



Ammoniakemissie op grondgebonden melkveebedrijven Highlights EAB project (green paper)

Yvonne Verbeek-Schilder, Frank Verhoeven en Pauline Athmer – BV Boerenverstand – 04/09/23

Binnen een samenwerkingsproject van Netwerk GRONDig, WUR, Boerenverstand en Universiteit Leiden, is onderzocht hoe de ammoniakemissie op grondgebonden melkveebedrijven kan worden gereduceerd met managementmaatregelen, i.t.t. technische stalaanpassingen, zoals een luchtwasser en een emissiearme vloer. Deze managementmaatregelen moeten leiden tot een geborgde emissiearme bedrijfsvoering. Na eerdere versies presenteren we nu ons finale green paper.

Wanneer op melkveebedrijven niet meer dan 40 kg NH₃/ha/jaar wordt uitgestoten is dat een reductie van 30% ten opzichte van de huidige situatie en voldoende om in het overgrote deel van Nederland de KDW-normen te behalen¹. Een melkveebedrijf dat in totaal 40 kg NH₃/ha/jaar (of minder) uitstoot vanuit stal- en veldemissies, classificeren we als een emissiearm bedrijf. Binnen het project is uitgebreid wetenschappelijk onderzoek gedaan naar alle mogelijke (management) maatregelen en de mate waarin ze ook te borgen en controleren zijn. In overleg met de praktijk van de grondgebonden melkveehouders zijn daar drie kansrijke maatregelen uitgekomen: minder gve/ha, meer weidegang en minder eiwit in het rantsoen. De eerste maatregel spreekt voor zichzelf en is eenvoudig uit de jaarlijkse gecombineerde opgave te halen. Hoewel belangrijk is om te beseffen dat extensivering niet per definitie minder stal- of veldemissies oplevert, kan het, mits geen mest wordt aangevoerd, borgen dat de veldemissies lager zijn. In dit paper gaan we verder over de borging van de managementmaatregelen: meer weidegang en minder eiwit in het rantsoen.

Borging

Borging van de maatregelen wordt gedefinieerd door de volgende twee aspecten:

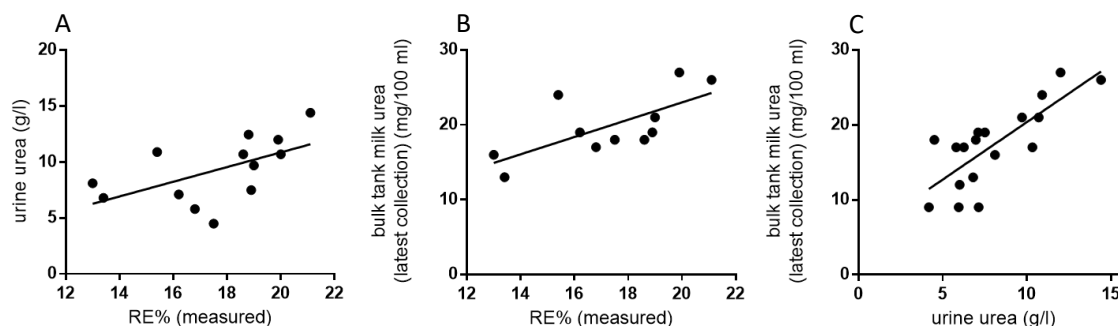
1. Garanderen dat de maatregel doet wat hij belooft
2. Garanderen dat de maatregel zo wordt uitgevoerd als beloofd

Het eerste punt gaat over de wetenschappelijke onderbouwing en het tweede punt over de aantoonbaarheid/ controleerbaarheid van een maatregel. Van de onderzochte maatregelen bleven uiteindelijk twee maatregelen over die zowel goed wetenschappelijk onderbouwd zijn, als controleerbaar en aantoonbaar in de praktijk. Dit zijn een voldoende maar niet te hoog gehalte ruw eiwit (RE) in het rantsoen, en zo veel mogelijk uren weidegang per koe per jaar.

Ruw eiwit

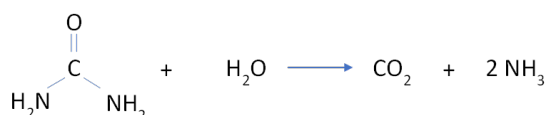
Urine-ureum is de bron van ammoniakemissie. Hoe meer ruw eiwit er gevoerd wordt wat niet benut wordt door de koe, hoe hoger het gehalte aan urine-ureum (Figuur 1A) en tankmelkureum (Figuur 1B). Urine-ureum en tankmelkureum hangen ook samen (Figuur 1C).

¹ Op basis van publicatie "Naar een ontspannen Nederland" van Jan Willem Erisman en Benno Strootman, berekend door Ton Brouwer.



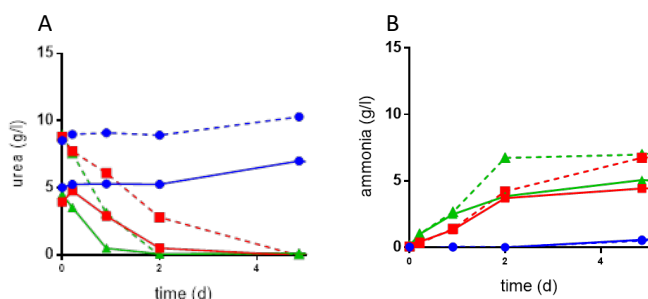
Figuur 1. Correlaties tussen gemeten RE% in het voer, urine ureum en tankmelkureum. Alle correlaties zijn significant. Metingen uitgevoerd in drie verschillende meetrondes bij veertien verschillende bedrijven.

Ureum in de urine wordt door urease in de mest omgezet in ammoniak volgens Vergelijking 1.



Vergelijking 1. Chemische formule omzetting ureum naar ammoniak.

Laboratoriumproeven hebben laten zien dat alle ureum in de urine wordt omgezet in ammoniak. In deze proeven is urine met mest gemengd en ureum en ammoniak zijn gemeten gedurende vijf dagen. Hoe meer mest er aanwezig was, hoe sneller het ureum verdween. Ook is er extra ureum toegevoegd aan deze mengsels. O.b.v. de reactievergelijking kon berekend worden hoeveel gram ammoniak er ontstaat uit deze extra ureum. Uit één molecuul ureum (60 g) worden twee moleculen ammoniak gevormd (34 g). Dit betekent dat er uit 5 g ureum 2,8 g ammoniak kan worden gevormd. Precies deze hoeveelheid extra ammoniak ontstond in de samples waar 5 g extra ureum aan werd toegevoegd (Figuur 2).



Figuur 2. Afname van ureum (A) en toename van ammoniak (B) in de urine-feces mengsels gedurende vijf dagen. Blauwe lijn: urine, rode lijn: 12,5% mest in urine, groene lijn: 25% mest in urine. Doorgetrokken lijn: zonder extra ureum, gestreepte lijn: 5 g/l ureum extra toegevoegd. Eén representatief experiment uit drie herhalingen.

Als het ureum in de urine dus zo laag mogelijk wordt gehouden, wordt zo weinig mogelijk ammoniak gevormd. Alle ammoniak die gevormd werd in de laboratoriumproeven, vervluchtigde binnen 7 weken nadat de reageerbuis op een kier open werden gezet. De opening was vergelijkbaar met een conventionele roostervloer (gedeeltelijk dicht).

Op basis van deze proeven kunnen we concluderen dat een lager RE leidt tot minder urine-ureum en dat minder urine-ureum leidt tot minder ammoniakemissie.



Volgens twee meta-analyses, metingen en review-artikelen neemt de ammoniakemissie vanuit de stal af met gemiddeld 17% van de stalemissie per 10 g/kg RE minder in het rantsoen (Paul, 1998, James et al., 1999, Kröber et al., 2000, Külling et al., 2001, Swensson, 2003, Arriaga et al., 2010, Burgos et al., 2010, Liu et al., 2012, Arndt et al., 2015, Bougouin et al., 2016, Sajeev et al., 2017, Edouard et al., 2019, Müller et al., 2021).

Weidegang

Bij weidegang komen mest en urine niet of nauwelijks bij elkaar. Ureum wordt dus niet of veel langzamer omgezet in ammoniak. Daarnaast kan de urine de bodem in diffunderen waar het ureum beschikbaar komt voor de wortels van het gewas. Het effect van weidegang is volgens de beschikbare literatuurbronnen 7,2% (Ogink, 2014) - 9,2% (Hoving, 2015) per 1000 uur. Bij het hoogste getal wordt ook rekening gehouden met secundaire voordelen van weidegang (minder opslag en uitrijden door meer beweiding), maar deze studie betreft een modelmatige berekening waarbij de totale emissie zonder weidegang veel hoger ligt dan in de praktijk gemeten.

De emissiereductie door weidegang kan ook berekend worden als ervan uitgegaan wordt dat bij iedere 2 uur weidegang per dag 2/24 van de stalemissie met 90% wordt gereduceerd. Dit is 7,5% per 2 uur weidegang/dierplaats/dag. Bij 1000 uur weidegang is dit getal 10,3% van de emissie. Volgens de RAV-rekenregels daalt de stalemissie met 5% voor 720 uur weidegang en dus 6,94% per 1000 uur weidegang.

Voor berekeningen van de emissie wordt 7,2%/1000 uur weidegang/dierplaats (dpl) aangehouden aangezien dit de meest betrouwbare meetwaarde lijkt.

Emissietabel

Op verzoek van ZuivelNL is een tabel samengesteld waarbij de stal- en totale emissies worden gegeven bij combinaties van de twee managementmaatregelen. Er is onderzocht of de melkproductie invloed heeft op de ammoniakemissie. Ammoniakemissie hangt samen met het urine-ureum-stikstof dat wordt uitgescheiden. Het totaal aantal grammen stikstof dat met de urine per dag wordt uitgescheiden hangt volgens (Cizuk and Gebregziabher, 1994, Kauffman and St-Pierre, 2001, Kohn et al., 2002, Broderick, 2003, Burgos et al., 2007, Powell et al., 2014) níet samen met de melkproductie. Volgens (Smits, 2006) wordt de stikstofexcretie met de urine wel iets hoger bij een hogere melkproductie, maar dit effect is minimaal. Volgens (Nousiainen et al., 2004) is er wél een correlatie tussen melkproductie en de totale urine-N excretie. Volgens een ander rapport (Spek et al., 2013b) neemt de urinestikstofexcretie juist áf bij hogere melkproductie.

Aangezien zes publicaties geen correlatie tussen de totale urine-N excretie en de melkproductie laten zien, gaan we ervan uit dat er geen correlatie is tussen urine-ureum (in g N/dag) en melkproductie en dat er dus geen segmentatie gemaakt hoeft te worden voor hoog- en laagproductieve bedrijven.

Op basis van bovenstaande bevindingen rondom weidegang en ruw eiwit in het rantsoen stellen wij Tabel 1 voor. Hierbij wordt uitgegaan van de RAV-code voor stal-emissie van een A1.100 type stal. Deze is vastgesteld bij een gemiddeld tankmelkureum van 23,0 mg/dL en gaat uit van geen weidegang. Bij afnemend RE neemt de stalemissie af. Ook het tankmelkureum zal afnemen met afnemend RE.



De ammoniakemissie neemt ook af met toenemende weidegang. Het effect van weidegang neemt natuurlijk af als er minder eiwit gevoerd wordt, daarom maken we gebruik van de procentuele afname van de ammoniakemissie.

Tabel 1. Ammoniakemissie in kg/dierplaats vanuit de stal bij combinaties van weidegang en ruw eiwit in het rantsoen.

ruw eiwit (g/kg ds)	173	168	163	160	157	152	147	141
Tankmelkureum (mg/dL)	23,0	21,5	20,0	19,3	18,5	17,0	15,5	14
weidegang (uren)	emissie (kg NH ₃ /dierplaats) STAL							
0	13	11,8	10,6	10,1	9,5	8,3	7,1	5,9
720	12,3	11,2	10,1	9,5	9,0	7,9	6,7	5,6
1303	11,8	10,7	9,6	9,1	8,6	7,5	6,4	5,3
1440	11,7	10,6	9,5	9,0	8,5	7,4	6,3	5,2
2160	11,0	10,0	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	4,9
2880	10,3	9,4	8,4	8,0	7,5	6,6	5,6	4,6
3600	9,6	8,8	7,9	7,4	7,0	6,1	5,2	4,3

In 2020 was het gemiddelde aantal uren weidegang 1303 uur en het tankmelkureum 22,5 mg/dL. De stalemissie was toen volgens Agrimatie gemiddeld 11,7 kg NH₃/dierplaats. Deze waarde komt goed overeen met onze Tabel 1, maar het zou wenselijk zijn deze tabel te vergelijken met gemeten waardes bij andere combinaties van RE en weidegang. Zo weten we bijvoorbeeld dat een brandschone stal niet bestaat en, ook al is er veel weidegang, melkkoeien in de meeste gevallen twee keer per dag binnenkomen voor het melken en daar het stalvloeroppervlak ook bevuild. Ofwel we veronderstellen wel een bovengrens aan dit effect. Tot nu toe hebben wij echter geen publicaties kunnen vinden die deze waarden rapporteren in kg NH₃/dierplaats, aantal uren weidegang en RE. Mogelijk biedt het Netwerk Praktijkbedrijven* aanknopingspunten deze tabel te ijken.

Op dezelfde wijze als in Tabel 1 hebben we de totale ammoniakemissie berekend (Tabel 2). Door weidegang is er minder mest beschikbaar om uit te rijden en neemt de ammoniakemissie daardoor dus af. Als de mestplaatsingsruimte echter wordt volgemaakt (d.w.z. 170 kg N/ha zonder derogatie of 230 – 250 kg N/ha met derogatie) dan is de emissie volledig afhankelijk van de manier van uitrijden (Tabel 4).

Tabel 2. Totale ammoniakemissie bij verschillende combinaties van RE en weidegang in kg NH₃/dierplaats.

ruw eiwit (g/kg ds)	173	168	163	160	157	152	147	141
tankmelkureum	23,0	21,5	20,0	19,3	18,5	17,0	15,5	14
weidegang (uren)	emissie (kg NH ₃ /dierplaats) TOTAAL							
0	28,8	28,3	26,4	25,8	25,3	24,1	22,9	21,6
720	27,1	26,8	25,0	24,5	24,0	22,8	21,7	20,5
1303	25,7	25,6	23,9	23,4	22,9	21,8	20,7	19,6
1440	25,4	25,4	23,7	23,2	22,6	21,6	20,5	19,4
2160	24,1	23,9	22,3	21,8	21,3	20,3	19,3	18,3
2880	22,8	22,4	20,9	20,5	20,0	19,1	18,1	17,2
3600	21,4	21,0	19,5	19,1	18,7	17,8	16,9	16,0



De veldemissie kan worden berekend door de emissiefactor van de manier van uitrijden (Tabel 3) te gebruiken, het aantal kg N/ha dat wordt aangewend en het percentage totaal ammoniakaal stikstof (TAN) in de mest. Voor deze laatste waarde wordt over het algemeen 50% aangenomen. Als er 170 kg N/ha wordt aangewend, is er 85 kg N TAN, waarvan 19 – 22,5% emitteert. Hoe minder N er wordt uitgereden, hoe lager de veldemissie. De ammoniakemissie uit kunstmest is laag (2,2% van de N uit KAS) en wordt hier buiten beschouwing gelaten aangezien de focus is de ammoniakemissie verlagen door weidegang en RE. Dit heeft geen betrekking op de keuzes voor het gebruik van kunstmest.

Tabel 3. Emissiepercentages van de TAN naar manier van uitrijden van dierlijke mest (CDM, 2017).

Zodenbemester	19%
Sleufkouter	22,5%
Sleepvoet	26%
Bovengronds	74%

Tabel 4. Veldemissie (kg NH₃/ha) afhankelijk van de hoeveelheid uitgereden dierlijke mest kg N/ha.

Bemesting dierlijke mest (kg N/ha)	250	230	170	150	100	50	0
Bemesting dierlijke mest (kg TAN/ha)	125	115	85	75	50	25	0
	emissie (kg NH₃/ha) VELD						
ZODENBEMESTER	24	22	16	14	10	5	0
SLEUFKOUTER	28	26	19	17	11	6	0
SLEEPVOET	33	30	22	20	13	7	0
BOVENGRONDS			63	56	37	19	0

Emissiereductie per ha door minder gve/ha

In Tabel 4 wordt de emissie in kg NH₃/ha gegeven, en in Tabel 1 en Tabel 2 in kg NH₃/dierplaats. De getallen in deze tabellen kunnen dus niet zomaar met elkaar vergeleken worden. De totale ammoniakemissie/ha kan worden bepaald door de getallen uit Tabel 1 en Tabel 2 te vermenigvuldigen met het aantal dierplaatsen/ha. Hoe meer grond er per dier beschikbaar is, hoe lager de emissie per ha. Meer grond, minder dierplaatsen, minder GVE/ha is ook een manier om de ammoniakemissie/ha te reduceren.

Borging (controleerbaar/ aantoonbaar)

Weidegang

Weidegang kan aangetoond worden door gebruik te maken van verschillende systemen, waaronder weidepoortjes die gebruik maken van de sensoren in poot- of halsbanden, weidekalender, videosystemen etc. Daarnaast kan de controle, die al plaatsvindt in het kader van het leveren van weidemelk, verder geïntensiveerd worden.

Ruw eiwit

Uit literatuur (Kröber et al., 2000, Frank et al., 2002, Frank and Swensson, 2002, Nousiainen et al., 2004, Arriaga et al., 2010, van Duinkerken et al., 2011, Aguilar et al., 2012, Liu et al., 2012, Spek, 2012, Powell et al., 2014, Arndt et al., 2015, Lavery and Ferris, 2021, Müller et al., 2021), en uit ons onderzoek komt dat tankmelkureum een goede indicator is voor RE in het rantsoen. Volgens (James, 1999)(Kröber et al., 2000, Külling et al., 2001, Frank et al., 2002, Frank and Swensson, 2002, Arriaga



et al., 2010, Burgos et al., 2010, Liu et al., 2012, Arndt et al., 2015, Bougouin et al., 2016, Sajeev et al., 2017, Edouard et al., 2019, Müller et al., 2021)(Hristov et al., 2011)(Spek et al., 2013a) zorgt een hoger RE voor meer ammoniakemissie. Als tankmelkureum en RE gekoppeld zijn, en RE en ammoniakemissie ook, dan moet tankmelkureum een goede voorspeller voor ammoniakemissie zijn. Maar ondanks dat bovenstaande 25 publicaties een goede en vergelijkbare correlatie laten zien tussen RE en melkureumgehalte en ammoniakemissie, is er volgens sommige andere onderzoekers geen wetenschappelijke onderbouwing om het melkureumgehalte te kunnen gebruiken voor een ammoniakemissie in kilogrammen (Duinkerken, 2003, Huis in 't Veld, 2003, Sebek, 2007). Het melkureumgehalte werd door deze auteurs eerder gezien als indicatie voor een bereikte vermindering dan als nauwkeurige voorspeller van de ammoniakemissie.

Met het RE wordt in de KringLoopWijzer een verdere berekening gedaan naar uitgescheiden TAN, waarbij rekening wordt gehouden met vastlegging van stikstof. Een combinatie van gemiddeld jaarrond tankmelkureum en RE of de TAN-berekening uit de KringloopWijzer moet voldoende zijn om te controleren en aan te tonen wat het jaarrond RE of TAN is geweest.

Belang tabel

De tabel is opgesteld door veel wetenschappelijke publicaties, metingen en de RAV-code van A1.100 stallen te combineren. Wij vinden het belangrijk en nuttig om met andere deskundigen op dit gebied in discussie te gaan en de tabel te optimaliseren, bijvoorbeeld ook door metingen. Die geoptimaliseerde tabel kan vervolgens wat ons betreft vastgesteld worden en gebruikt worden in het beleid. Op deze manier kunnen melkveehouders die streven naar minder ammoniak via hun management dit aantonen en hierop gewaardeerd en beloond worden.

Referenties

- Aguilar, M., M. D. Hanigan, H. A. Tucker, B. L. Jones, S. K. Garbade, M. L. McGilliard, C. C. Stallings, K. F. Knowlton, and R. E. James. 2012. Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 95(12):7261-7268.
- Arndt, C., J. M. Powell, M. J. Aguerre, and M. A. Wattiaux. 2015. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. *Journal of Dairy Science* 98(1):418-430.
- Arriaga, H., G. Salcedo, L. Martínez-Suller, S. Calsamiglia, and P. Merino. 2010. Effect of dietary crude protein modification on ammonia and nitrous oxide concentration on a tie-stall dairy barn floor. *Journal of Dairy Science* 93(7):3158-3165.
- Bougouin, A., J. Dijkstra, E. Kebreab, A. Leytem, and R. S. Dungan. 2016. Nutritional and environmental effects on ammonia emissions from dairy cattle housing: A meta-analysis. *Journal of Environmental Quality* 45(4):1123-1132.
- Broderick, G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 86(4):1370-1381.
- Burgos, S. A., N. M. Embertson, Y. Zhao, F. M. Mitloehner, E. J. DePeters, and J. G. Fadel. 2010. Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: Relation of milk urea nitrogen to ammonia emissions. *Journal of Dairy Science* 93(6):2377-2386.
- Burgos, S. A., J. G. Fadel, and E. J. DePeters. 2007. Prediction of Ammonia Emission from Dairy Cattle Manure Based on Milk Urea Nitrogen: Relation of Milk Urea Nitrogen to Urine Urea Nitrogen Excretion. *Journal of Dairy Science* 90(12):5499-5508.
- CDM. 2017. Advies beoordeling emissiereductie alternatieve mesttoedieningstechnieken. C. D. Meststoffenwet, ed.



- Ciszuk, P. and T. Gebregziabher. 1994. Milk Urea as an Estimate of Urine Nitrogen of Dairy Cows and Goats. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 44(2):87-95.
- Duinkerken, v. G. A., G.; Smits, M.C.J.; Monteny, G.J.; Blanken, K.; Wagemans, M.J.M.; Sebek, L.B.J./ . 2003. Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal. in *Praktijkrapport Rundvee*. Vol. 25.
- Edouard, N., A. Charpiot, P. Robin, E. Lorinquer, J. B. Dollé, and P. Faverdin. 2019. Influence of diet and manure management on ammonia and greenhouse gas emissions from dairy barns. *Animal* 13(12):2903-2912.
- Frank, B., M. Persson, and G. Gustafsson. 2002. Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livestock Production Science* 76(1):171-179.
- Frank, B. and C. Swensson. 2002. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows and milk yield, concentration of urea in milk and ammonia emissions. *Journal of Dairy Science* 85(7):1829-1838.
- Hoving, I. E., Holshof, G., Evers, A.G., De Haan, M.H.A. 2015. Ammoniakemissie en weidegang melkvee: verkenning weidegang als ammoniak reducerende maatregel. *Livestock Research Rapport* 856.
- Huis in 't Veld, J. W. H. S., M.C.J.; Monteny, G.J. 2003. Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien & Kansen-bedrijven. Vol. 17. A. S. Group, ed, Lelystad.
- James, T., D. Meyer, E. Esparza, E. J. Depeters, and H. Perez-Monti. 1999. Effects of dietary nitrogen manipulation on ammonia volatilization from manure from Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 82(11):2430-2439.
- James, T., Meyer, D., Esparza, E., Depeters, E.J., Perez-Monti, H. 1999. Effects of dietary nitrogen manipulation on ammonia volatilization from manure from holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 82(11):2430-2439.
- Kauffman, A. J. and N. R. St-Pierre. 2001. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *J Dairy Sci* 84(10):2284-2294.
- Kohn, R. A., K. F. Kalscheur, and E. Russek-Cohen. 2002. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J Dairy Sci* 85(1):227-233.
- Kröber, T. F., D. R. Külling, H. Menzi, F. Sutter, and M. Kreuzer. 2000. Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and nitrogen emission from slurry. *Journal of Dairy Science* 83(12):2941-2951.
- Külling, D. R., H. Menzi, T. F. Kröber, A. Neftel, F. Sutter, P. Lischer, and M. Kreuzer. 2001. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *The Journal of Agricultural Science* 137(2):235-250.
- Lavery, A. and C. P. Ferris. 2021. Proxy Measures and Novel Strategies for Estimating Nitrogen Utilisation Efficiency in Dairy Cattle. *Animals (Basel)* 11(2).
- Liu, Z., W. Powers, B. Oldick, J. Davidson, and D. Meyer. 2012. Gas emissions from dairy cows fed typical diets of Midwest, South, and West regions of the United States. *Journal of Environmental Quality* 41(4):1228-1237.
- Müller, C. B. M., S. Görs, M. Derno, A. Tuchscherer, K. Wimmers, A. Zeyner, and B. Kuhla. 2021. Differences between Holstein dairy cows in renal clearance rate of urea affect milk urea concentration and the relationship between milk urea and urinary nitrogen excretion. *Science of The Total Environment* 755:143198.
- Nousiainen, J., K. J. Shingfield, and P. Huhtanen. 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *Journal of Dairy Science* 87(2):386-398.
- Ogink, N. W. M., Groenestein, C.M., Mosquera, J. 2014. Update of ammonia emission factors for cattle categories: advisory report for amendments in regulations on ammonia and livestock. *Wageningen UR Livestock Research* 744.



- Paul, J. W., Dinn, N.E., Kannangara, T., Fisher, L.J. 1998. Protein content in dairy cattle diets affects ammonia losses and fertilizer nitrogen value. *Journal of Environmental Quality* 27(3):528-534.
- Powell, J. M., C. A. Rotz, and M. A. Wattiaux. 2014. Potential use of milk urea nitrogen to abate atmospheric nitrogen emissions from wisconsin dairy farms. *Journal of Environmental Quality* 43(4):1169-1175.
- Sajeev, E. P. M., B. Amon, C. Ammon, W. Zollitsch, W. Winiwarter, and SpringerLink. 2017. Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. *Nutrient cycling in agroecosystems*. doi:10.1007/s10705-017-9893-3.
- Sebek, L. R., v., L.; Jong, d. G.;. 2007. De fokwaarde voor melkureum als maat voor de efficiëntie van de eiwitbenutting door melkkoeien. Vol. 81. A. S. Group, ed.
- Smits, M. C. J. H. i. t. V., J.W.H. 2006. Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven en De Marke; resultaten van diverse, korte meetsessies. in *Koeien & Kansen*. A. S. Group, ed, Wageningen.
- Spek, J. W., A. Bannink, G. Gort, W. H. Hendriks, and J. Dijkstra. 2013a. Interaction between dietary content of protein and sodium chloride on milk urea concentration, urinary urea excretion, renal recycling of urea, and urea transfer to the gastrointestinal tract in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96(9):5734-5745.
- Spek, J. W., J. Dijkstra, G. Duinkerken, and A. Bannink. 2013b. A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *The Journal of Agricultural Science* 151:407-423.
- Spek, J. W. D., J.; Van Duinkerken, G.; Bannink, A. 2012. A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *The Journal of Agricultural Science* 151(3):407-423.
- Swensson, C. 2003. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livestock Production Science* 84(2):125-133.
- van Duinkerken, G., M. C. Smits, G. André, L. B. Sebek, and J. Dijkstra. 2011. Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *J Dairy Sci* 94(1):321-335.