanalyse uitgevoerd voor alle 12 rantsoenen en de 3 dagdelen (Tabel 1) via ANOVA met als blokfactor “Herhaling” en als treatment de factor “rantsoen”. Daaruit blijkt dat het behandelingseffect significant is voor de diverse urinesamenstellingsparameters (Totaal_N, % ureum, etc.). Bij het hoogste RE-gehalte in het rantsoen (rantsoen 1) bedroeg de N-uitscheiding bijna 10 gram per liter, terwijl bij het laagste RE-gehalte en zout toevoegen en laag AZ (rantsoen 12) dit maar 4 gram per liter was.
In de uitgevoerde voederproef daalde het aandeel ureum in urine van 65% naar minder dan 40% voor een rantsoen met 158 g ruweiwit per kg ds en een hoog aminozuurniveau ten opzichte van een rantsoen met 136 gram ruweiwit en een laag aminozuurniveau. Bij het laagste eiwitniveau bedraagt de uitscheiding van ureum de helft van die met een hoog eiwitniveau.

Tabel 1. De gemiddelde samenstelling van de urine, het urinevolume en de dagelijkse uitscheiding van N met urine, uitgesplitst naar rantsoen (rantsoen 7-12 is gelijk aan rantsoen 1-6 maar met 250 g zout per koe per dag) en dagdeel (ochtend-, middag- en avondurineverzameling) en de statistische verschillen.

Rantsoen (Re-AZ-Zout)*	RE g /kg ds	Totaal_N g N/l	%ureum %	Urinezuur g N/l	Creatinine g N/l	Kgeh g K/l	Urinevol. l/koe	Urine-N g N/dag	Ureum gN/dag
1 (h – h – 0)	158	8,57	65	0,155	0,279	16,4	22,0	204	134
2 (h – l – 0)	152	6,46	59	0,107	0,236	12,5	24,0	169	101
3 (g – h – 0)	149	6,50	58	0,148	0,279	16,2	23,4	166	95
4 (g – l – 0)	144	5,14	57	0,104	0,203	13,4	30,1	164	94
5 (l – h– 0)	141	5,80	49	0,100	0,275	14,7	21,9	142	73
6 (l – l – 0)	136	4,43	45	0,090	0,226	13,3	28,3	139	62
7 (h – h -- 250)	158	6,45	65	0,107	0,217	11,0	30,3	205	133
8 (h – l-- 250)	152	5,51	64	0,090	0,172	10,5	36,7	217	140
9 (g – h -- 250)	149	4,70	51	0,099	0,181	10,1	30,3	151	77
10 (g – l - 250)	144	5,12	48	0,092	0,223	12,9	28,8	163	78
11 (l – h-- 250)	141	4,16	44	0,094	0,187	10,9	32,4	148	64
12 (l – l-- 250)	136	3,53	38	0,065	0,160	10,0	38,8	151	57
lsd		1,04	6,0	0,2349	0,0452	1,677	7,4	25,7	17,5
F pr.		<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
dagdeel urineverzameling									
ochtend	147	6,28	54	0,111	0,228	12,9	28,3	167	93
middag	147	6,07	53	0,099	0,216	12,9	29,2	169	91
avond	147	6,08	54	0,102	0,216	12,2	29,3	169	94
lsd		0,577	3,0	0,1174	0,0226	0,839	3,72	12,9	8,72
F pr.		ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns

* de rantsoenbehandelingen: eiwitniveaus (re=hoog (h), gemiddeld (g), laag(l));- 2 AZ-niveaus (hoog (h) en laag (l)); en 2 zoutniveaus (zout =geen of 250 g/koe/ dag extra).

Op een verschillend tijdstip van de dag een urinemonster nemen heeft geen significante invloed op de urinesamenstelling. In feite kan dagdeel dan als extra herhaling worden beschouwd.
In de urine van de melkkoeien is het gehalte aan creatinine gemeten. Deze stof wordt in ongeveer constante hoeveelheden uitgescheiden van 0,2125 mmol/kg lichaamsgewicht per dag (Chizzotti et al., 2008). De melkkoeien zijn individueel gewogen. Op basis van deze gewichten zijn de urineproducties berekend. Per rantsoen resulteert dit in urineproducties variërend van 22 liter tot 38 liter per rantsoen. De berekende urineproductie varieerde sterk, zo werd de laagste productie gemeten bij het hoogste ruweiwitgehalte (rantsoen 1) en werd de hoogste productie berekend bij het laagste eiwitgehalte en extra zout (rantsoen 12).

Bij een verdere eenvoudige analyse met ANOVA is als blokfactor “Herhaling +dagdeel” gebruikt en zijn als treatment de factoren “re, AZ en zout” gebruikt (interacties zijn buitenbeschouwing gelaten). In Tabel 2 zijn de resultaten van toetsen op significantie van de hoofeffecten weergegeven. Daaruit blijkt dat de factoren re, AZ en zout alle van significante invloed zijn op veel urineparameters. Het beeld is dat het N-gehalte in urine daalt bij een lager eiwitgehalte van het rantsoen en dat daarbij de fractie ureum eveneens daalt. Zowel de totale N-uitscheiding (Urine_N) als de uitscheiding van ureum dalen significant bij een lager ruweiwitgehalte. Bij de behandeling laag ruw eiwit wordt nog maar ruim 60 gram ureum-N per koe per dag uitgescheiden.

Een laag AZ-gehalte geeft significant lagere waarden voor de gehalten in urine. Het urinevolume stijgt dan significant met 4,5 liter per koe per dag. Verhogen van het zoutgehalte geeft ook significant lagere waarden voor de gehalten. Het urinevolume stijgt dan significant met bijna 8 liter per koe per dag.

Tabel 2. Het effect van de behandelingen ruweiwit (re), aminozuur niveau (AZ) en zout op de urinesamenstelling, urinevolume en dagelijkse uitscheiding van N met urine.

Behandeling	RE	Totaal_N	%ureum	Urinezuur	Creatinine	Kgeh	Urineprod	Urine_N	Ureum
	g/kg ds	g N/l	%	g N/l	g N/l	g K/l	l/koe dag	g N/dag	gN/dag
re									
Hoog	155	7,50	63	0,115	0,226	12,6	28,2	198	127
Midden	147	5,96	54	0,111	0,212	13,2	28,2	161	86
Laag	139	4,98	44	0,087	0,216	12,2	30,4	145	64
lsd		0,610	3,2	0,123	0,0244	1,02	3,8	14	10
F pr.		<0,001	<0,001	<0,001	ns	ns	ns	<0,001	<0,001
AZ									
Hoog lys	149,3	6,70	55	0,117	0,250	13,2	26,7	169	96
Laag lys	144	5,59	52	0,091	0,190	12,1	31,1	167	89
lsd		0,498	2,6	0,0100	0,0200	0,83	3,1	11	8,2
F pr.		<0,001	0,011	<0,001	<0,002	<0,009	0,006	ns	ns
Zout									
Geen	147	6,83	55	0,117	0,250	14,4	25,0	164	93
extra	147	5,46	52	0,091	0,190	10,9	32,9	173	92
lsd		0,498	2,6	0,0100	0,0200	0,83	3,0	11	8,2
F pr.		<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	ns	ns

2.3.2 De ammoniakemissie

Voorafgaand aan het experiment is een pre test uitgevoerd, waarbij de zuursinks na 1, 2, 4 en 24 uur zijn vervangen. Dit om na te gaan met welke frequentie de zuursinks vervangen dienden te worden. Uit de analyseresultaten blijkt dat de eerste 2 uur nauwelijks bijdragen aan de totale ammoniakemissie. Monsters van de eerste 2 meeturen zijn daarom niet geanalyseerd.
De resultaten zijn geanalyseerd met ANOVA. Eerst is een overzichtsanalyse uitgevoerd voor alle 12 rantsoenen (Tabel 3). Daarbij is het dagdeel van urine verzamelen als factor meegenomen (urine is op drie achtereenvolgende dagen verzameld en ingezet). De omgevingscondities zouden daardoor kunnen verschillen. De ANOVA-analyse heeft als blokfactor “Herhaling” en als treatment de factor “rantsoen + dagdeel urine verzamelen”. De gegevens in Tabel 3 laten zien dat onder de gekozen proefomstandigheden de emissiesnelheid tussen 10 uur en 1 dag na inzetten het hoogst is. De overall cumulatieve emissie bedraagt 35% van de toegediende urine –N. De emissie uitgedrukt als percentage van de toegediende urine-N varieerde nauwelijks tussen de rantsoenen. Statistisch waren er geen significante verschillen in emissiepercentage tussen de rantsoenen. Het dagdeel had eveneens geen significante invloed op de emissie. De omgevingscondities (bijv temperatuur waren redelijk vergelijkbaar, zo schommelde de maximumbuitentemperatuur tussen 19 en 24 mei tussen 15 en 20 graden, met een redelijk constant stalklimaat als gevolg).

Tabel 3. De cumulatieve ammoniakemissie als percentage van de toegediende hoeveelheid urine-N en ureum-N per rantsoen en per dagdeel (exclusief de emissie van 0-2 uur).

Rantsoen	Totaal N	Na 10,5 uur*		Cum. na 1 dag		Cum. na 2,5 dagen	
	gN/l	NH_3-em % totaal	NH_3-em % ureum	NH_3-em % totaal	NH_3-em % ureum	NH_3-em % totaal	NH_3-em % ureum
1	8,57	9	15	18	29	32	53
2	6,46	9	18	16	29	30	55
3	6,50	8	16	17	33	32	62
4	5,14	13	24	17	31	34	65
5	5,80	8	18	18	40	31	69
6	4,43	7	18	16	39	32	76
7	6,45	10	16	16	26	31	51
8	5,51	8	13	19	31	34	56
9	4,70	9	19	16	35	32	67
10	5,12	9	21	15	34	29	66
11	4,16	7	17	17	44	33	85
12	3,53	7	20	12	34	26	75
Gem.	5,53	9	18	16	34	31	65
lsd	1,04	5,2	11,2	8,5	19,3	10,3	24,8
F pr.	<0,001	ns	ns	ns	ns	ns	ns
dagdeel urineverzameling							
ochtend	5,65			23	47	31	63
middag	5,46	8	17	22	47	31	65
avond	5,48	9	18	21	43	32	67
lsd	0,52	2,1	4,6	4,2	9,6	5,1	12,4
F pr.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

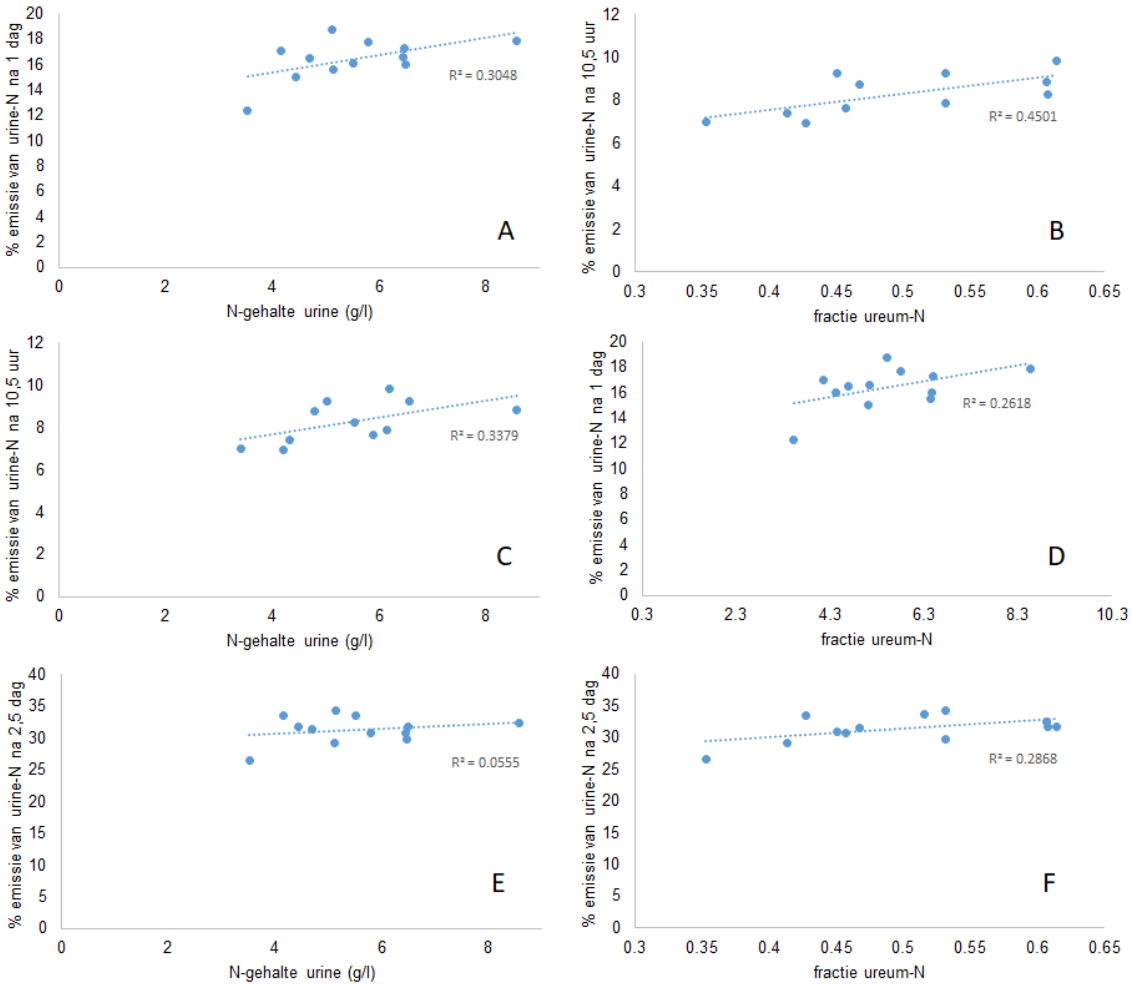
Bij de verdere analyse met ANOVA is voor de proeffactoren “re, AZ en zout” als blokfactor “Herhaling + dagdeel urine verzamelen” gebruikt. Qua ammoniakemissie was geen van de proeffactoren significant

met uitzondering van re indien de emissie als percentage van de berekende ureumuitscheiding wordt weergegeven. Er waren geen significante interacties tussen de proeffactoren. In Tabel 4 zijn de resultaten van het toetsen op significantie van de hoofdeffecten" re, AZ en zout" weergegeven.

Tabel 4. Het effect van de behandelingen ruweiwit (re), aminozuur niveau (AZ) en zout op de cumulatieve ammoniakemissie als percentage van de toegediende hoeveelheid urine-N en ureum-N (exclusief de emissie van 0-2 uur).

Rantsoen	Totaal N	Na 10,5 uur*		Cum. na 1 dag		Cum. na 2,5 dagen	
	in urine	NH_3-em	NH_3-em	NH_3-em	NH_3-em	NH_3-em	NH_3-em
	g/l	% totaal	% ureum	% totaal	% ureum	% totaal	% ureum
re							
hoog	6,75	9,1	15	23	39	31	54
gemiddeld	5,36	9,6	20	23	47	32	65
laag	4,48	7,3	18	21	51	32	76
lsd	0,54	2,5	5,3	4,1	9,2	5,0	11,8
F pr.	<0,001	ns	ns	ns	0,035	ns	0,002
AZ							
laag	6,03	8,3	17	23	45	32	65
hoog	5,03	9,0	19	22	46	31	65
lsd	0,44	2,1	4,3	3,3	7,5	4,1	9,7
F pr.	<0,001	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Zout							
geen	6,15	8,9	18	23	46	32	63
extra	4,91	8,3	18	21	46	31	67
lsd	0,44	2,1	4,3	3,3	7,5	4,1	9,7
F pr.	<0,001	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Eén van de hypotheses is dat vooral ureum snel wordt afgebroken op de stalvloer in tegenstelling tot de niet ureum verbindingen. Dat zou beteken dat urine met een laag aandeel ureum een lagere emissiefactor (als percentage van de totale N-uitscheiding via urine) heeft dan urine met een hoog aandeel ureum. Tabel 3 geeft daar een aanwijzing voor (na 10,5 uur en na 1 dag). Dat wordt duidelijker door de resultaten grafische weer te geven zoals in Figuur 1. Duidelijk is te zien dat het emissiepercentage toeneemt naarmate het N-gehalte toeneemt het aandeel ureum toeneemt. Na 10,5 uur is de verklaarde variantie het hoogst. Na 1 dag is deze iets gedaald en na 2,5 dag is er geen relatie meer tussen N-gehalte en percentage ammoniakemissie. De niet ureum componenten zijn na 2,5 dag ook volledig afgebroken (en mogelijk al eerder). Na 10,5 uur is dit niet of slechts beperkt het geval.



Figuur 1. De ammoniakemissie als percentage van het N-gehalte van de urine per rantsoen (12) en als percentage van de fractie ureum-N per rantsoen(12), na 10,5 uur (A en B), na 1 dag (C en D) en na 2,5 dag (E en F).

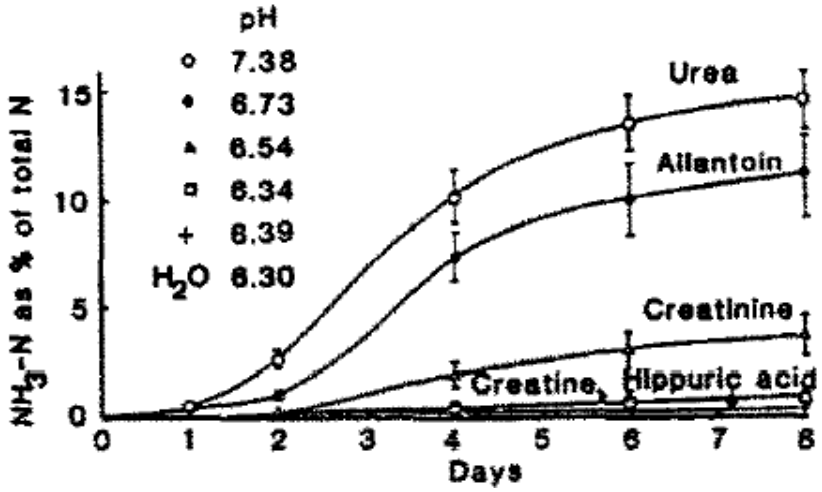
2.4 Discussie

Onderzoek van Whitehead et al. (1989) met urineoplossingen toegediend aan grond geeft aan dat de ammoniakemissie daalt naarmate het aandeel ureum in de urinestikstof afneemt. De emissie van de niet ureum componenten is een stuk lager dan die van ureum. Of de bevindingen van Whitehead voor niet ureum componenten ook opgaan voor stalvloeren is nauwelijks bekend. In de literatuur ontbreken daar gegevens over. Wel is in modelstudies de emissie van een stalvloer vooral gerelateerd aan de hoeveelheid ureum die initieel aanwezig is (Muck en Steenhuis, 1981, Monteny, 2000; Snoek et al., 2014). De gevoerde rantsoenen in de proef van 2015 laten grote verschillen zien met betrekking tot initieel aanwezig ureum in urine. Op basis van Tabel 1 daalt bij een eiwitarmer rantsoen het aandeel ureum in de urine sterk (het aandeel ureum varieert tussen 65 en 38%). De resultaten in Tabel 3 en vooral Figuur 1 duiden erop dat het aandeel ureum in urine bepalend is voor de ammoniakemissie. Dit effect zwakt af met de tijd en na 2,5 dag verdwenen. De niet ureum verbindingen zijn waarschijnlijk ook volledig omgezet naar ammonium.

Op basis van de resultaten lijkt de conclusie te zijn dat in het diffusie experiment de emissie lineair gerelateerd (althans initieel) is aan het ureumgehalte van urine. Een belangrijke kanttekening is wel dat de emissie in een diffusie experiment langzamer verloopt en ook langer doorloopt dan op een stalvloer.

Er is geen vrije uitwisseling met de omgevingslucht waardoor de urineplek niet opdroogt, in tegenstelling tot experimenten met geforceerde ventilatie of natuurlijke ventilatie. Onderzoek van onder andere Elzing en Monteny (1997a en b) geeft aan dat de maximale emissiesnelheid uit een urineplek na 2 uur bereikt wordt en dat de emissie wel 15 uur of langer kan doorgaan maar zelden langer dan 24 uur (Zhang & Rom, 2006). In het diffusie experiment loopt de emissie zo'n 4 dagen door (resultaten niet getoond). Bij vrije uitwisseling met de omgevingslucht zijn de emissiesnelheden dus hoger. Tegelijk is de omzettingssnelheid van niet-ureumverbindingen in principe onafhankelijk van hoe de ammoniakemissie wordt gemeten. Bij emissie-experimenten op basis van natuurlijk ventilatie of geforceerde ventilatie kunnen de eerste uren dus heel bepalend zijn voor de totale emissie die wordt gemeten. Indien de afbraak van niet-ureumcomponenten pas na een aantal uren op gang komt dragen deze componenten in een experiment met geforceerde ventilatie niet of veel minder bij aan de emissie. Indirect blijkt dat ook uit een proef van Smits et al. (1995) waarin een rantsoen met N-armer rantsoen een 42% lagere ureumconcentratie in de urine gaf, wat resulteerde in een 39% lagere ammoniakemissie. Ook Elzing en Monteny (1997b) rapporteerden een lineair verband tussen ureumconcentratie en ammoniakemissie. In het diffusie-experiment zouden eigenlijk nog kortere tijdsintervallen moeten worden gebruikt om nog duidelijk aan te tonen dat het ureum in urine bepalend is voor de emissie, omdat de niet ureum componenten ook snel worden omgezet (na 1 dag is de relatie met ureumfractie al lager dan na 10,5 uur; Figuur 1)

De conclusie lijkt te zijn dat het diffusie experiment geschikt is om het verschil in emissie tussen urine met hoog en laag aandeel niet-ureum aan te tonen. Vanwege de snellere omzetting van niet-ureumverbindingen op stalvloeren in vergelijk tot de bodem waar de omzetting meerdere dagen duurt (Whitehead et al., 1989; Figuur 2) kortere tijdsintervallen op de eerste dag zouden moeten worden gebruikt om dat nog duidelijker aan te tonen. Naast de genoemde bron Elzing en Monteny (1997b) ontbreekt verder kwantitatieve informatie over de omzetting van niet-ureum verbindingen op stalvloeren in de literatuur.



Figuur 2. De cumulatieve ammoniakemissie van 5 urine bestanddelen toegediend aan grond in een hoeveelheid van 22,1 g N /m2 en het effect op de bodem pH na 24 uur.

Het diffusie-experiment toont overigens duidelijk aan dat de resultaten redelijk reproduceerbaar zijn.

In het door ons ontwikkelde ammoniakemissiemodel is de aanname dat de emissie van de vloer bepaald wordt door de fractie ureum in urine en niet door totaal N in de urine. Gegeven de bevindingen in de literatuur en de voorzichtige conclusie uit het diffusie-experiment blijft deze aanname gehandhaafd.

Verder blijkt uit de metingen dat verlagen van het AZ-gehalte leidt tot een hoger urinevolume en dus lagere gehalten in de urine en daarmee in potentie tot een lagere ammoniakemissie. Opvallend was ook dat er gemiddeld geen verschil in samenstelling was van ochtend, middag of avondurine. Dat zou tot de conclusie kunnen leiden dat de rantsoenen goed gebalanceerd waren gedurende de dag (zie verder Kroon en van Straalen, 2017).

3 Het berekenen van het aantal urinelozingen, de urineconcentratie en -productie

3.1 Inleiding

Belangrijke factoren voor de ammoniakemissie zijn:

- de totale N-uitscheiding via urine
- het aantal urinelozingen
- het urinevolume, dat bepaalt met de N-uitscheiding de N-concentratie van urine (en samenstelling)
- de verdeling van de lozingen over een etmaal

De totale N-uitscheiding via urine is te berekenen uit de som van drogestofopname van elk voedermiddel in het rantsoen vermenigvuldigd met het N-gehalte in het voedermiddel minus de N-uitscheiding in melk en vlees en de uitscheiding van N in mest (de verteerbaarheid van het eiwit is hierop van invloed). Deze berekening vindt plaats in DynAm. Daarbij wordt op basis van het rantsoen en de verteerbaarheidskenmerken van het rantsoen uitgerekend hoeveel N via feces wordt uitgescheiden (Kroon & van Straalen, 2017). De melkproductie en het eiwitgehalte zijn bekend waarna vervolgens de N-uitscheiding via urine kan worden berekend. Als van de rantsoenen de verteerbaarheidskenmerken niet bekend zijn dan zijn er in de literatuur veel schattingsformules om de N-uitscheiding in urine te schatten.

Het aantal urinelozingen per koe per dag is minder goed bekend. Bij de ontwikkeling van DynAm is van 10 lozingen per etmaal uitgegaan met een verondersteld volume van 2.5 liter per lozing. Literatuurgegevens zijn vergeleken met metingen in de voederproef voor het updaten van deze waarden.
Tegelijk is van belang om vast te stellen in hoeverre met voorspellingsformules uit de literatuur het urinevolume juist geschat kan worden, temeer daar het urinevolume en de N-uitscheiding in urine de N-concentratie bepalen. Ook de verdeling van de urinelozingen over de dag is van invloed, zeker indien er weidegang wordt toegepast waarbij een deel van de urine dan niet in de stal komt. Deze informatie is gewenst om het ammoniakmodel juist te parametriseren.

3.2 Aantal urinelozingen

3.2.1 Literatuur

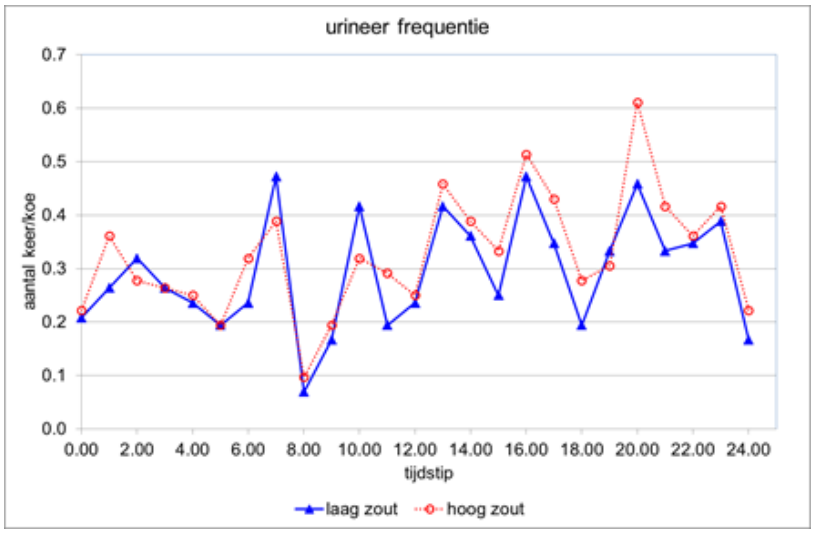
Er zijn verschillende bronnen beschikbaar over de frequentie van urinelozingen. Castle et al. (1950) rapporteerde 9,7 lozingen in een beweidingsproef. Jarvis et al. (1995) schatten het aantal lozingen op 10-12. White et al., (2001) rapporteerden gemiddeld 9,0 lozingen (met een afwijking van ± 0,6) in een beweidingsproef met Holsteiners in North Carolina. Bannink et al. (1999) vonden in vier proeven met op gras gebaseerde rantsoenen 10-12 lozingen per etmaal. In Zweden hebben Aland et al,. (2002) in een aanbindstal gedurende 9, 24 uurs perioden het aantal urinelozingen en defecaties gemeten. Gemiddeld kwamen zij uit op een aantal van 9,0 lozingen en 16,1 defecaties per etmaal. Daarbij vonden de meeste lozingen/ defecaties rondom melken en voeren plaats. Er waren duidelijk verschillen tussen dieren, maar ze konden niet aantonen dat er een verband was met lactatiestadium en of niveau van melkproductie. Ze constateerden verder dat het gemeten aantal urinelozingen nauwelijks afweek van proeven van Fuller uit 1928 die 7,9 lozingen rapporteerde.
In twee proeven in vrijloopstallen kwam Villettas et al. (2011) uit op een gemiddelde van 7,0 (proef 1) en

9,3 (proef 2) lozingen per dag bij een voeropname van 49 kg product en een wateropname van 104 liter per dag. Het aantal lozingen varieerde van 3 tot 19 per dag. Draganova et al. (2015) rapporteerde in een beweidingsproef in 2009 gedurende 7 dagen met ruim 1000 geregistreerde lozingen een gemiddelde van 9,8 lozingen per dag. Ruwweg vond er overdag 0,6 lozing en 's nachts 0,3 lozing per uur plaats (gemiddeld 0,41 lozing per uur). In een proef van Oudshoorn (2008) bedroeg het aantal lozingen 0,24 per uur. Recentelijk hebben Misselbrook et al. (2016) bij beweiding met vleesvee (gemiddeld gewicht 630 kg per dier) en pinken (gemiddeld gewicht 430 kg per dier) respectievelijk 7,6 en 11,6 urinaties gemeten. Als we de literatuur resultaten uitmiddelen (exclusief Oudshoorn, Misselbrook en de schatting van Jarvis) dan bedraagt het aantal urinelozingen gemiddeld bijna 10 per koe per etmaal. Het betrof merendeel rantsoenen met gras, deels van experimenten met een ruime stikstofbemesting.

3.2.2 Eigen metingen

In de proef van 2015 is de gehele groep dieren 48 uur lang continue geobserveerd vanuit een ruimte waarbij de dieren niet werden gestoord. Gestart werd op maandag 11 mei 2015 om 9:00 uur 's morgens tot 9:00 uur 's morgens op woensdag 13 mei. Het aantal lozingen over de 6 rantsoenen varieerde van gemiddeld 8,9 voor de behandeling eiwit hoog en aminozuur hoog tot 6,8 voor eiwit laag en aminozuur hoog (uitgemiddeld over de zoutniveau 's). Er was een zwakke aanwijzing dat meer eiwit ook leidt tot meer urineproductie. Het totaal aantal lozingen uitgesplitst naar wel of geen zout toevoegen bedroeg respectievelijk 7,3 en 8,2 lozing (Kroon & van Straalen, 2017, Tabel 12). Dit verschil was niet significant. Gemiddeld bedroeg het aantal lozingen 7,8. In de zomer van 2016 is in een andere proef gedurende 1 etmaal de urineerfrequentie vastgesteld voor een groep van 24 melkkoeien. Deze bedroeg 7,8 lozingen per etmaal (de resultaten van 1 dier met bijna 20 lozingen per etmaal zijn weggelaten). Op basis van de hoeveelheid urine die wordt uitgescheiden (vastgesteld via o.a. de N- en K-balans (deel A, Kroon & van Straalen, 2017, Tabel 12) komt dit gemiddeld ongeveer overeen met 3,8 liter urine per lozing.

De proef in 2015 betrof rantsoenen met een relatief laag eiwitgehalte variërend van 15,2 tot 13,2% ruweiwit (gemiddeld 14%) vergeleken met de rantsoenen uit de literatuur. Als input voor de berekeningen van DynAm is 8 lozingen per etmaal aangehouden en niet de literatuurwaarde van bijna 10, temeer daar ook praktijkrantsoenen meer en meer gefocust zijn op een relatief laag ruweiwit gehalte. Ruwweg vond er overdag 0,35 lozing per uur plaats en 0,27 lozing 's nachts (gemiddeld 0,325 lozing per uur). De piekmomenten liggen rond melkenstijd met een waarde van 0,5.



Figuur 3. Het dagelijkse verloop van de urineerfrequentie voor de laag en hoog zout behandeling over de periode van 11 tot 13 mei 2015.

3.3 De N-uitscheiding in urine

De N-uitscheiding in mest en urine is van veel factoren afhankelijk. Bepalende factoren zijn natuurlijk de N-opname met het voer, de melkproductie, de verteerbaarheid van de voedermiddelen en de retentie door het dier. In de literatuur staan veel proeven gedocumenteerd waarin getracht is generieke relaties te ontwikkelen voor het voorspellen van de N-uitscheiding in mest en urine.
Recentelijk zijn er reviews uitgevoerd door Johnsson et al. (2016) en Reed et al. (2015). In de meta-analyse van Reed et al. (2015) zijn de data van een groot aantal proeven samengevoegd. Daarmee zijn eenvoudige (1 parameter) en complexe modellen (5-6 parameters) ontwikkeld om de hoeveelheid urine-N, feces-N en de totale N-uitscheiding met feces en urine te voorspellen. In het eenvoudige model waren respectievelijk de N-opname en of de drogestofopname de bepalende factoren. In de meer complexe modellen is naast de drogestofopname ook NDF, de verteerbaarheid, het ruweiwitgehalte, de energie-inhoud en het metabool gewicht (lichaamsgewicht*0,75) meegenomen. Het resultaat van deze analyse is dat de voorspelnauwkeurigheid beter is dan van andere in de literatuur gerapporteerde modellen bij toetsing op een separate dataset. Het door Reed et al. (2015) ontwikkelde meta-model voor de schatting van de urine-N uitscheiding kende een RMSPE (root mean square prediction error) van 11% (ofwel 25 g N/ per koe per dag) bij toetsing op een USA-dataset van proeven die gelopen hebben tussen 1990 en 1995. Voor het eenvoudige model bedroeg de RMSPE 13% (ofwel 30 g N/ per koe per dag). Het ontwikkelde meta-model voor de schatting van de feces-N uitscheiding kende een RMSPE van 17% (ofwel 37 g N/ per koe per dag). Voor het eenvoudige model bedroeg de RMSPE 18% (ofwel 41 g N/ per koe per dag). Zelfs voor de complexe modellen voor urine-N en feces-N is de afwijking nog steeds vrij groot en is de winst ten opzichte van een eenvoudig model beperkt. Johnson et al. (2016) hebben de studie van Reed et al. (2015) nog uitgebreid met data van recentere proeven en naast de RMSPE ook de concordance correlation coefficient meegenomen. Ze hebben in de literatuur gepubliceerde modellen geëvalueerd en concludeerden bijvoorbeeld dat de eenvoudige modellen van Reed et al. (2015) en Huhtanen et al. (2008) voor urine het beste voldeden (zie hieronder). Ook de relaties van Jonker et al (1998) en Castillo et al. (2000) voldeden.

Urine-N = 12,0 + 0,333 x NI	Reed et al (2015b)
Urine-N = 0,83 x NI – Melk_N-uitscheiding -97	Jonker et al. (1998)
Urine-N = 30,4 x $e^{0,0036 ,x NI}$	Castillo et al (2000)
Urine-N = 27 + 0,844 x NI − 13 x DMI	Huhtanen et al. (2008)
Urine-N = 104 + 0,855 × NI − 13,2 × DMI − 6,8 × ME	Huhtanen et al. (2008)
Feces-N = −21 + 6,73 x DMI + 0,101 x NI	Huhtanen et al. (2008)

Echter de RMSPE over alle data bedroeg 25-29% (ofwel ruim 50 g N/ per koe per dag). Daarmee zijn deze relaties weinig zinvol om toe te passen op dierniveau voor het berekenen van de N-uitscheiding van urine maar mogelijk nog wel zinvol op groepsniveau. In dezelfde evaluatie van Johnsson et al. (2016) werd een eenvoudig model van Huhtanen et al. (2008) als beste beoordeeld voor het voorspellen van de feces-N uitscheiding met een RMSPE van 14%.

Spek et al., (2013) hebben ook een meta-analyse uitgevoerd om de urine- en feces-N te voorspellen. Daarbij is in tegenstelling tot de studie van Reed et al. (2015) gefocust op melkureum als voorspeller van de N-uitscheiding. Voor de analyse zijn proeven gebruikt die informatie bevatten over de verdeling van de N-uitscheiding over urine, feces en melk, maar ook informatie bevatten over melkureum, de drogestofopname, de rantsoensamenstelling en de melkproductie en melksamenstelling. Daarvoor zijn in totaal 47 proeven gebruikt uit Noord- Amerika en Europa met in totaal 193 waarnemingen over de N-

uitscheiding in urine. In een deel van de proeven zijn de waarnemingen gebaseerd op kwantitatieve metingen van het urinevolume. De resultaten lieten zien dat de N-uitscheiding aanmerkelijk beter is te voorspellen als naast melkureum ook het ruweiwitgehalte van het rantsoen en drogestofopname wordt meegenomen (Table 3, Spek et al., 2013). Voor de dataset gebaseerd op kwantitatieve urinemetingen bedroeg de R^2 respectievelijk 82%, 93% en 93% voor het voorspellen van de N-uitscheiding gebaseerd op melkureum, melkureum plus ruweiwitgehalte en melkureum plus ruweiwitgehalte plus drogestofopname. De RMSPE bedroeg respectievelijk 28,6;18,8 en 18,3 g N per koe per dag bij een gemiddeld uitscheidingsniveau van ongeveer 200 g N per koe per dag. Van de volledige dataset waren de resultaten minder goed en bedroegen respectievelijk 72%, 85% en 86%.

In Tabel 5 is de gemeten N-uitscheiding in de voederproef van 2015 vergeleken met enkele hiervoor genoemde formules uit de literatuur. Het blijkt dat de door Spek et al. (2013) ontwikkelde relaties – met melkureum als belangrijke parameter - een matig tot slecht voorspellende waarde hebben voor de N-uitscheiding met urine. Ruweiwitopname plus melkproductie en melkeiwit geven een betere voorspelling Jonker et al. (2010) en Huhtanen et al (2008). Als de N-uitscheiding via feces niet geschat kan worden omdat verteerbaarheidskenmerken ontbreken zijn eenvoudige relaties als die ontwikkeld door Jonker et al. (2010) en Huhtanen et al (2008) een optie (Tabel 5).

Tabel 5. De gemeten N-uitscheiding in urine in de voerproef van 2015 (6 rantsoenen, twee zoutniveaus, 4 melkkoeien per rantsoen versus de voorspelde N-uitscheiding op basis van een aantal relaties uit de literatuur en de gemeten N-uitscheiding direct gerelateerd aan voer- en melkparameters.

	N in urine			R2 (se)	Parameters
	Gem	Min	Max		
2015 proef (n=48)	**160**	**97**	**261**		
Voorspelling literatuur					
Reed et al. (2015)*	195	148	231	0,69 (20)	ruweiwitopname
Jonker et al. (2010)**	180	97	263	**0,77 (18)**	ruweiwitopname+melkprod.+%melkeiwit
Castillo et al. (2000)	229	134	332	0,69 (21)	ruweiwitopname
Huhtanen1 (2008)	176	122	242	0,61 (23)	Dsopn + ruweiwitopname
Huhtanen2 (2008)*	177	124	246	**0,75 (19)**	Dsopn + ruweiwitopname+melkprod.
Kebreab et al. (2010)	231	176	272	0,69 (21)	ruweiwitopname
Spek et al. (2013)					
Table 3, model 2	136	106	175	0,28	Mureum + %ruweiwit
Table 3, model 7	112	78	154	0,35	Mureum + %ruweiwit
Table 3, model 4	147	91	195	0,64	Mureum + %ruweiwit +Dsopn
Table 3, model 8	137	83	184	0,62	Mureum + %ruweiwit +Dsopn
Regressie analyse op de proefgegevens			se	R2	
Relatie 1			29,6	0,28	Mureum
Relatie 2			22,7	0,63	Mureum+Dsopn
Relatie 3			20,6	0,70	Dsopn+%ruweiwit
Relatie 4			16,8	0,80	Dsopn+%ruweiwit+melkprod+%melkeiwit
Relatie 5			3,62	**0,99**	Dsopn+%ruweiwit+melkprod+%melkeiwit+ Verteerbaar_ruweiwit

* als beste beoordeeld in de studie van Johnsson et al. (2016)

** voorspelt het beste de N-uitscheiding via urine

Naast de literatuurrelaties zijn op basis van lineaire regressie ook directe relaties ontwikkeld tussen de hoeveelheid N in urine en voer- en melkparameters (Tabel 5, relatie 1 tot 5). Alleen melkureum zegt weinig over de N-uitscheiding. Op basis van drogestofopname, %ruweiwit, de melkproductie en het %melkeiwit kan de N-uitscheiding redelijk worden voorspeld (R^2=0,80 en RMSPE =10,5%. Een betere voorspelling is pas mogelijk als de verteerbaarheid van het ruweiwit wordt meegenomen. In DynAm wordt bij de berekening van de N-uitscheiding met urine en feces standaard rekening gehouden met de afbraak- en verteringscoëfficiënten van alle individuele voercomponenten waaruit het rantsoen bestaat (plus drogestofopname, %ruweiwit, de melkproductie en %melkeiwit).
In de zomer van 2016 is nog een andere voerproef uitgevoerd met 36 dieren. Toevoegen van de resultaten aan die van 2015 leidde tot eenzelfde beeld, de R^2 voor relatie 4 en 5 waren vergelijkbaar.

3.4 Urineproductie

3.4.1 Urineproductie op basis van literatuur

In proeven is de urineproductie (kg per koe per dag) bepaald op basis van de K-balans methode, de N-balans methode en via creatinine of via het toevoegen van een marker (zie deelrapport A). Normaal wordt de urineproductie echter niet gemeten en zal deze geschat moeten worden om de N-concentratie in urine te berekenen. In de literatuur zijn relaties ontwikkeld om de urinehoeveelheid te kunnen schatten op basis van rantsoenkenmerken. Bekend is een relatie die door Bannink et al. (1990) is ontwikkeld:

Urineproductie = 1,344+DMI*(1,079*Na%+0,538*K%+0,1266*N%) - Melk*(0,1216+0,0275*Melkeiwit%)

Het voordeel van bovenstaande formule (R^2 = 0,898, SE = 4,22) is dat er veel invloedfactoren zijn opgenomen. Daardoor komen verschillen in urineproductie voor diverse rantsoenen mogelijk goed tot uiting. Een ander voordeel van de data van Bannink et al. (1999) is dat de rantsoenen qua samenstelling representatief zijn voor de Nederlandse omstandigheden. Een nadeel is echter dat deze formule is afgeleid uit proeven van 20 jaar en langer geleden bij lagere melkproducties dan tegenwoordig. Bovendien was de grascomponent in het rantsoen toen veelal eiwit- en kalirijker en hadden de melkkoeien een lager lichaamsgewicht.

Ook Nennich et al, (2006) hebben relaties ontwikkeld. De volgende vergelijkingen worden in het artikel genoemd als de beste voorspellers:

Urineproductie = 17,1 + 0,563*melkureum-N(in mg/dl) RSE = 5,8
Urineproductie = 11,4 + 0,43*melkureum-N (in mg/dl) + 0,062*NaI (in g/d) RSE = 5,8

De drogestofopname in de proeven van Nennich et al. (2006) bedroeg gemiddeld 22 kg/dag bij een melkproductie van 33 kg/dag. De urineproductie bedroeg gemiddeld 24 kg/dag en varieerde van 11 tot 58 kg/dag. Een andere relatie is die ontwikkeld door Kume et al. (2008) waarin een Japanse voederproef de urineproductie per koe per dag wordt berekend op basis van de hoeveelheid N, en Na die per dag per koe wordt uitgescheiden:

Urineproductie = 0,0539* (K in urine) + 0,0281*(N in urine) + 0,0797*(Nain urine) - 0,15 (R^2=0,97)
Urineproductie = 0,0580* (K in urine) + 0,0190*(N in urine) + 2,15 (R^2=0,95)

De drogestofopname in de proeven van Kume et al (2008) bedroeg gemiddeld 12 kg/dag bij een melkproductie van 29 kg/dag. De urineproductie bedroeg gemiddeld 15 kg/dag met een variatie van 3 tot 33 kg/dag. Het gemiddeld gewicht van de koeien bedroeg 613 kg.

Deze relaties zijn nader bekeken (Tabel 6) en vergeleken met de resultaten van de voederproef van 2015. De urineproductie is in de voederproef bepaald met o.a. de N–balans- en de K-balansmethode. Dit resulteerde in een gemiddelde totale urineproductie van respectievelijk 32,5 en 34,7 liter per koe per dag (Kroon & van Straalen, 2017). Op basis van de relatie van Kume wordt het volume wat onderschat, terwijl Banning een overschatting geeft. Die overschatting is vooral toe te wijzen aan de rantsoenen met extra zout. Dan treedt er ruim 10 liter overschatting op. Kijken we naar de rantsoenen zonder extra zout toevoeging dan stemt de gemiddeld berekende urineproductie aardig overeen. De proeven van Kume et al. en Bannink et al. zijn uitgevoerd met koeien met een lager gewicht dan de dieren in onze proeven. Corrigeren voor lichaamsgewicht leidde wel tot een gemiddeld hoger urinevolume maar niet tot een hogere r^2 (niet getoond). Toepassen van de relaties Nennich et al. (2006) leidde tot een forse onderschatting van de urineproductie met ruim 10 liter per koe per dag en er was geen relatie met het gemeten urine volume (resultaten niet getoond).

Tabel 6. De gemeten urineproductie in vergelijking tot de berekening via Kume et al. (2002) en Bannink et al. (1999).

Rantsoen	N-balans	Kume		Bannink	
	l/koe	l/koe	r^2	l/koe	r^2
Alles	30,4	29,0	0,58	35,6	0,48
Zonder zout	27,8	24,9	0,64	28,1	0,66
Met zout	32,5	32,7	0.69	42,3	0,66
	K-balans l/koe				
Alles	31,1	29,0	0,54	35,6	0,50
Zonder zout	27,0	24,9	0,37	28,1	0,41
Met zout	34,7	32,7	0,42	42,3	0,41

3.4.2 Urineproductie proef versus voer- en melkproductie kenmerken

Via lineaire regressie is nagegaan welke relatie er bestaat tussen de urineproductie in de voederproef van 2015 en algemene kenmerken (Tabel 7). Melkureum alleen vertoont nauwelijks een relatie met het urinevolume. In combinatie met de drogestofopname, het K- en Na-gehalte in het voer en de melkproductie verbetert het verband sterk. Met het opnemen van het metaboolgewicht, zijn melkureum en K in het voer niet langer relevant. De relatie verbetert nog verder door ook ruweiwitgehalte van het voer en de verteerbaarheid van het voereiwit mee te nemen. De aldus verkregen relatie heeft een lagere voorspelfout dan de relatie van Bannink, maar is slechts gebaseerd op 1 proef.

Tabel 7. De gemeten urineproductie in de voerproef van 2015 (6 rantsoenen, twee zoutniveaus, 4 melkkoeien per rantsoen) direct gerelateerd aan voer- en melkparameters (n=47, 1 uitbijter).

Regressie analyse proef	se	R2	Parameters
Relatie 6	3,74	0,69	Mureum+Dsopn +K_in_ds+Na_in_ds+ melkprod
Relatie 7	3,49	0,73	Dsopn +Na_in_ds+ melkprod+gewicht^{0,75}
Relatie 8	2,79	**0,86**	Dsopn+Na_in_ds +%ruweiwit+melkprod+ Verteerbaar_ruweiwit+gewicht^{0,75}

3.5 Samenvatting

Sturende factoren voor ammoniakemissie in de stal zijn onder andere het N-gehalte (ureumgehalte) van urinevolume per lozing en het aantal lozingen. In DynAm wordt op basis van het rantsoen en de verteerbaarheidskenmerken van het rantsoen uitgerekend hoeveel N via feces wordt uitgescheiden. De melkproductie en het eiwitgehalte zijn bekend waarna vervolgens de N-uitscheiding via urine kan worden berekend.

Het toepassen van literatuurformules op de gemeten N-uitscheiding in de voederproef van 2015 laat zien dat melkureum een matige indicator is voor de N-uitscheiding met urine (en ook het urinevolume). Eenvoudige relaties gebaseerd op de ruweiwitopname, drogestofopname en melkproductie voldoen vaak beter dan relaties met o.a. melkureum als verklarende variabele. Regressieanalyse op de proefgegevens liet eveneens zien dat melkureum geen significante bijdrage levert aan het verklaren van de hoeveelheid N die wordt uitgescheiden als bijv. de drogestofopname en het eiwitgehalte van het voer bekend zijn.

De urineproductie van de proefgegevens kan redelijk voorspeld worden op basis van een model dat naast melkureum de drogestofopname, het K- en Na-gehalte van het voer en de melkproductie bevat, maar betere relaties zijn mogelijk zonder melkureum. In literatuur zijn twee formules gevonden die in de voederproef gemeten urineproductie redelijk goed voorspellen.

4 Ammoniakemissie en borging

4.1 Het emissiemodel voor het standaardbedrijf

Om de potentie van rantsoenmaatregelen op ammoniakemissie in kaart te brengen, is gebruik gemaakt van een ammoniakemissiemodel (zie H7). Met dit model is het mogelijk om de ammoniakemissie te berekenen op basis van een deels mechanistische benadering waarbij de processen in detailniveau worden beschreven. Het mechanistische model is gebaseerd op de rekensystematiek zoals deze wordt beschreven door Monteny (2000), Van Laar (2011) en Sogaard (2002).

De huidige RAV-systematiek bevat emissiefactoren in relatie tot het staltype en het weide-management. Deze factoren zijn gebaseerd op een combinatie van metingen en modelberekeningen. Hierbij zijn de resultaten gestandaardiseerd voor een gemiddeld bedrijfstype, dierproductiviteit en rantsoen (Ogink et al., 2014). Uitgangspunt in navolgende berekeningen is de ammoniakemissie voor RAV-categorie 101 welke op basis van nieuwe inzichten sinds 2014 13,0 kg NH_3 per koe per jaar bedraagt bij het jaarrond opstallen (Ogink et al., 2014). Voor alle andere stalsystemen worden managementeffecten (zoals een efficiëntere voeding) lineair getransformeerd door vermenigvuldiging met de RAV-emissiefactor van 13.

De RAV emissiefactor geldt in principe voor melkkoeien en hun rantsoenen zoals die in 2009/2010 voorkwamen in Nederland uitgaande van een melkureumgetal van 23 en een melkproductie van bijna 8000 kg per koe per jaar. Uit de WUMcijfers over 2009 en 2010 (CBS, 2012 en 2011) is af te leiden dat op jaarbasis het gemiddelde rantsoen van een melkkoe ongeveer 15,7% ruweiwit bevat bij een drogestofopname van ongeveer 19 kg per dag. De totale N-uitscheiding in mest en urine bedroeg ongeveer 130 kg per koe per jaar in 2010 bij een 305 dagen productie van 26 liter melk per dag en een drogestofopname van 19,8 kg per koe per dag.

Op basis van de bovenstaande gegevens en de gegevens uit hoofdstuk 3 is DynAm ingericht op:

- 26 kg melk per koe per dag
- 3,5% eiwit in de melk en 4,5% vet
- 15,75% ruweiwit (elk voercomponent heeft daarbij een eigen factor voor de verteerbaarheid).
- 19,8 kg ds per koe per dag

Dit leidt tot:

- een daguitscheiding van 143 g N in melk, 142 g N in feces en 215 g N in urine (in totaal 130 kg N /koe/jaar in mest en urine op jaarbasis)
- 7,8 urinaties per koe per dag (afgeleid uit de voerproef)
- 3,8 liter urine per urinatie (afgeleid uit de voerproef)
- En een totaal urinevolume van ongeveer 30 liter per dag.

Verder is uitgegaan van een gemiddelde jaartemperatuur van 11 °C, een emitterend vloeroppervlak van 3,5 m^2 per koe, en de urease-activiteit van urineplassen is op 100% gesteld. Het plasvolume op de vloer bedraagt van 0,8 m2 x 48 mm. De bijdrage van de vloer aan de NH_3-emissie wordt geschat op 65%. De stalbezetting is 90%. Het ureumgehalte van urine wordt geschat op basis van de totale N-hoeveelheid in urine volgens Spek (2012): ureum-N= (urine-N -55.4)/0,932). In DynAm wordt het urinevolume geschat op basis van Bannink et al. (1999) (zie 3.4.1). Om de 30 liter te produceren op basis van de formule van Bannink is het zoutgehalte van het standaardrantsoen ingesteld op 23,3 g per kg ds en 2,0 g na per kg ds. Bij geen extra zout toevoegen (zoals in een normaal rantsoen) stemt de berekende productie via Bannink redelijk goed overeen met de gemeten productie in de voederproef.

4.2 Borging

4.2.1 Het emissiemodel voor het standaardbedrijf

Melkureum is vrij onnauwkeurig om over bedrijven heen als voorspeller voor de ammoniakemissie op te treden. Dat blijkt bijvoorbeeld al uit de meetresultaten in bijlage 2 van Ogink et al. (2014) waar de emissie van 4 bedrijven gemonitord is en er grote verschillen zijn tussen de bedrijven. Recentelijk bleek dat ook nog bij een demodag van Proeftuinnatura 2000 (21 juni 2017) waar een deelnemer aangaf “mijn melkureum daalt maar de ammoniakemissie gaat omhoog”.
Een van de ambities van dit project was het ontwikkelen van een ureumplusindcator, waarbij naast melkureum ook rekening wordt gehouden met kalium en natrium. Indien we de met DynAm berekende ammoniakemissie direct relateren aan melkureum, al dan niet inclusief de opname van zout voor de voederproef van 2015, dan heeft melkureum op dierniveau een geringe voorspellende waarde (Tabel 8, R^2=0,35). Op rantsoenniveau (4 melkkoeien per rantsoen) neemt deze toe tot R^2=0,77. Op dierniveau heeft zout (Na-opname+ K-opname) in combinatie met melkureum nog enige voorspellende waarde. Op rantsoenniveau niet. De oorzaak voor het matige verband tussen melkureum en ammoniakemissie is het feit dat melkureum een matige voorspeller is voor de N-uitscheiding met urine zoals blijkt uit Tabel 5. Juist de urine-N die wordt omgezet in.ammonium N is de drijvende kracht voor ammoniakemissie. Deze hoeveelheid N wordt ook wel de TAN (total ammonical nitrogen) genoemd. De TAN heeft op dierniveau een hoog percentage verklaarde variantie. Op rantsoenniveau is deze wat lager. Niet alleen de hoeveelheid TAN maar ook de hoeveelheid urine is van invloed op de ammoniakemissie. Deze wordt mede bepaald door het zoutgehalte in het rantsoen (zie de relaties van Bannink et al. (1999) en Kume et al. (2008) op pag 18). In DynAm is de ammoniakemissie mede afhankelijk van de N-uitscheiding met urine en het urinevolume. Het is dan ook logisch dat de berekende ammoniakemissie een goed verband vertoont met TAN (plus het gemeten urinevolume). Borging op basis van TAN heeft dan meer perspectief dan borging op basis van melkureum plus zout in het rantsoen.

Tabel 8. Het percentage verklaarde variantie voor de relatie tussen de met DynAm berekende ammoniakemissie in de voerproef van 2015 en melkureum en melkureum plus zout opname en de berekende TAN en TAN plus urinevolume.

Parameter	Alle dieren voerproef 2015	Rantsoen (n=12)
Melkureum	0,35	0,77
Melkureum+Naopname+Kopname	0,62	0,77
TANurine	0,96	0,91
TANurine+gemeten urinevolume	0,98	0,96

In het nationaal emissiemodel voor ammoniak NEMA (National Emission Model for Agriculture, Van Bruggen et al.,2017) wordt de ammoniakemissie gerelateerd aan TAN. Het is dan ook wenselijk om qua borging hier op aan te sluiten en TAN of TAN plus urine volume te kiezen als borging.

4.2.2 NEMA en RAV

Het model NEMA gaat als het ware uit van één groot landbouwbedrijf waarin alle onderdelen worden meegewogen. Uit H2.1 van het rapport over de beschrijving van NEMA (Van Bruggen et al., 2017):

“*De emissie van ammoniak uit dierlijke mest wordt in het rekenmodel NEMA berekend door emissiefactoren op basis van Totaal Ammoniakaal N (TAN) te vermenigvuldigen met de hoeveelheid*

TAN in de mest. De uitgescheiden hoeveelheid TAN wordt berekend uit de totale stikstofuitscheiding per diercategorie en het percentage TAN hierin, waarbij TAN is gedefinieerd als urine-N. De emissies worden berekend per diercategorie en gesplitst naar bron: stal, opslag buiten de stal, beweiding en mesttoediening. De berekening van de emissies uit mestopslag buiten de stal en bij mesttoediening zijn gebaseerd op de hoeveelheid TAN in de mest die overblijft na aftrek van de emissies die in een eerdere fase zijn opgetreden en de netto mineralisatie van de organisch gebonden N in de feces. Het aandeel TAN in de uitgescheiden stikstof is afhankelijk van de N-verteerbaarheid van het rantsoen (en de netto mineralisatie van de organische N in de feces)".

Voor de vergunningverlening wordt de RAV-systematiek gebruikt. Naast het aantal dieren zijn het huisvestingssysteem en eventuele NH_3-reducerende maatregelen (zoals stalvloer, mestschuif luchtwasser, beweiding etc) bepalend voor de bij een melkveebedrijf horende ammoniakemissie. De RAV-systematiek is recentelijk aangepast door Ogink et al. (2014).

NEMA en de RAV zijn gebaseerd op wetenschappelijke inzichten en komen qua methodiek met elkaar overeen. Echter, de methodiek van NEMA is later in de tijd ontwikkeld dan de RaAV methodiek. NEMA heeft meer mogelijkheden om verschillen in bedrijfsvoering mee te wegen via de TAN (zoals ook in DynAm). Daarom wordt qua borging aangesloten op NEMA en van daaruit wordt er omgerekend naar RAV-kengetallen. De borging van NEMA is verzorgd via diverse wetenschappelijke publicaties en toetsing door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (http://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Projecten/Commissie-van-Deskundigen-Meststoffenwet-CDM/Documenten/Gasvormige-emissies-NEMA.htm).

4.2.3 Borging op basis van TAN in NEMA

Zoals is aangegeven wordt in NEMA de emissie uitgedrukt als percentage van de TAN, in formules:

TAN = N-urine + f * N-feces

N-urine = (N opname via voer x VC_RE) – N-vastlegging

N-feces = (N opname via voer) – N-vastlegging – N-urine

Waarbij:

- N-vastlegging = de hoeveelheid vastgelegd is in het dier (groei) en in melk
- VC_RE = de verteringscoëfficiënt van ruw eiwit in voer
- f = 0,1: vaste factor voor de fractie van de N-feces die per jaar mineraliseert

De bovenstaande NEMA-methodiek wordt op een iets andere wijze ook toegepast in DynAm. In DynAm wordt eerst berekend hoeveel N in de feces terecht komt. Daarbij heeft elke voercomponent zijn eigen RE verteringscoëfficiënt die gebaseerd is op onderzoek van de Schothorst (beschreven in het E-dairy model). Deze systematiek is nauwkeuriger dan die in NEMA wordt toegepast. Nadat de N in feces is berekend is de N in urine de resultante van (N opname via voer) – N-vastlegging – N-feces.

In NEMA is er een basis TAN-productie die gebaseerd is op de gemiddelde melkveestapel en op een gemiddeld rantsoen. Op basis van een recent rapport van Sebek et al. (2017) bedraagt deze 84,52 kg N per koe voor het jaar 2013. Dit getal is gebaseerd op correspondentie tussen Sebek met van Bruggen (bij benadering is deze 84,52 ook af te leiden uit bijlage B2.1, B2.2, B2.3 en B2.4 van van Bruggen et al. (2015)) waarbij de TAN = 65,9*0,66+38,9*0,62+28,9*0,61 = 85,2). Voor RAV staltype A1.100 (jaarrond opstallen en klassiek ligboxenstal met roostervloer) correspondeert dit rekening houdend met een

emissiefactor van 13*14/(84,52*17) =12,7% van de NH_3-N emissie. Indien door rantsoenaanpassingen de TAN daalt, dan daalt de emissiefactor recht evenredig. Voor andere staltypen wordt de emissiefactor geschaald.

4.2.4 Borging op basis van TAN in DynAm

De bovenstaande NEMA-methodiek voor de berekening van de hoeveelheid TAN wordt op een iets andere wijze ook toegepast in DynAm. In DynAm wordt eerst berekend hoeveel N in feces terecht komt. Daarbij heeft elke voercomponent zijn eigen RE verteringscoëfficiënt die gebaseerd is op onderzoek van de Schothorst. Deze systematiek is nauwkeuriger dan die in NEMA wordt toegepast. Nadat de N in feces is berekend is de N in urine de resultante van (N opname via voer) – N-vastlegging – N-feces. In DynAm bedraagt de TAN (urine-N plus 0,1*feces-N) voor het basisrantsoen = 86,1 kg N per koe op jaarbasis (zie paragraaf 4.1). Door deze te schalen op de RAV-emissie van 13,0 kg NH_3 voor staltype A1.100 leidt dit tot een emissiefactor van 12,4% van de TAN.

In DynAm wordt bij elke rantsoenberekening de urine-N en feces-N berekend. De TAN is daarmee aan de voorkant bekend. Via de zojuist afgeleide emissiefactor van 12,4% is bekend welke emissiereductie wordt behaald volgens de geborgde NEMA systematiek.

In werkelijkheid wordt de ammoniakemissie ook bepaald door het urinevolume en bijv. het aantal m^2 per koe. In NEMA wordt daar geen rekening mee gehouden. Het niet rekening houden met urinevolume kan tot een aantal procenten onderschatting van de emissiereductie leiden. Indien zout wordt toegevoegd (groter urinevolume lagere N-concentratie) is de onderschatting nog groter, zoals geïllustreerd wordt in Tabel 12.

Tabel 12. De berekende relatieve emissie voor de 12 rantsoenen van 2015 ten opzichte van het rantsoen met het hoogste eiwitgehalte (100) op basis van een lineaire relatie met het TAN-gehalte en op basis van TAN+urine volume.

Rantsoen	RE (+/- z)	Emissiereductie TAN	Emissiereductie TAN+urine volume
1	158	100	100
2	152	98	96
3	149	105	103
4	144	92	87
5	141	83	77
6	136	79	72
7	158z	96	86
8	152z	107	96
9	149z	94	84
10	144z	90	77
11	141z	80	66
12	136z	75	60
	gemiddeld	**91**	84

Een belangrijk verschil is dat NEMA op jaarbasis werkt en DynAm op dagbasis. Vanuit dagbasis kan DynAm geëxtrapoleerd worden naar jaarbasis voor standaardisatie en vergelijkingsdoeleinden (hoe doet een bepaald rantsoen het ten opzichte van het basisrantsoen). Echter in de praktijk vinden regelmatig rantsoenaanpassingen plaats omdat de melkproductie wijzigt en of de kwaliteit van de ruwvoermiddelen

wijzigt. In feite dient dan de cumulatieve emissie van de verschillende perioden met een gewijzigd rantsoen bepaald te worden. DynAm is juist bedoeld om elk moment het rantsoen te optimaliseren om zo de ammoniakemissie te verminderen. Het is dynamisch en houdt continu de vinger aan de pols en geeft aan waar het bedrijf op dat moment staat qua ammoniakemissie. In feite is DynAm een soort borging vooraf op te behalen emissiedoelen.

Voor borging op jaarbasis kan aangesloten worden bij de systematiek zoals die recentelijk door Sebek et al (2017) is ontwikkeld. Die sluit aan op de Kringloopwijzer en op NEMA. Dit is borging achteraf.

5 Testen Prototype Dynam

5.1 Inleiding

Met het instrument DynAm wordt de E-Dairy gekoppeld met het ammoniakemissie model. In de nazomer van 2015 was een prototype beschikbaar waarbij uitvoer van E-dairy kon worden gekoppeld aan het ammoniakmodel. Dit betrof nog een handmatige koppeling. Hieraan voorafgaand was E-Dairy nog gefinetuned en is een nieuwe functionaliteit toegevoegd om op basis van afbraakkenmerken van de voerdercomponenten en de melkproductie de N-excretie te kunnen toewijzen aan melk, urine en feces. De N-uitscheiding via urine werd daarbij onderverdeeld in ureum-N en niet ureum N.

5.2 Uitvoering op geselecteerde bedrijven

Voor het testen van DynAm zijn ruim 10 praktijkbedrijven benaderd. In totaal hebben 8 bedrijven deelgenomen. Van deze bedrijven zijn in het najaar van 2015 allerlei bedrijfsgegevens opgevraagd om een maatwerk rantsoen te kunnen opstellen. Om dit te kunnen doen zijn niet alleen voeranalyse gegevens nodig van de op het bedrijf aanwezige ruwvoeders maar dient ook tot in detail bekend te zijn uit welke grondstoffen de te voeren krachtvoerders zijn opgebouwd. Daarvoor was medewerking nodig van de mengvoerleverancier. Het koste enige tijd om de gegevens te verkrijgen waardoor pas in het voorjaar van 2016 daadwerkelijk begonnen kon worden met het testen van het prototype.
Voor het testen van DynAm zijn in maart en april 2016 alle bedrijven bezocht. Van tevoren was informatie opgevraagd bij de bedrijven zodat het actuele rantsoen bekend was. Aan de keukentafel is eerst geverifieerd of het actuele rantsoen en de dierprestaties gegevens klopten. Aansluitend is interactief in overleg met de ondernemer en soms in aanwezigheid van zijn eigen voeradviseur verkend welke opties er zijn om de (eiwit) voeding te optimaliseren. Dit leidde uiteindelijk tot een definitieve keuze voor een aangepast rantsoen dat gedragen werd door de ondernemer en voeradviseur. Dit rantsoen is enige tijd gevoerd, soms ook maar heel kort doordat bijvoorbeeld een voederkuil niet langer beschikbaar was en overgeschakeld moest worden op ruwvoer met een andere kwaliteit.
In juli 2016 zijn de bedrijfsbezoeken herhaald om opnieuw een fine-tuning door te voeren. Het is echter niet gelukt alle bedrijven te bezoeken. In veel gevallen werd als ruwvoer ook weidegras gevoerd.
De ammoniakemissie is na de bedrijfsbezoeken berekend. Op 22 december 2016 zijn de resultaten besproken met de deelnemers.

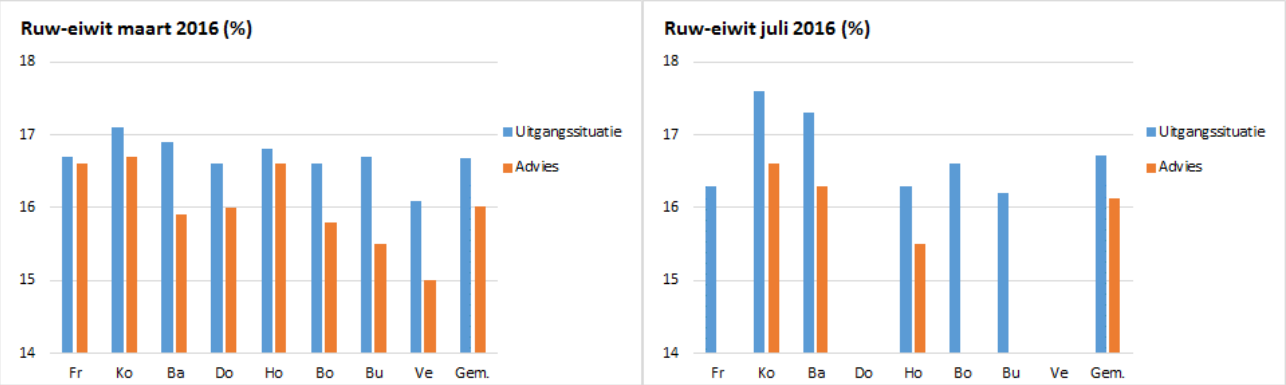
5.3 Resultaten

In het navolgende overzicht zijn de belangrijkste gegevens van de acht bedrijven weergegeven. Een samenvattende tabel is in Bijlage 1 weergegeven en enkele kenmerken van de bedrijven zijn in Bijlage 2 weergeven.

5.3.1 Melkproductie, voeding en ruweiwit

De melkproductie op de bedrijven varieerde van 23 tot 34 liter per koe per dag. De eiwitpercentages varieerden tussen 3,4 en 3,75%. De vetpercentages varieerden tussen de 4,3 en 4,9%. De rantsoenen kenden een sterk verschillende samenstelling qua ruwvoer, van overwegend gras tot een derde mais in het rantsoen. Het ruweiwitgehalte van het rantsoen bedroeg gemiddeld 16,7%, zowel bij de rantsoenen in maart als in juli en besloeg een range tussen de 15,0 en 17,5%. In de praktijk zijn dit veelvoorkomende waarden, vooral op bedrijven waar het grootste aandeel van het ruwvoer uit gras bestaat komt het RE gehalte gemakkelijk boven de 16%. Door gerichte advisering op het verlagen van

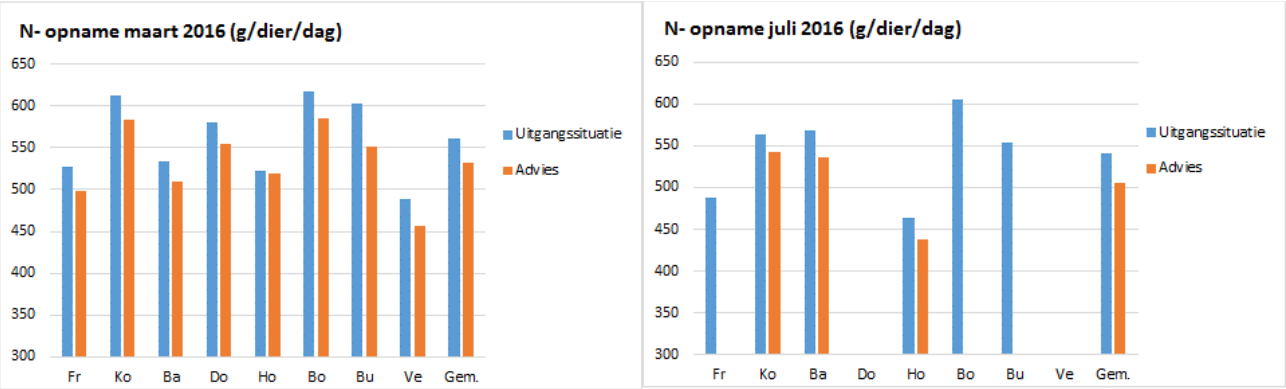
het RE-gehalte in het rantsoen, binnen de randvoorwaarden van de veehouders, daalde het gemiddelde RE-gehalte tot 16,0%. Op sommige bedrijven kon het RE-gehalte met meer dan 1% worden verlaagd. Er is daarbij steeds uitgegaan van hetzelfde melkproductieniveau als waarop het rantsoen in de uitgangsituatie berekend was. In principe/theorie is het RE-gehalte nog wel verder te verlagen richting 14% van het totale rantsoen. Maar dat stelt hoge eisen aan de kwaliteit van de ruwvoeders en bijvoorbeeld de aanwezigheid van voldoende snijmais. Hoogproductieve dieren hebben veelal meer dan 14% RE nodig. Aan het eind van de lactatie kan dit minder zijn evenals in de droogstand. Dat blijkt ook wel uit de WUM-cijfers van Zuid-Oost Nederland waar op jaarbasis het rantsoen gemiddeld 14 % ruweiwit bevat. Dit is echter lastig te realiseren op bedrijven met overwegend gras in het rantsoen zoals in West- en Noord-Nederland. Daarnaast is mede de energiewaarde van het voer bepalend voor de benutting van N.



Figuur 5. Het gemiddelde ruw eiwitgehalte in het rantsoen in maart en juli 2016.

5.3.2 N-opname

De N-opname met ruw- en krachtvoer varieerde tussen de 490 en 620 g N per koe per dag. Bepalend hiervoor is onder andere de voersamenstelling en de energiebehoefte (melkproductie) van de koe. Het toepassen van het geadviseerde rantsoen gaf gemiddeld een daling van de N-opname met ruim 30 g per koe per dag.

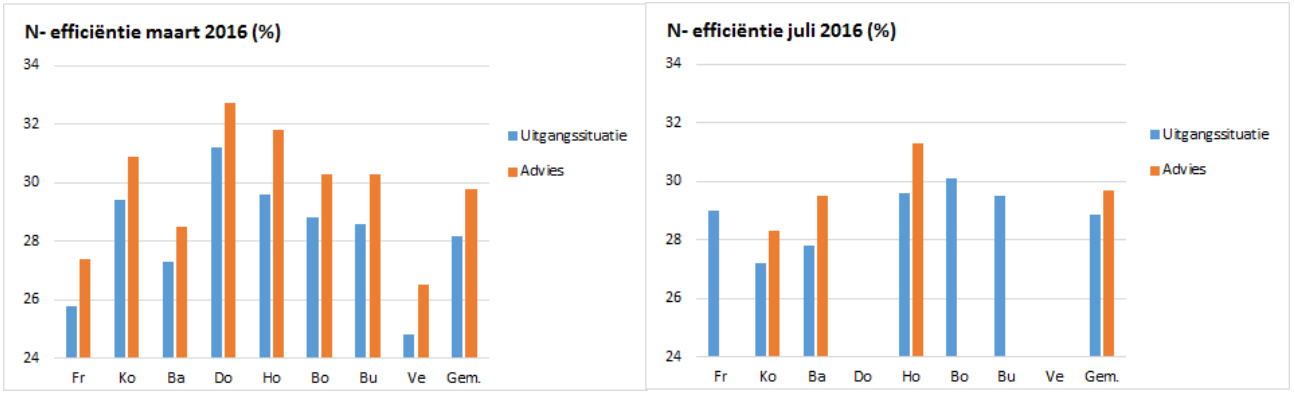


Figuur 6. De N-opname per koe per dag uit rantsoenberekening in maart en juli 2016.

5.3.3 N-efficiëntie

Uit de rantsoenberekeningen en de beoogde melkproductie is de N-efficiëntie berekend. De N-efficiëntie varieerde tussen de 24% en 31%. Een waarde van 24% is aan de lage kant. De relatief grote verschillen kunnen te maken hebben met het niveau van melkproductie, de kwaliteit van het voer en de mate waarin op de norm wordt gevoerd. De voorgestelde rantsoenaanpassingen leiden veelal tot waarden van 30%

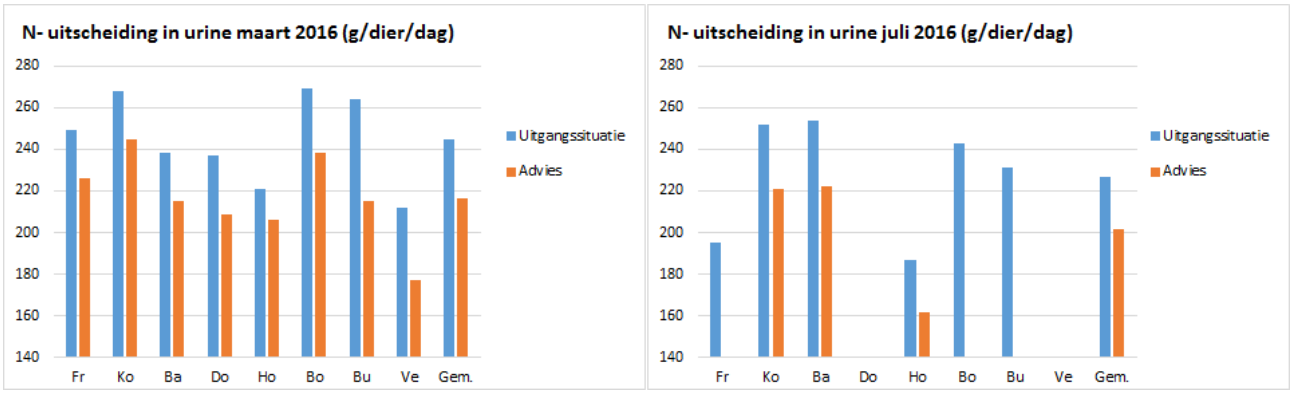
en hoger. Het streven zou moeten zijn om minimaal 30% N-efficiëntie te realiseren.



Figuur 7. De berekende N-efficiëntie in maart en juli in maart en juli 2016.

5.3.4 N--uitscheiding met urine

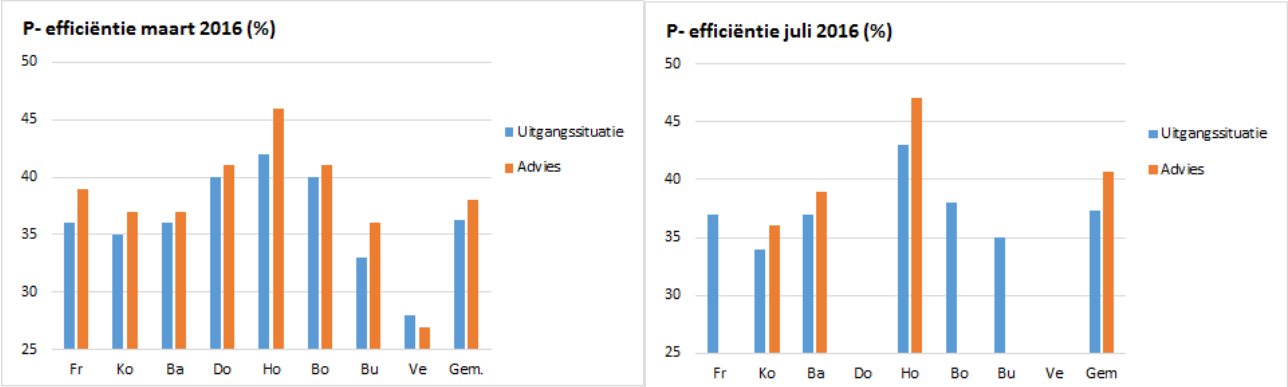
Scherper op eiwit voeren of het verhogen van de N-benutting (voor zover dat mogelijk is bij behoud van dezelfde melkproductie) leidt vooral tot een sterke daling van de N-uitscheiding van urine. De stikstof in urine is de bron van ammoniakemissie. Bij de voorgestelde voeraanpassingen leidt een daling van 4% ruw eiwit (van 16,7% naar 16,0%) tot een gemiddelde daling van de N-uitscheiding via urine van 28 g N per koe per dag in maart en 26 g N per koe per dag in juli. De gemiddeld lagere N-opname in de rantsoenadvisering leidde tot een gemiddelde daling van de N-uitscheiding via urine met 28 g N per koe per dag in maart en 26 g N per koe per dag in juli. Dit komt overeen met een daling van bijna 13% van de N-uitscheiding ten opzichte van de uitgangssituatie en daarmee ook tot een daling in de ammoniakemissie in dezelfde orde van grootte (zie verderop).



Figuur 8. De berekende N-uitscheiding met urine in maart en juli 2016.

5.3.5 P-efficiëntie

Zuinig zijn met eiwit betekent meestal ook dat er scherper op fosfor (**P**) gevoerd wordt. Gemiddeld ligt de P-efficiëntie op 36% in maart en 40% in juli. De verschillen tussen bedrijven zijn relatief groot. Op basis van de voorgestelde voeraanpassingen stijgt de P-efficiëntie (5% maart en 9% juli) zelfs sterker dan de N-efficiëntie.



Figuur 9. De berekende P-efficiëntie in maart en juli 2016.

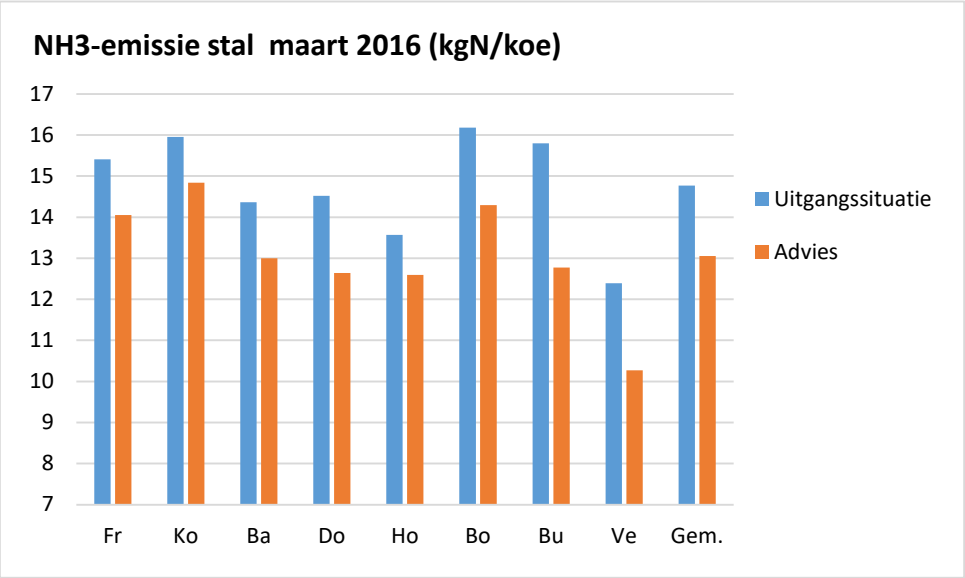
5.4 Ammoniakemissie

5.4.1 Algemeen

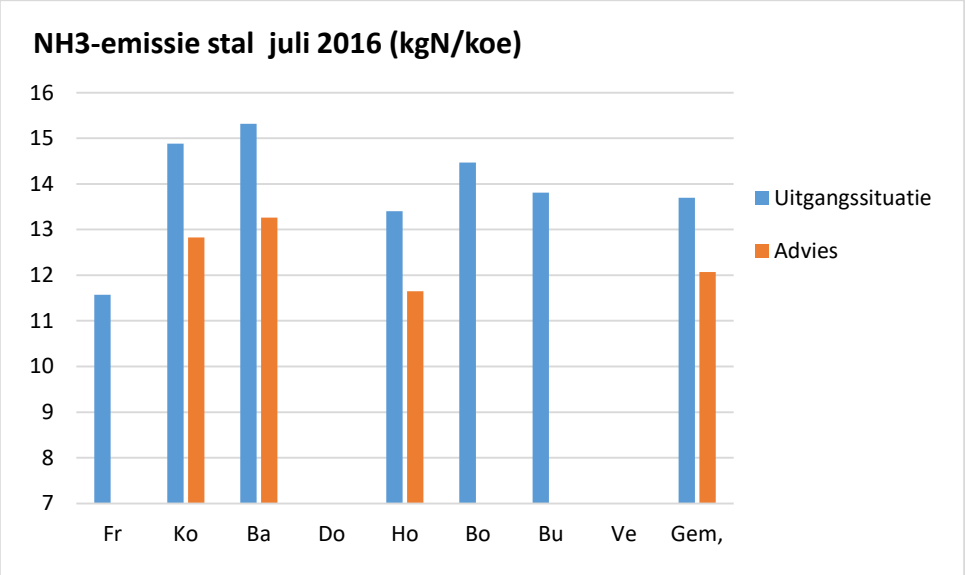
Na de bedrijfsbezoeken is de ammoniakemissie berekend. Het model berekent een emissie op dagbasis. Deze emissie is geëxtrapoleerd naar 365 dagen voor de vergelijkbaarheid met “officiële emissiefactoren”” zoals die in de RAV-tabellen staan. Er is daarbij uitgegaan van staltype “overige huisvestingssystemen” (RAV-categorie A1.100 overige huisvestingssystemen). De toelichting op het gebruikte model en de model parameterisatie is in H7 weergegeven. Rantsoenen worden regelmatig aangepast. Door na elke rantsoenaanpassing de ammoniakemissie opnieuw te berekenen en dit een jaar lang te volgen wordt de beste schatting van de jaarlijkse ammoniakemissie verkregen. Daarbij dient dan ook rekening te worden gehouden met de periode van droogstand, waarbij melkkoeien een vaak wat eiwitarmer rantsoen krijgen. Desalniettemin brengt de gevolgde aanpak goed in beeld welke reductie op dagbasis (en op jaarbasis) gerealiseerd kan worden door de toegepaste rantsoenwijziging.

5.4.2 Resultaat

Gemiddeld bedroeg de emissie op jaarbasis bijna 14,8 kg NH_3 per koe per jaar. Over de acht bedrijven varieerde die tussen 16,2 en 10,3 kg NH_3 per koe per jaar. De berekende ammoniakemissie in maart is gemiddeld met 11,6 % omlaaggegaan. Dit is bijna gelijk aan de daling van de N-uitscheiding met urine (12%). Door de daling van de N-uitscheiding (figuur 4) neemt de emissie af. Dit komt omdat de urineproductie daalt. Bij een veronderstelde constantie lozing van 3,8 liter per keer daalt daarmee het aantal urinaties en het aantal urineplekken op de stalvloer. Ook de berekende urineconcentratie daalt iets. Dit zorgt vooral voor een daling van de vloeremissie (gemiddeld ruim 13%) en voor een beperkte daling van de putemissie (gemiddeld ruim 6%). Er zijn grote verschillen tussen individuele bedrijven in de berekende emissievermindering. Zo bedraagt de emissiereductie bijna 20% op bedrijf Bu (o.a. door een daling van eiwitgehalte rantsoen van 16,7 naar 15,5%) en maar 3,5% op bedrijf Ho (o.a. door een geringe daling eiwitgehalte rantsoen van 16,8 naar 16,6%).
In juli is slechts op 3 bedrijven een nieuw rantsoen opgesteld tijdens een bedrijfsbezoek. Op deze drie bedrijven is de berekende ammoniak met bijna 12% gedaald. Dit is bijna gelijk aan de daling van de N-uitscheiding met urine (12%) (met de weide-emissie is geen rekening gehouden).



Figuur 10. De berekende ammoniakemissie in maart 2016.



Figuur 11. De berekende ammoniakemissie in juli 2017.

5.5 Evaluatieresultaten

Op 22 december 2016 zijn de resultaten besproken met de deelnemers en voeradviseur(s). Uit de evaluatie kwam naar voren dat de adviezen maar heel kort zijn toegepast op de meeste bedrijven. Reden was dat men kort voor het weideseizoen stond en dat men moest wisselen van voederkuil wat niet graag wordt gedaan onder veehouders i.v.m. voederwaarde verliezen. Kwantitatief meten/volgen van de melkproductie had dan ook geen zin. Wel gaven de ondernemers aan dat zijn niet hebben gemerkt dat de melkproductie is gedaald. Eén ondernemer heeft het voeradvies meerdere maanden toegepast en was daar tevreden over. Verder kwam uit de gesprekken naar voren dat deze veehouders zeer bewust bezig zijn met de veevoeding en dat zij de meerwaarde van scherp voeren onderkennen vanuit zowel bedrijfseconomisch als milieukundig oogpunt (het komt tot uiting in een beter resultaat met de Kringloopwijzer). Dat de ammoniakemissie daalt, vinden zij een prettige bijkomstigheid, maar is voor hun nu geen hoofddoel. Dat de aanpak gericht op scherp voeren en aangepast management voor

minder ammoniakemissie ook leidt tot een lagere P-excretie vinden ze zeer interessant. Uit de evaluatie kwam verder naar voren dat rantsoenen snel kunnen wisselen. Dit betekent dat de nieuwe adviezen en de ammoniakberekeningen beschikbaar moeten zijn in normale bedrijfsondersteunende software waarmee de voeradviseur overweg kan. Het toepassen van DynAm en het verkennen van de best passende opties in het keukentafelgesprek nam al gauw anderhalf uur in beslag per bedrijf. Dat is veel te lang bij routinematige toepassing en kan alleen in het stadium van het uittesten van een prototype. De grootste uitdaging zien ze in het optimaal inbedden van weidegang in hun bedrijfsvoering voor een goed economisch resultaat en milieuresultaat.

5.6 Samenvatting en conclusies

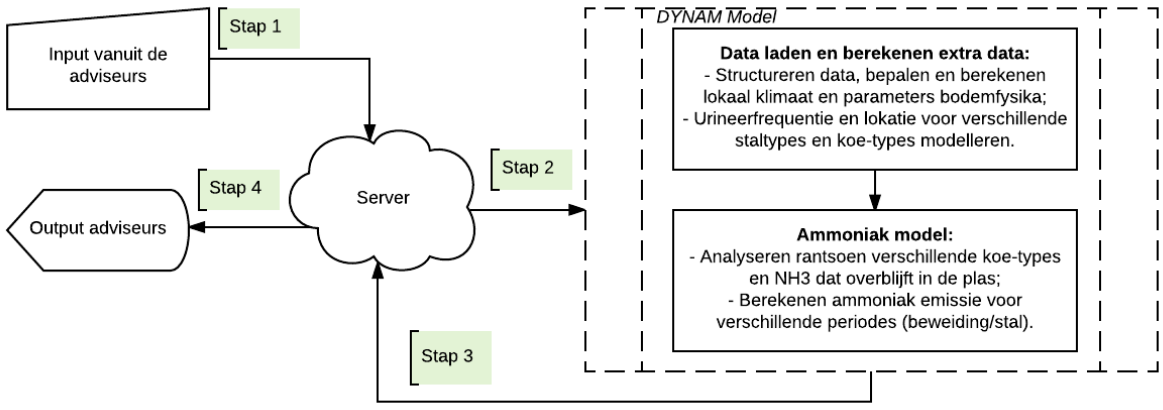
Uit de uitgangsituatie blijkt dat de grasrijke rantsoenen automatisch tot een relatief hoger RE-gehalte in het rantsoen leiden. De spreiding tussen de bedrijven is beperkt (van 17,5 tot 16% RE in het rantsoen). De aanpassingen in het rantsoen die in samenspraak met de ondernemers zijn gedaan zorgen over het algemeen voor een lager RE-gehalte in het rantsoen en een betere N-efficiëntie. Voor het opstellen van een advies zijn de individuele bedrijfsomstandigheden qua voedervoorziening en kosten sterk sturend. De mate waarin scherp voeren op eiwit mogelijk is, is voornamelijk afhankelijk van de al bestaande voorraad aan ruwvoeders. Er zijn geen signalen afgegeven door de ondernemers dat de melkproductie daalde.
Scherp voeren zonder dat dit melkproductie kost vertaalt zich direct terug in een hogere N-efficiëntie en P-efficiëntie en een lagere ammoniakemissie. Een daling van het ruweiwitgehalte van 4% (bijvoorbeeld van 16,6 naar 16,0) geeft ruim 10% emissiereductie.

6 Testen op een groot aantal praktijkbedrijven

6.1 Toepassing

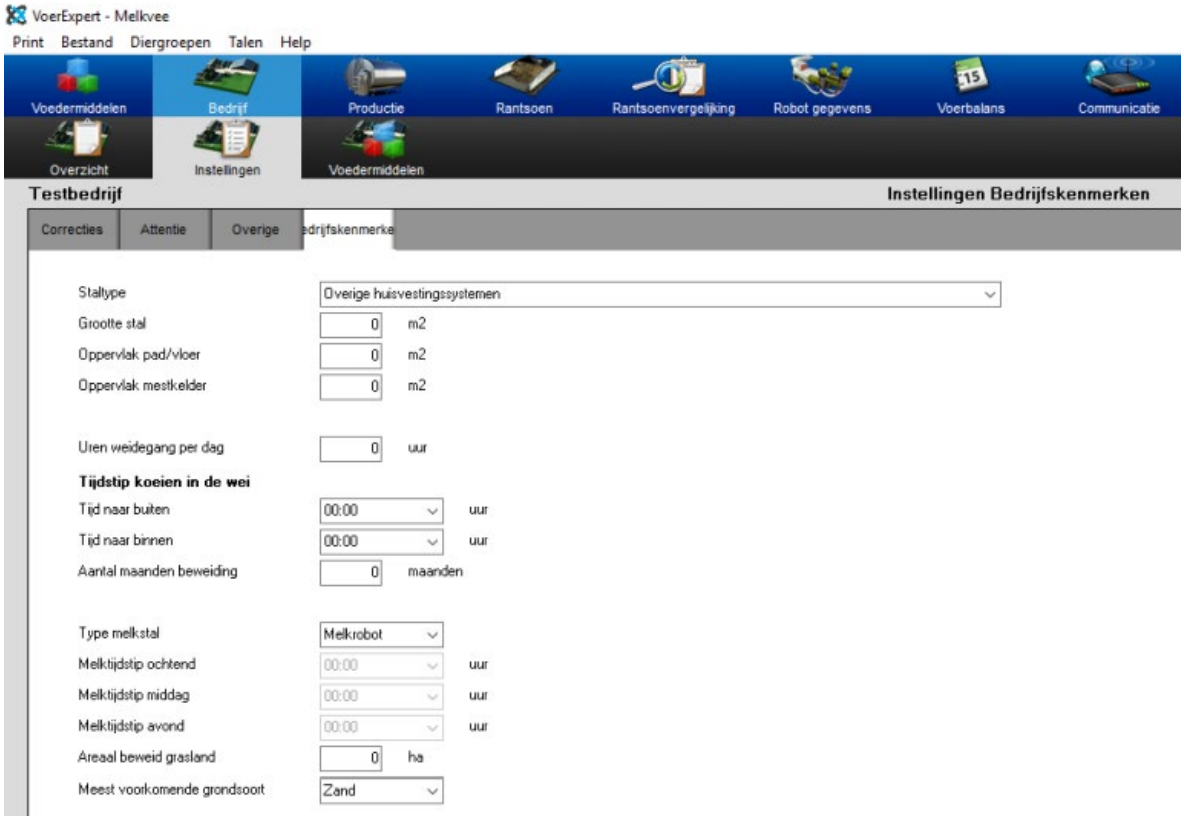
Het voeradviesprogramma E-dairy van de Schothorst is door Rovecom in licht afgeslankte vorm ingebouwd in VoerExpert, een rantsoenberekeningsprogramma van Rovecom. Zij vermarkten VoerExpert onder de kleine en middelgrootte mengvoerleveranciers die het inzetten bij hun melkveehouders. In samenwerking met Rovecom is een prototype adviesprogramma gebouwd dat de ammoniakmodule uit DynAm bevat. Daarbij is een werkwijze gekozen waarbij VoerExpert en DynAm los van elkaar staan en via een communicatieprotocol met elkaar communiceren (zie figuur 12). Zo kan snel ingespeeld worden op eventuele fouten en of updates.
De input voor het DynAm model wordt vanuit het VoerExpert van Rovecom naar een server gestuurd, waar de DynAm berekeningen plaatsvinden. De communicatie tussen beide programma's van de input en output verlopen via het JSON-formaat. Gebruikers van het model krijgen de input terug onder een nieuwe tab in VoerExpert. Een logbestand wordt bijgehouden met alle gemaakte aanvragen, zodat een foutieve respons of input gecontroleerd kan worden. Aan de bestaande input die gebruikers van het VoerExpert invoeren, zijn een aantal extra vragen toegevoegd om de ammoniakemissie te kunnen berekenen. Dit zijn de volgende variabelen: (1) staltype; (2) oppervlakte stal; (3) oppervlakte vloer; (4) oppervlakte kelders en (7) melksysteem. De weerparameters worden berekend aan de hand van de locatie van het bedrijf. Het model bestaat uit twee componenten: het inlezen en converteren van de (rantsoen) data en het daadwerkelijke ammoniakmodel (Figuur 1). De input van de voeradviseurs (Stap 1) wordt naar de server gezonden alwaar de berekeningen in DynAm plaatsvinden. Het resultaat (stap 3) gaat via de server terug naar VoerExpert (stap 4).

In de winter van 2016/17 kwam het prototype beschikbaar voor testen op praktijkbedrijven.



Figuur 12: Schematische weergave koppeling VoerExpert met DynAm model

Figuur 13 laat het scherm zien waarop de adviseur de bedrijfskenmerken kan invoeren; bij incomplete invoer zal de output niet alle variabelen bevatten en worden standaard waardes doorgerekend.



Figuur 13. Invoerblad in de Rovecom programmatuur ten behoeve van ammoniak

6.2 Praktijktoetsing

Het prototype adviesprogramma is door een zevental adviseurs van ABZ-diervoeding en De Samenwerking toegepast bij een aantal klanten van eind maart tot half juni 2017. Doel was om na te gaan in hoeverre de ammoniakmodule nu leidt tot scherper voeren. Daarbij was minstens zo belangrijk om na te gaan in welke mate de ammoniakmodule de interesse heeft van de veehouder, of de adviezen geaccepteerd worden door de veehouder en of het programma voldoende gebruiksvriendelijk was. Daarvoor is een evaluatieprotocol ontwikkeld.

Per bedrijfsbezoek zijn vaak meerdere adviezen opgevraagd. Voor de bedrijven waar in deze periode een adviesberekening is uitgevoerd (in totaal 27 bedrijven na opschonen van onduidelijk ingevoerde bedrijven en of verwijderen van testbedrijven) is nagegaan of er in de periode januari tot half maart ook een adviesberekening is uitgevoerd. Dit bleek voor 17 bedrijven het geval te zijn. De voeradviezen van deze periode zijn opnieuw doorgerekend nu ook met de ammoniakmodule. De op deze manier berekende ammoniakemissie werd beschouwd als een nulmeting. Deze 17 bedrijven hebben in de periode half maart tot eind juni veelal maar één bedrijfsbezoek gehad waarin een nieuw rantsoenadvies is berekend. Verwacht werd daarentegen dat maandelijks een aanpassing zou volgen Het gevolg is dat de ”0 meting” slechts met één meting vergeleken kon worden. De 0 meting en de nieuwe rantsoenberekening liggen soms 3 maanden uit elkaar. Het resultaat van de vergelijking van 17 metingen voor en na half maart was dat er gemiddeld geen verschil in ammoniakemissie is. Het

eiwitgehalte was gemiddeld ook niet verschillend. Wel zijn er duidelijke verschillen tussen de bedrijven. Zo varieerde het ruweiwitgehalte van het rantsoen tussen 14,77 en 17,70 %. De berekende ammoniakemissie varieerde tussen 9,62 en 17,70 kg per koe per jaar.

In een aantal gevallen zijn meerdere rantsoenen doorgerekend tijdens het bedrijfsbezoek. Met de softwareontwikkeling van dit moment is niet duidelijk welk rantsoen uiteindelijk is toegepast. Voor die situaties met meerdere adviezen is daarom het gemiddelde van de bijbehorende berekende ammoniakemissie genomen.

Tabel 13. Het gemiddelde eiwitgehalte van 17 rantsoenen voor en na half maart en de berekende N uitscheiding in urine en de corresponderende ammoniakemissie op jaarbasis vanuit de stal (jaarrond opstallen verondersteld)

Periode	Melkproductie kg/dag	Melkeiwit %	Ruweiwit voer %	N in urine g/koe per dag	NH_3-emissie stal kg/jaar
Voor half maart	27,38	3,60	16.38	221	13,50
Eind maart tot eind juni	27,23	3,60	16,43	222	13,50

In totaal zijn tijdens bedrijfsbezoeken door voorlichters van ABZ en de Samenwerking voor 27 bedrijven rantsoenberekeningen uitgevoerd. Gemiddeld over alle doorgerekende rantsoenen van deze 27 bedrijven werd een ammoniakemissie van 13,2 kg per jaar berekend.

Geconstateerd wordt dat het scherp op eiwit voeren vanuit oogpunt van vermindering van de ammoniakemissie kennelijk nog onvoldoende leeft en dat de mogelijkheden voor rantsoen aanpassing beperkt zijn gezien de aanwezige voedermiddelen op een bedrijf. Met dit gegeven is geen aandacht besteed aan het analyseren van de melkproductie en melkureumcijfers, omdat er gemiddeld gezien weinig is veranderd.

6.3 Gebruikservaring van de voorlichters van ABZ en de Samenwerking

In totaal zijn een tiental vragen gesteld aan de voorlichters die het programma hebben toegepast. Van de voorlichters van ABZ en de Samenwerking is er een terugkoppeling geweest van 10 bedrijfsbezoeken. De bevindingen zijn kort weergegeven in tabel 14. Het blijkt dat het verminderen van ammoniakemissie niet erg leeft in de praktijk. Bij vier van de bedrijfsbezoeken is er tijdens het gesprek met de melkveehouder bewust rekening gehouden met de ammoniakmodule. Eén melkveehouder is geïnteresseerd in de ammoniakemissie van zijn bedrijf. Deze ondernemer zou graag een vergelijking met andere bedrijven willen maken in de module. Er is nog een andere ondernemer die dat aangeeft. Die vraagt zich ook af hoe het zich verhoudt tot de KringloopWijzer. Er zijn zes ondernemers bewust bezig met een betere efficiëntie van hun mineralenmanagement, maar niet specifiek met de ammoniakemissie. Beweegredenen om actief met emissies bezig te zijn is, om meer productieruimte te verwerven door efficiënter en emissie armer te voeren of om efficiënter met mineralen omgaan omdat dat de melkproductie kan verhogen. Deze melkveehouders geven daarmee aan dat er dus een wederzijds voordeel moet zijn voordat zij meer inspanningen verrichten m.b.t. het verlagen van de ammoniakemissie.
Zeven van de tien veehouders geven aan dat de prijs voor krachtvoerders niet beperkend is voor de advisering. Bij vier bedrijfsbezoeken heeft de advisering meer tijd dan gemiddeld in beslag genomen en bij drie daarvan is er rekening gehouden met de ammoniakmodule (o.a. door internetproblemen en veel rantsoenen doorrekenen). Op twee van de tien bedrijven is een scherper rantsoen geadviseerd. De rekensnelheid van de ammoniakmodule is op elk bedrijf toereikend geweest.

Tabel 14. Beknopte weergave evaluatie toepassing module in de praktijk.

Vraag		Antwoorden
1	Rekening gehouden met Ammoniakmodule?	60% wel, 40% niet
2	Interesse hogere N-benutting?	5 een geringe interesse, 1 gemiddeld, 4 grote interesse
3	Interesse hogere P-benutting?	4 een geringe interesse, 3 gemiddeld, 3 grote interesse
4	Interesse lagere ammoniakemissie?	6 een geringe interesse, 3 gemiddeld, 1 grote interesse
5	Gesprek met de boer?	Men gaf aan dat het niet anders verliep dan normaal op een uitzondering na
6	Tijdsbeslag bedrijfsbezoek?	4 van de 10 gaven aan dat het meer tijd koste
7	Aantal adviezen	Bij 2 van de 10 bedrijven zijn er meer adviezen opgesteld dan voorheen
8	Prijs krachtvoeders relevant	Volgens 3 van de 10 is de prijs van krachtvoer van belang bij het opstellen van een advies.
9	Scherper geadviseerd	Volgens 2 van de 10 is er scherper geadviseerd dan voorheen
10	Rekensnelheid ammoniakmodule	10 keer voldoende buiten de internetproblemen om

Kanttekening en conclusies

De interesse voor de ammoniakmodule lijkt op dit moment beperkt. Dat kan een aantal oorzaken hebben. Het afgelopen jaar (en ook nu nog) speelde de discussie over de krimp van de veestapel om weer onder het fosfaatplafond te komen. In de gedachtegang van de boeren is ammoniak nu niet echt een issue. Kennelijk is ook nog enige uitleg nodig om aan te geven dat met scherp sturen op een betere N-benutting ook wordt toegewerkt naar een verlaging van de N-uitscheiding met urine en daarmee tot een lagere ammoniakemissie.
Men geeft aan dat een win-win belangrijk is. Minder ammoniak zou bijv. tot meer ontwikkelingsruimte moeten leiden.
De kengetallen m.b.t. tot ammoniak zijn kennelijk nog geen gemeengoed. Men wil de eigen cijfers kunnen vergelijken met die van collega's of met de KringloopWijzer.

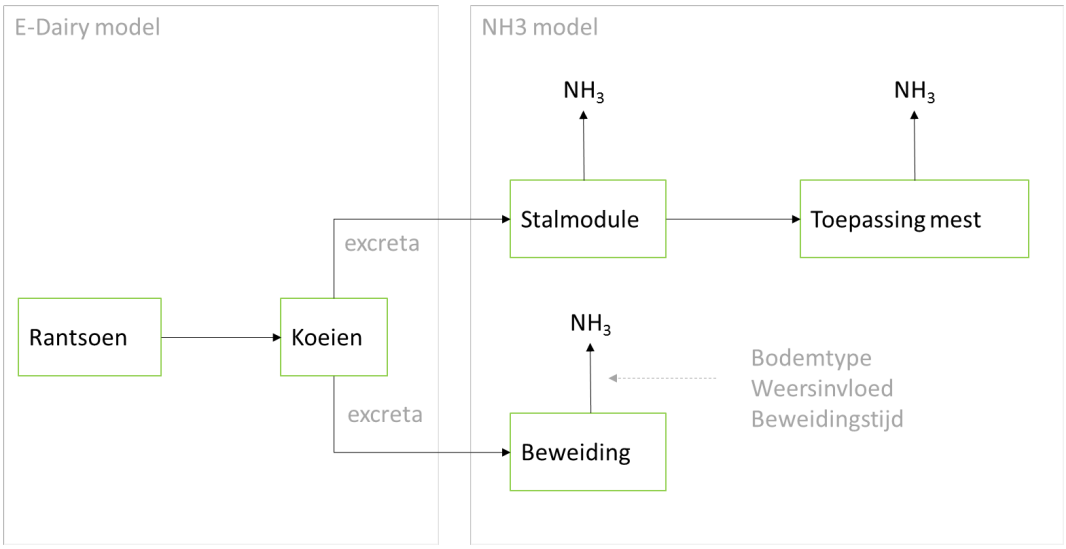
6.4 Aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling

Technisch:
Van belang is dat bij het opstellen van een voeradvies tijdens een bedrijfsbezoek de ammoniakmodule weinig tijd vergt van de voorlichter. Ook de berekening van de ammoniakemissie dient weinig tijd te kosten, liefst minder dan 5 seconden. Veelal worden meerdere rantsoenen doorgerekend tijdens een bedrijfsbezoek. Gewenst is dat vastgelegd kan worden welk rantsoen de ondernemer uiteindelijk besluit toe te passen.
Inhoudelijk:
Gewenst is om de ammoniakemissiecijfers te kunnen vergelijken met die van collega bedrijven (of die van een standaardbedrijf).

7 Het ammoniakmodel

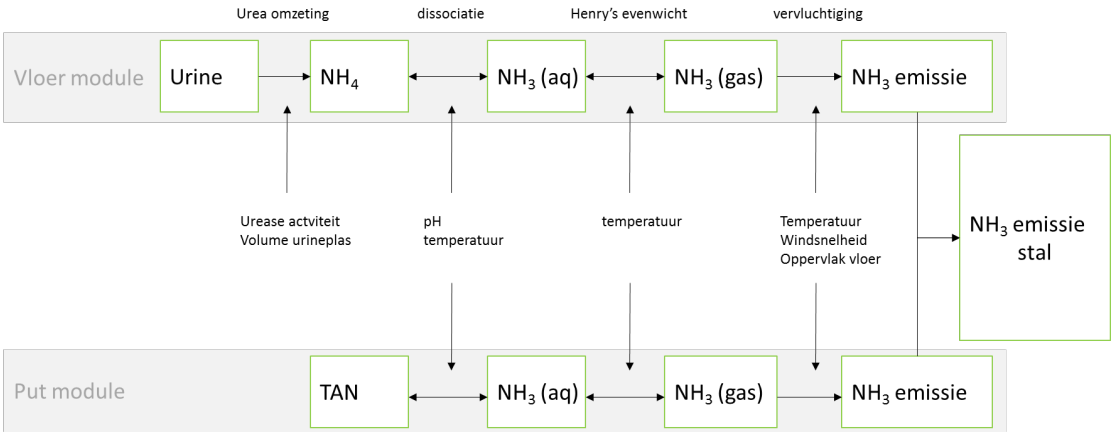
7.1 Introductie

Om de potentie van rantsoenmaatregelen op ammoniakemissie in kaart te brengen, is gebruik gemaakt van een ammoniakemissiemodel. Met dit model is het mogelijk om de ammoniakemissie te berekenen op bedrijfsniveau, rekening houdend met staltype, beweidingsstrategie, en lokale factoren als bodem en weer (Figuur 14). Het mechanistische model is gebaseerd op de rekensystematiek beschreven door Monteny (2000), Pinder et al. (2004), Van Laar (2011) en Sogaard (2002).



Figuur 14. Schematische weergave van de onderliggende structuur van het gebruikte model in deze verkenning.

De emissie op stalniveau hangt samen met het staltype, de urineerfrequentie, urinesamenstelling, de staltemperatuur en windsnelheid (zie Figuur 15).



Figuur 15. Schematische weergave van de processen en factoren die de NH_3-emissie in de stal beïnvloeden.

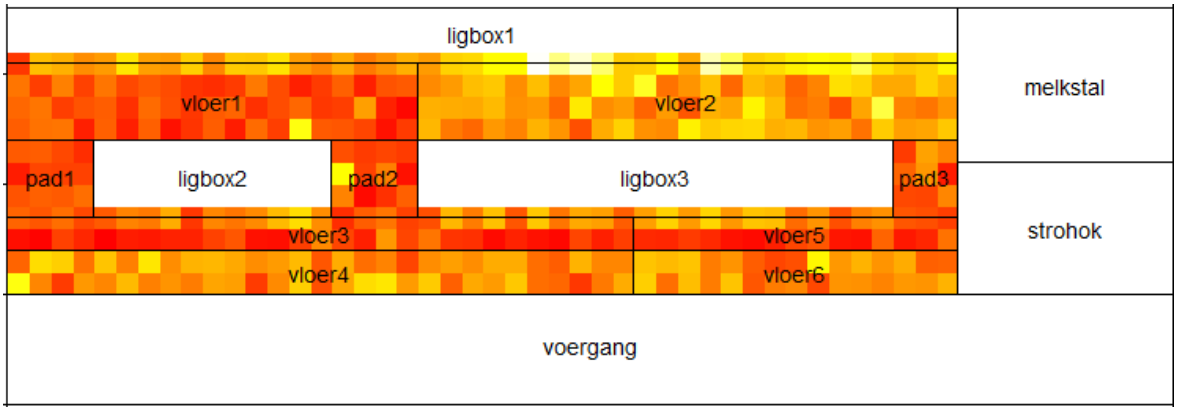
Voor stallen zijn de emissiefactoren voor ammoniak gebaseerd op de RAV-systematiek met emissiefactoren in relatie tot het staltype en het weidemanagement. Deze factoren zijn gebaseerd op een combinatie van metingen en modelberekeningen. Hierbij zijn de resultaten gestandaardiseerd voor een gemiddeld bedrijfstype, dierproductiviteit en rantsoen. Op basis van de onderliggende rekensystematiek m.b.t. RAV zijn aanpassingen doorgevoerd. Deze aanpassingen hebben te maken met:

- Emissiefactoren in relatie tot het TAN-gehalte (totale ammoniakale N) van de mest;
- De totale mestproductie (urine en feces) die samenhangt met melkproductie en rantsoen;
- De verdeling van stikstof over urine en feces, en;
- Het stikstof- en ureumgehalte van urine.

en zijn gebaseerd op de uitgevoerde proeven (Kroon en van Straalen, 2017) en literatuurgegevens

Er is gebruik gemaakt van de rekensystematiek zoals deze wordt beschreven in Ogink et al. (2014) en Velthof et al. (2009). Er wordt rekening gehouden met het feit dat urine niet homogeen verdeeld wordt in de stal. De stallen zijn in een standaard stal-indeling verdeeld, waaraan een kansenkaart gekoppeld is (Kool, 2012) voor de verdeling van urine. Deze kan dus elke dag anders zijn (Emissieberekeningen vinden op dag basis plaats). Modelberekeningen laten zien dat de emissie uit de stal stabiel wordt zodra de emissie voor 10 dagen of langer wordt doorgerekend. De indeling met voorbeeld kansenkaart is te zien in Figuur 16. De details van het model zijn uitgebreid beschreven in een separate bijlage (Bijlage 2).

De emissie die optreedt bij toediening van dierlijke mest kan worden beschreven met emissiefactoren zoals afgeleid door Huijsmans en Vermeulen (2009).



Figuur 16: Standaardstal met voorbeeld verdeling urinaties over de verschillende oppervlaktes.

De emissie die optreedt bij toediening van dierlijke mest in het veld kan worden beschreven met emissiefactoren zoals afgeleid door Huijsmans en Vermeulen (2009).

7.2 Factoren van invloed op de emissie

7.2.1 Algemeen

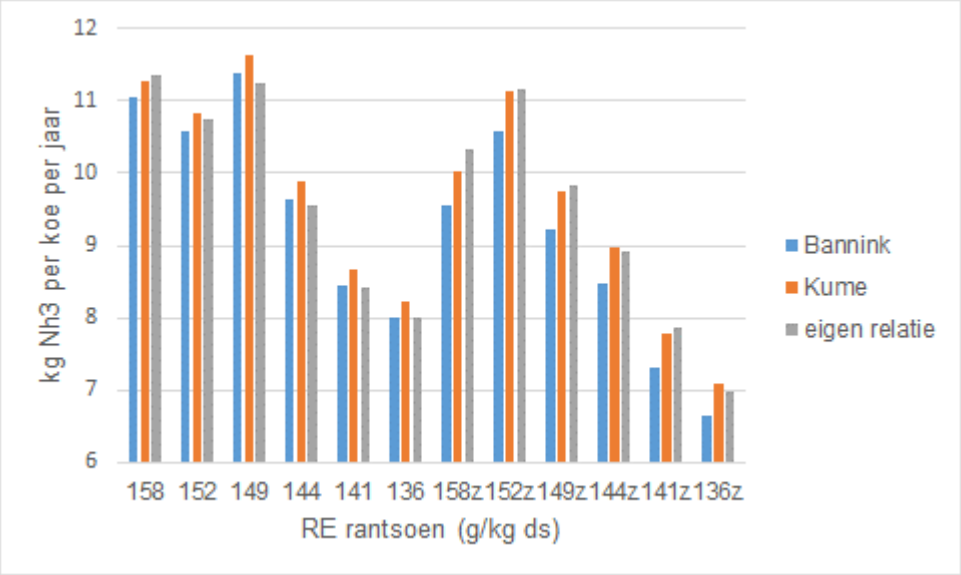
Er is een standaardbedrijf ontwikkeld die overeenkomt met de situatie op het gemiddelde melkveebedrijf rond 2010. Daarbij wordt uitgegaan van een melkproductie van ongeveer 8000 kg per koe per jaar met 3,5% eiwit. Er wordt uitgegaan van een drogestofopname van 19,8 kg per dag met gemiddeld 15,8% ruweiwit. Dit resulteert op basis van berekeningen in E-dairy in 142 g feces-N is en 215 gram urine-N per dag. Het aandeel ureum in de urine bedraagt dan ongeveer 80% (Spek et al.2012) met een

ureumfractie van 0,8. Daarbij is uitgegaan van 3,8 liter per lozing en 7,8 lozingen per etmaal. Dit standaardbedrijf is gekalibreerd op een ammoniakemissie van 13,0 kg per koe per jaar behorende bij RAV 1.01.
Factoren die van invloed zijn op de emissie zijn onder andere het ruweiwitgehalte van het rantsoen, het aantal urinaties, de verdeling van de urinaties over de dag, het urinevolume en de hoeveelheid urinestikstof, de hoeveelheid ureum in urine, de staltemperatuur en de vloeroppervlakte per koe. In het navolgende is dit via een gevoeligheidsanalyse in beeld gebracht. Telkens werd een bepaalde parameter aangepast, terwijl de rest gelijk bleef.

7.2.2 Gevoeligheidsanalyse voor urinevolume (N-concentratie) en aantal urinaties en verdeling

Verwacht werd dat vooral de urineproductie en het aantal urinaties en daarmee het urinevolume per urinatie een groot effect kan hebben op de emissie. In het experimentele onderzoek is dan ook aandacht besteed om hier kwantitatief meer informatie over te verkrijgen en of deze zijn te voorspellen (H2 en H3 en Kroon en van Straalen 2017).

Op basis van de gemeten urineproducties in de voederproef blijkt dat bij geen extra zout toevoegen aan het rantsoen de urineproductie redelijk goed te voorspellen is op basis van Kume et al. (2008) en Bannink et al., (1999). Daarentegen blijkt op basis van Tabel 6 dat de formule van Bannink het effect van 250 gram zout toevoegen per koe per dag op de urineproductie overschat in tegenstelling tot de relatie van Kume en de eigen relatie op basis van gemeten urineproducties. Nagegaan is hoe de drie relaties voor urinevolume (Bannink, Kume en de gemeten urineproductie) uitwerken op de berekende ammoniakemissie voor de 12 rantsoenen uit de voerproef 2015. Het effect van een andere formule op de berekende ammoniakemissie (bij een constante hoeveelheid urine per urinatie) is uiteindelijk beperkt zoals blijkt uit figuur 16, waarschijnlijk omdat het effect van een groter urinevolume (en dus meer urinaties) deels opgeheven wordt door de lagere N-concentratie in urine. Gemiddeld is de berekende emissie op basis van Kume en de “eigen relatie” respectievelijk 4% en 3% hoger dan die van Bannink

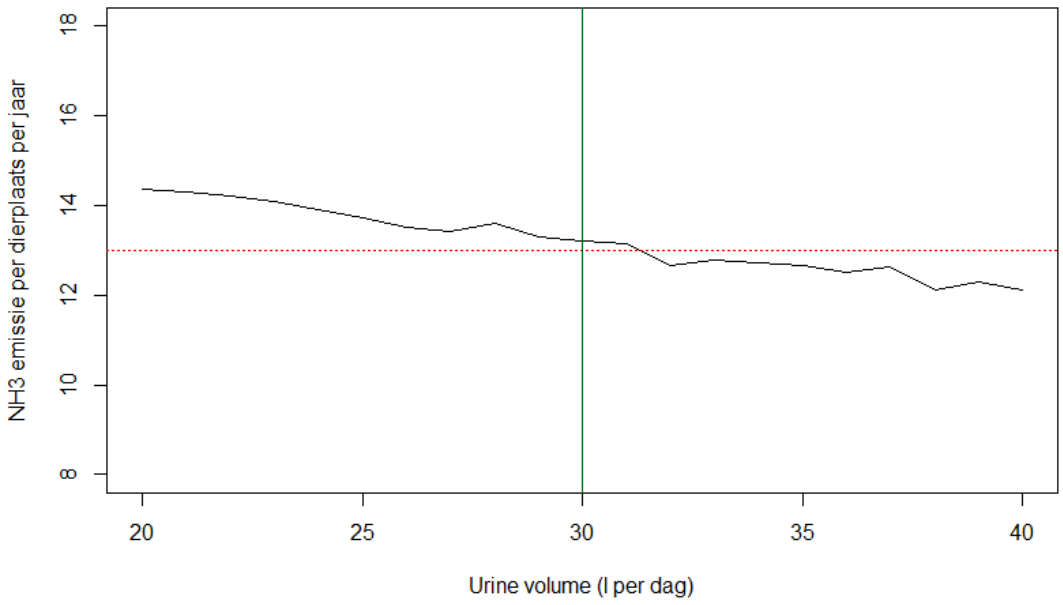


Figuur 17. De berekende ammoniakemissie voor de 12 rantsoenen uit de voerproef van 2015, waarbij de N-uitscheiding met urine afneemt van 184 (158 RE) naar 128 (136 RE) g N per koe per dag (z betekent zouttoevoeging).

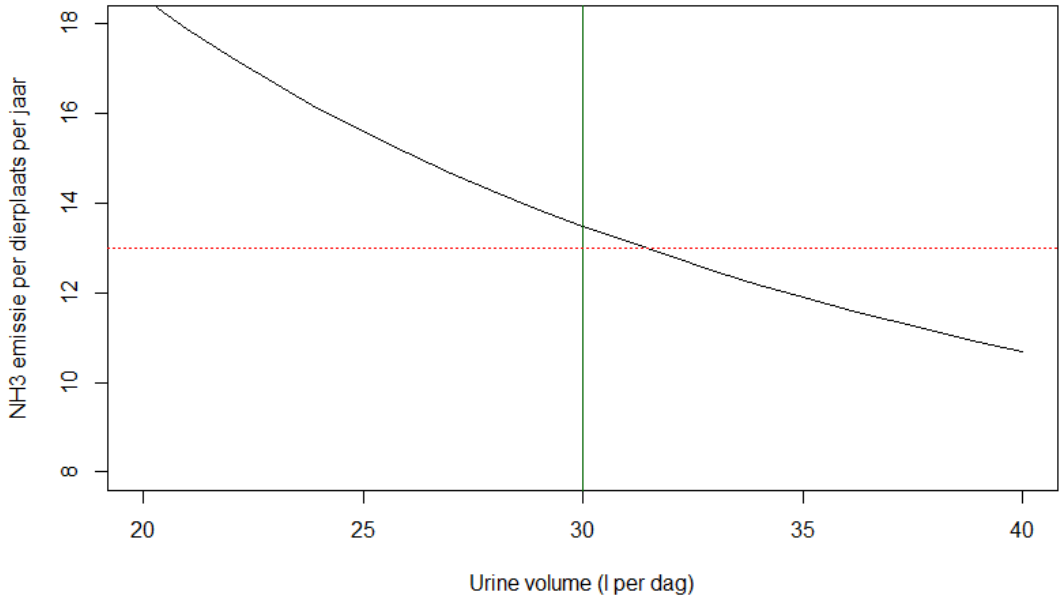
Gezien deze beperkte verschillen (ook bij zout toevoegen) blijft de formule van Bannink onderdeel van DynAm, temeer daar in de reguliere praktijk veel minder zout wordt toegevoegd dan de 250 gram per koe per dag die in de voederproef is toegevoegd (rantsoen 158z tot 136z).

Het effect van verschillende urineproducties op de emissie is zoals gezegd beperkt. Dat is nogmaals geillustreerd in Figuur 18. Daarbij is er vanuit gegaan dat de plasgrootte per urinatie gelijk blijft. De rode lijnen laten zien waarop de modellen gekalibreerd zijn (13 kg NH_3), hoewel dit voor beweiding nog niet opnieuw gedaan is. De groene verticale lijn laat de waarde laat zien die op dit moment in het model gebruikt wordt. (Het verband is niet lineair vanwege random effecten. Dit komt doordat de urinaties elke keer op een andere manier over de tijd en oppervlaktes verdeeld worden, wat door de willekeurigheid van deze verdeling elke keer voor een andere output kan zorgen.)

Blijft het aantal urinaties (in extremo) gelijk (Figuur 19) bij een verschillende urineproductie dan heeft dit een fors effect op de emissie. Het aantal emissieplekken blijft gelijk maar de N-concentratie per plek wijzigt sterk.



Figuur 18. Het effect van een verschillende urineproductie op de emissie van het standaardbedrijf bij een constante hoeveelheid urine per urinatie).

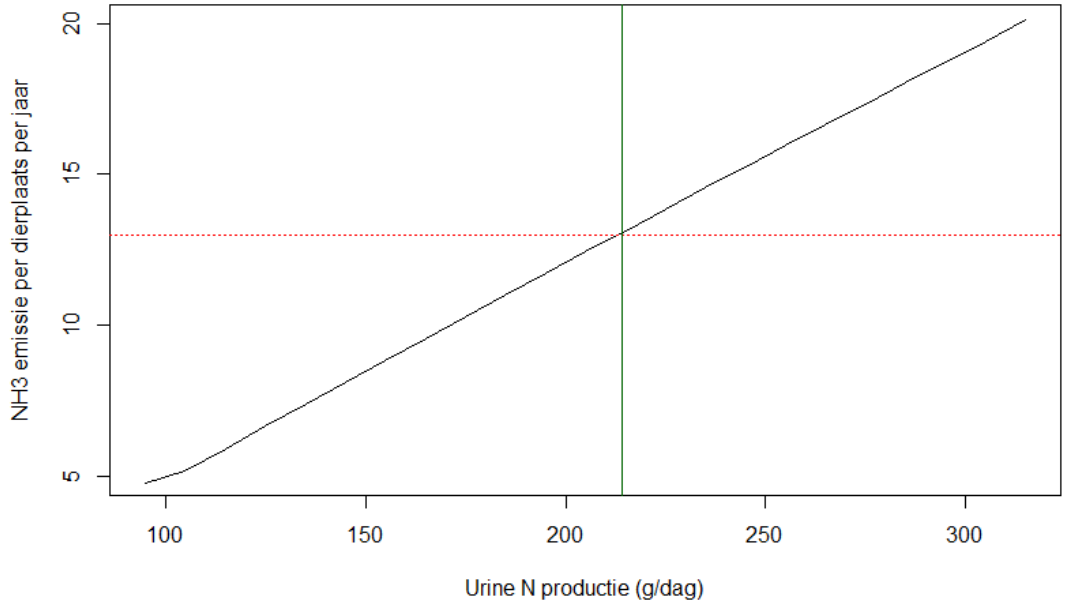


Figuur 19. Het effect van een verschillende urineproductie op de emissie van het standaardbedrijf bij een vast aantal urinaties.

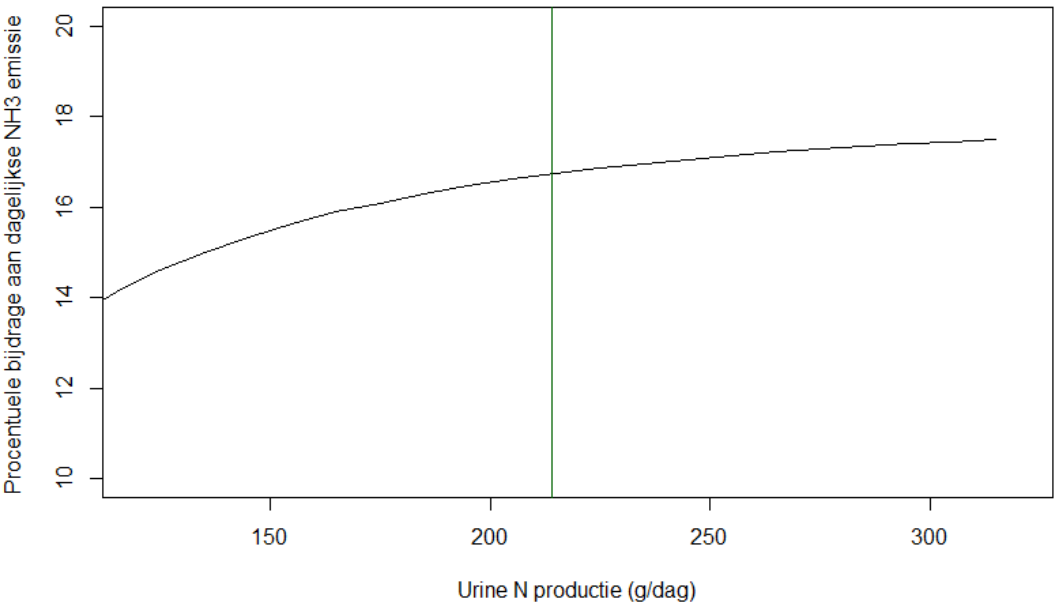
De verdeling van de urinaties over de dag kan ook invloed hebben. Hoe meer er sprake is van urinelozingen in bepaalde perioden hoe meer kans op overlap van plekken (daarbij wordt het effect van de vorige lozing opgeheven (Monteny, 2000)). De verdeling van de urinaties over een etmaal is gemeten (zie Figuur 3, H2). Ruwweg vond er overdag 0,35 lozing per uur plaats en 0,27 lozing 's nachts (gemiddeld 0,325 lozing per uur). De piekmomenten liggen rond melkenstijd met een waarde van 0,5. Toepassen van deze verdeling t.o.v. een gelijke verdeling over een etmaal geeft minder dan 1% verschil in ammoniakemissie. De verdeling van urine over de dag kan kennelijk dus verwaarloosd worden. Kanttekening daarbij is dat het model uitgaat van een constante temperatuur over de dag. Wordt daar wel uitgegaan van een cyclisch verloop dan zal de verdeling over de dag een groter effect hebben. De temperatuur verdeling over de dag is slecht bekend en vooralsnog niet meegenomen in de modelering.

7.2.3 Gevoeligheidsanalyse voor urine-N en ruweiwit

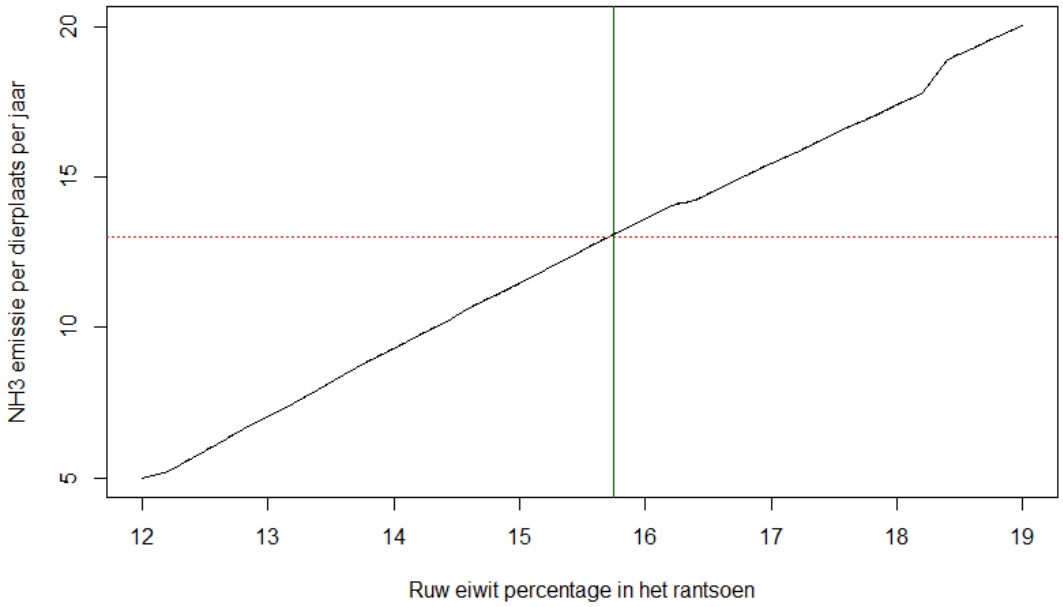
Meer urine-N (veroorzaakt door een hogere N-opname met het voer en of een hoge verteerbaarheid) zorgt voor een sterke vrijwel lineaire toename in emissie (indien alle andere parameters niet wijzigen). Direct gerelateerd aan het eiwitgehalte in het voer stijgt de emissie van 5 kg bij 12% ruweiwit (vrij hypothetisch) tot bijna 20 kg ammoniak bij 19% ruweiwit.
In Figuur 20 is het effect van een veranderende uriine N productie weergegeven. Daarbij is er vanuit gegaan dat het aantal urinaties gelijk blijft. In dat geval is er een lineair verband met de ammoniakemissie. Wijzigt het volume per lozing ook dan zal dat niet het geval zijn, echter er was te weinig kwanitatieve informatie beschikbaar om hier een relatie voor te kunnen opstellen.
Naarmate er minder urine N wordt uitgescheiden, daalt het percentage ureum in de urine. Indien vooral ureum de de ammoniakemissie bepaalt dan daalt de emissie als percentage van de via urine uitgescheiden N (Figuur 21). Voor het standaardaardbedrijf daalt de ammoniakemissie lineair met het ruweiwitgehalte in het rantsoen (Figuur 22), daar er verondersteld is dat een ander eiwitgehalte niet leidt tot andere verteerbaarheden van het voer.



Figuur 20: Het effect van N-uitscheiding met urine op de emissie van het standaardbedrijf.



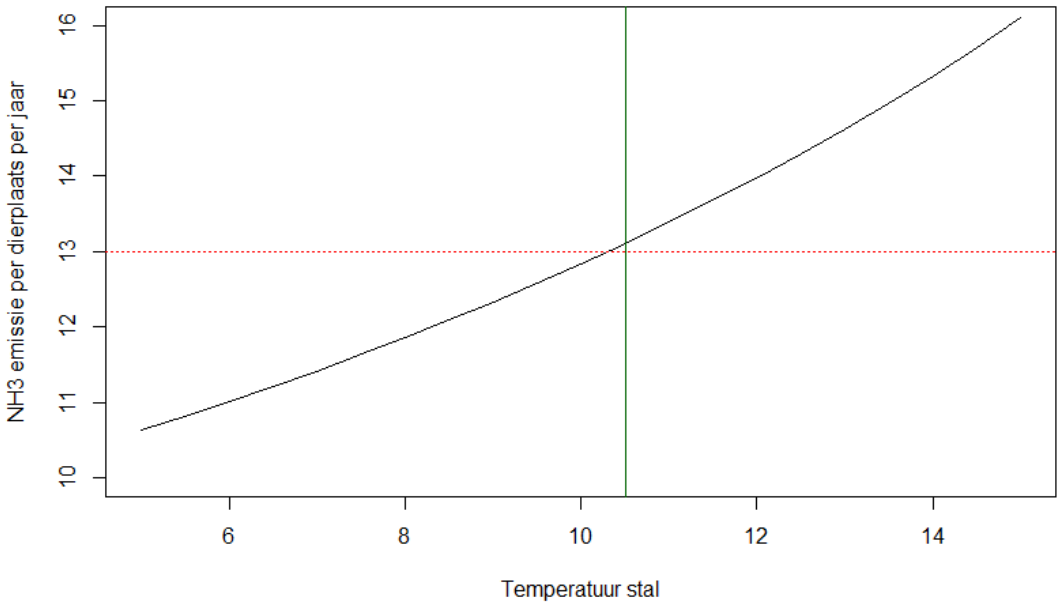
Figuur 21: De relatie tussen de N-uitscheiding met urine en de procentuele emissie (emissie gedeeld door de hoeveelheid urine N) van het standaardbedrijf.



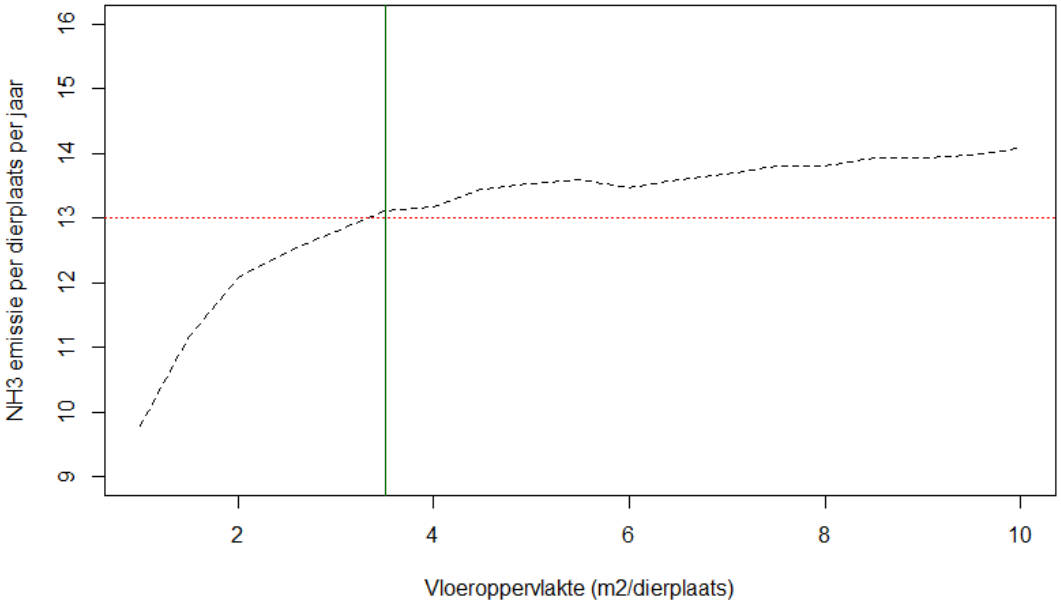
Figuur 22. Het effect van een verschillend ruweiwitgehalte op de emissie van het standaardbedrijf.

7.2.4 Gevoeligheidsanalyse staltemperatuur en vloeroppervlak

Bij een hogere temperatuur neemt de drijvende kracht voor ammoniakemissie toe. Het effect van temperatuur is niet lineair. Naarmate er minder vloeroppervlak is per koe neemt de overlap van urineplekken toe (bij overlap wordt de emissie van de vorige plek teruggebracht naar 0). Ook is de emissie vanuit de put per koe dan ook relatief lager.
Een groter vloeroppervlak heeft ook effect. Naarmate er meer vloeroppervlak is, is er minder overlap van urineplekken en kan de emissie dus toenemen. Dit is geillustreerd voor het standaardbedrijf (Figuur 25).



Figuur 23 Het effect van de gemiddelde staltemperatuur op de emissie van het standaardbedrijf



Figuur 25: Het effect vloeroppervlak per koe op de emissie van het standaardbedrijf

Literatuur

Aland A, Lidfors L & Eskebo I (2002) Diurnal distribution of dairy cow defecation and urination. Applied Animal Behaviour Science 78:43–54Bannink A, Valk H & van Vuuren AM (1999). Intake and excretion of Sodium, Potassium and Nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 82: 1008-1018.

Bruggen C van, Bannink A, Groenestein CM, Huijsmans JFM, Luesink HH, van der Sluis SM, Velthof GL & Vonk J (2015). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2013. Berekeningen van ammoniak, stikstofoxide, lachgas, methaan en fijn stof met het model NEMA. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 46.

Bruggen C van, Bannink A, Groenestein CM, Huijsmans JFM, Luesink HH, van der Sluis SM, Velthof GL & Vonk J (2017). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2014. Berekeningen van ammoniak, stikstofoxide, lachgas, methaan en fijn stof met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 90.

Castle ME, Foot AS & Halley RJ (1950). Some observations on the behaviour of dairy cattle with particular reference to grazing. J. Dairy Res. 17 (3), 215–230.Castillo AR, Kebreab E, Beever DE & France J (2000). A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. J. Anim. Feed Sci. 9:1–32.

Chizzotti ML., de Campos Valadares Filho S, Ferreira Diniz Valadares R, Chizzotti FHM & Orlindo Tedeschi L. (2008). Determination of creatinine excretion and evaluation of spot sampling in Holstein cattle. Livestock Science 113: 218-225.

CBS (2011). Dierlijke mest en mineralen 2010 (C. van Bruggen). CBS, Den Haag/Heerlen.

CBS (2012). Dierlijke mest en mineralen 2011 (C. van Bruggen). CBS, Den Haag/Heerlen.

Dai, X., Karring, H., 2014. A Determination and Comparison of Urease Activity in Feces and 573 Fresh Manure from Pig and Cattle in Relation to Ammonia Production and pH Changes. 574 PLoS One 9, e110402. doi:10.1371/journal.pone.0110402

Draganova et al (2012). The cows role in redistributing around the dairy farm. Proceeding of the 25th annual FLRC workshop, 2012, Massey University, New Zealand

Elzing, A., Monteny, G.J., 1997a. Modeling and experimental determination of ammonia emission rates from a scale model dairy-cow house. Trans. ASAE 40, 721–726. doi:10.13031/2013.21302

Elzing, A., Monteny, G.J., 1997b. Ammonia emission in a scale model of a dairy-cow house. Trans. ASAE 40, 713–720. doi:10.13031/2013.21301

Fuller JM (1928). Some physical and physiological activities of dairy cows under conditions of modern herd management. N. Hampshire Agric. Exper. Stat. Tech. Bull. 35, 2–30.

Huhtanen P, Nousiainen JI, Rinne M, Kyto K & Khalili H (2008). Utilization and partition of dietary nitrogen in dairy cows fed grass silage-based diets. J. Dairy Sci. 91:3589–3599.

Jarvis et al (1995). Nitrogen cycling in grazing systems. In: Nitrogen Fertilization on the Environment (Eds. P.E. Bacon). Pp. 381-420. New York. Johnsson ACB, Kebreab E & Reed KF (2016) Evaluation of nitrogen excretion equations from cattle. J. Dairy Sci. 99:7669–7678

Jonker JS,. Kohn RA, & Erdman RA. 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 81:2681–2692.

Kebreab E, Strathe AB, Dijkstra J, Mills JAN, Reynolds CK, Crompton LA, Yan T & France J (2010). Energy and protein interactions and their effect on nitrogen excretion in dairy cows. Pages 417–425 in Proc. 3rd EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism. M. Crovetto, ed. Wageningen Publishers, Wageningen, the Netherlands.

Kool (2012). Het effect van het urineergedrag van melkkoeien op de ammoniakemissie van melkveestallen. BSc thesis Wageningen Universiteit, 45 pp.

Kroon LJ & Straalen WM (2017). Het effect van eiwitgehalte en zouttoevoeging op melkproductie en –samenstelling, verteerbaarheid, stikstofuitscheiding met de urine en ammoniakemissie bij melkkoeien in mid-lactatie. Pp….

Kume S Nonaka K, Oshita T, Kozakai T & Hirooka H (2008). Effects of urinary excretion of nitrogen, potassium and sodium on urine volume in dairy cows. Livestock Science 115: 28–33

Moir JL Cameron KC, Di HJ & Fertsake U (2010). The spacial coverage of dairy cattle urine patches in an intensively grazed pasture system. Journal of Agricultural Science. Pag 1-13

Monteny GJ (2000). Modelling of ammonia emission from dairy cow houses. PhD thesis Wageningen UR, 156 pp.

Muck RE & Steenhuis TS (1981). Nitrogen losses in free stall dairy barns. In Livestock Waster: A Renewable Resource; ASAE: St. Joseph, MI, pp 406-409.

Nennich TD, Harrison JH, van Wieringen LM, Meyer D, Heinrichs AJ, Weis WP St-Pierre NR, Kincaid LR, Davidsn DL & Block E (2005). Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. J. Dairy Sci. 88:3721–3733.

Nennich TD, Harrison JH, van Wieringen LM, Meyer D, Heinrichs AJ, Weis WP St-Pierre NR, Kincaid LR, Davidsn DL & Block E (2006) Prediction and evaluation of urine and urinary Nitrogen and mineral excretion from dairy cattle. Journal of Dairy Science 89: 353-364.

Ogink NWM, Groenestein CM & Mosquera J (2014). Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Livestock Research Wageningen UR, rapport 744

Oudshoorn F, Kristensen T & Nadimi ES (2008). Dairy cow defecation and urination frequency and spatial distribution in relation to time-limited grazing. Livestock Science 113 (2008) 62–73Reed KF, Moraes LE, Casper DP & Kebreab E (201. Predicting nitrogen excretion from cattle. J. Dairy Sci. 98:3025–3035.

Šebek L, Migchels G, van Dijk C (2017). Het verlagen van de TAN-excretie als maatregel om de ammoniakemissie op het melkveebedrijf te verminderen. Methodiek voor het vaststellen van de TAN-excretie: module 'Bedrijfsspecifieke Emissie Ammoniak' (BEA) van de Kringloopwijzer. Wageningen Livestock Research, Rapport 1020.

Smits MCJ, Valk H & Keen A (1995). Effect of protein nutrition on ammonia emission from a cubicle house for dairy cattle. Livest. Prod. Sci. 44:147–156.

Snoek DJW, Stigter JD, Ogink NWM & Groot Koerkamp PWG (2014). Sensitivity analysis of mechanistic models for estimating ammonia emission from dairy cow urine puddles. Biosyst. Eng. 121, 12–24.

Sogaard et al (2002). Ammonia volatilization from field-applied animal slurry – the ALFAM model. Atmospheric Environment 36, 3309-3319

Spek J, Dijkstra J, Duinkerken GV, Hendriks W & Bannink A (2013). Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in northwestern Europe and North America: A meta-analysis. J. Dairy Sci. 96:4310–4322

Van Laar T (2011). Improved modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. MSc thesis Wageningen Universiteit, 70 pp.

Villettas Robichaud et al (2011). When and where do dairy cows defecate and urinate? Journal of Dairy Science 94: 4889-4896

White SL, Sheffield RE, Washburn SP, King LD & Green JT (2001). Spatial and Time Distribution of Dairy Cattle Excreta in an Intensive Pasture System. Environ. Qual. 30:2180–2187 (2001).

Whitehead DC, Lockyer DR & Raistrick N(1989). Volatilization of ammonia from urea applied to soil: influence of hippuric acid and other constituents of livestock urine. Soil Biol. Biochem. Vol. 21 6: 803-808.

Zhang G, Rom HB, Li B, Strøm JS, Morsing S, Dahl P & Wang C (2005). Emission of Ammonia and Other Contaminant Gases from Naturally Ventilated Dairy Cattle Buildings; Biosystems Eng. 92, 353-364.

Bijlage 1 met achtergrondgetallen van 8 praktijkbedrijven

Periode		*Fr*	*Ko*	*Ba*	*Do*	*Hof*	*Bo*	*Bu*	*Ve*
	Aantal koeien	100	70	110	225	125	100	110	300
	m² staloppervlakte / kc	4,3	3,4	2,5	3,8	3,8	?	4,0	?
	Beweiding	ja	ja	ja	nee	ja	ja	ja	ja
Maart 2016	Melk (kg/dag)	25,2	30,7	26,7	34,0	27,2	32,0	30,7	23,0
	Vet %	4,36	4,67	4,48	4,30	4,41	4,78	4,47	4,90
	Eiwit %	3,45	3,75	3,48	3,40	3,63	3,54	3,58	3,35
	Ureum	25	20	?	?	22	?	?	19
	Huidig rantsoen								
	Ruw eiwit rantsoen (%	16,7	17,1	16,9	16,6	16,8	16,6	16,7	16,1
	N- efficiëntie (%)	25,8	29,4	27,3	31,2	29,6	28,8	28,6	24,8
	Niet ureum-N in urine (	19,8	22,6	22,1	25,4	23,3	21,9	22,5	23,2
	Ureum-N in urine (%)	80,2	77,4	77,9	74,6	76,7	78,1	77,5	76,8
	P (g/kg ds)	3,6	4,2	4,0	3,9	3,5	3,6	4,3	4,3
	P- benutting (%)	36,0	35,0	36,0	40,0	42,0	40,0	33,0	28,0
	NH_3-emissie (kg/koe/ja	15,41	15,95	14,36	14,52	13,57	16,18	15,8	12,39
	Advies rantsoen								
	Ruw eiwit rantsoen (%	16,6	16,7	15,9	16,0	16,6	15,8	15,5	15,0
	N- efficiëntie (%)	27,4	30,9	28,5	32,7	31,8	30,3	31,2	26,5
	Niet ureum-N in urine (	20,5	24,8	24,6	28,7	25,2	24,7	27,2	28,6
	Ureum-N in urine (%)	79,5	75,2	75,4	71,3	74,8	75,3	72,8	71,4
	P (g/kg ds)	3,5	4,2	3,7	3,8	3,5	3,5	4,1	4,4
	P- benutting (%)	39,0	37,0	37,0	41,0	46,0	41,0	36,0	27,0
	NH_3- emissie (kg/koe/j	14,05	14,84	13	12,64	12,59	14,29	12,77	10,27
Juli 2016	Melk (kg/dag)	26,7	28,0	29,5		25,1	33,4	30,3	
	Vet %	3,90	4,17	4,33		4,08	4,21	4,29	
	Eiwit %	3,38	3,50	3,42		3,49	3,48	3,43	
	Ureum	18	25	25		25	20	20	
	Huidig rantsoen								
	Ruw eiwit rantsoen (%	16,3	17,6	17,3		16,3	16,6	16,2	
	N- efficiëntie (%)	29,0	27,2	27,8		29,6	30,1	29,5	
	Niet ureum-N in urine (	24,5	20,5	20,9		24,9	25,6	23,3	
	Ureum-N in urine (%)	75,5	79,5	79,1		75,1	74,4	76,7	
	P (g/kg ds)	3,8	4,2	3,9		3,3	3,9	4,2	
	P- benutting (%)	37,0	34,0	37,0		43,0	38,0	35,0	
	NH_3- emissie (kg/koe)	11,57	14,88	15,32		13,4	14,47	13,81	
	Advies rantsoen								
	Ruw eiwit rantsoen (%	-	16,6	16,3		15,5	-	-	
	N- efficiëntie (%)	-	28,3	29,5		31,3	-	-	
	Niet ureum-N in urine (	-	25,2	23,7		28,0	-	-	
	Ureum-N in urine (%)	-	74,8	76,3		72,0	-	-	
	P (g/kg ds)	-	4,0	3,8		3,1	-	-	
	P- benutting (%)	-	36,0	39,0		47,0	-	-	
	NH3_N emissie (kg/ko	-	12,83	13,26		11,65	-	-	

Bijlage 2. De beschrijving van het ammoniakmodel

Dat is als een uitgebreid technisch document met programmacode beschikbaar

Bijlage 3. Communicatieprotocol DynAm en VoerExpert

Als technisch document beschikbaar



www.nmi-agro.nl

nutriënten management
instituut nmi bv
nieuwe kanaal 7c
6709 pa wageningen
nmi@nmi-agro.nl