



DE EMISSIEARME BEDRIJFSVOERING

Een praktische en onderbouwde aanpak om ammoniakemissie te
reduceren op grondgebonden melkveebedrijven



Dr. Yvonne Verbeek-Schilder, ir. Frank Verhoeven

Dit onderzoek is geïnitieerd door Netwerk GRONDig en uitgevoerd binnen een samenwerkingsproject van Wageningen UR, Universiteit Leiden en Boerenverstand. Het is gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Universiteit
Leiden



Commentaren zijn verwerkt van: Dr. Bram Bos, Prof. Dr. Jan-Willem Erisman, Dr. Ir. Léon Šebek en Ir. Frits van der Schans. Daarnaast is de review van de Commissie Deskundigen Meststoffen in dit rapport verwerkt. Het gehele rapport en meer achtergronden zijn te vinden op: **boerenverstand.nl/stikstofaanpak**

Uitgebracht door:

BV Boerenverstand
Bemuurde Weerd OZ 12
3514 AN Utrecht
info@boerenverstand.nl
www.boerenverstand.nl

Auteurs: Dr. Yvonne Verbeek-Schilder
Ir. Frank Verhoeven

Contactpersoon: Yvonne Verbeek-Schilder
06-46852479
yvonne@boerenverstand.nl

Datum: Mei 2025

SAMENVATTING



Ammoniakemissies op grondgebonden melkveebedrijven zijn voor ongeveer de helft afkomstig vanuit de stal en mestopslag, en voor de andere helft vanuit het aanwenden van de mest op het veld. Zodra ureum in urine van de koe in contact komt met het enzym urease, ontstaat ammoniak. Urease zit in de feces van de koe en is altijd wel ergens op een stalvloer aanwezig. Alle urine-ureum kan uiteindelijk omgezet worden tot ammoniak.

Koeien die een stikstofarm rantsoen gevoerd krijgen, produceren minder urine-ureum. Tijdens de weidegang blijven mest en urine gescheiden en hoeft de mest niet in de stal opgevangen en opgeslagen te worden en vervolgens niet te worden uitgereden. Bovendien wordt het ureum in de bodem opgenomen. Met goed management kan de melkveehouder sturen op fors minder emissies. Er zijn geen technische aanpassingen nodig en het levert in de regel ook nog kostenbesparingen op.

Op basis van deze uitgangspunten en na een uitvoerige literatuurstudie en metingen aan mest en urine zijn we tot een werkbare en onderbouwde aanpak gekomen voor emissiereductie op grondgebonden melkveebedrijven. Wanneer een melkveehouder 40 kg NH_3 /ha per jaar of minder totale ammoniakemissie heeft, reduceert deze 30% ten opzichte van het huidige Nederlandse gemiddelde (52 - 55 kg NH_3 /ha). Een dergelijke generieke reductie zou voldoende moeten zijn om in het overgrote deel van Nederland de stikstofdepositie-doelen te behalen. Er blijven dan alleen opgaves over rondom de Veluwe, de Peel en in delen van Overijssel en Drenthe. Daar zijn dan nog altijd te veel stalemissies te dicht bij kwetsbare natuur. De KringloopWijzer (KLW) kan nauwkeurig ammoniakemissies voor elk melkveebedrijf uitrekenen maar geeft pas na ruim een jaar uitsluitsel over het management in het voorgaande jaar en dat maakt bijsturen lastig. Ook is meermalen de borging en handhaving van de KLW ter discussie gesteld. Reden om te zoeken naar een gedifferentieerd forfaitair systeem. Het tankmelkureum, het aantal uren weidegang/jaar en de intensiteit van het bedrijf vertaald in het aantal gve/ha bleken daarvoor het meest geschikt. Op basis daarvan zijn we tot tabellen gekomen voor de stal- en voor de veldemissies. De benodigde data is voor elk bedrijf voorhanden waardoor implementatie eenvoudig zou moeten zijn. De data over melkureum komt iedere drie dagen beschikbaar en ook de weidegang is dagelijks duidelijk. Dit geeft veel mogelijkheden voor de melkveehouder om continu bij te sturen.

Tankmelkureum (mg/dL)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Weidegang (uren)	Ammoniakemissie vanuit de STAL (kg NH ₃ /gve/jaar)										
0	5,9	6,7	7,4	8,3	9,1	9,9	10,7	11,4	12,2	13,0	13,8
720	5,6	6,4	7,0	7,8	8,6	9,4	10,1	10,8	11,6	12,3	13,0
1440	5,3	6,0	6,6	7,4	8,1	8,8	9,6	10,2	10,9	11,7	12,3
2160	5,0	5,7	6,3	7,0	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3	11,0	11,6
2880	4,7	5,3	5,9	6,5	7,2	7,8	8,5	9,1	9,7	10,3	10,9
3600	4,4	5,0	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,5	9,0	9,6	10,2
4320	4,1	4,6	5,1	5,7	6,2	6,8	7,4	7,9	8,4	9,0	9,5
5040	3,8	4,3	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3	8,8

Tabel 1. Ammoniakemissie vanuit de stal per gve bij combinaties van weidegang en tankmelkureum (uitgedrukt in kg NH₃/gve).

WEIDEN VAN JONGVEE	0 - 1 jaar	1 - 2 jaar	RAV gemiddelde (jongvee 0-2 jaar)
Weidegang (maanden)	Ammoniakemissie vanuit de STAL (kg NH ₃ /dier/jaar)		
geen weidegang	3,3	6,5	4,4
1	3,1	6,2	4,2
2	2,9	5,8	3,9
3	2,8	5,5	3,7
4	2,6	5,2	3,5
5	2,4	4,8	3,3
6	2,3	4,5	3,0
7	2,1	4,2	2,8
8	1,9	3,8	2,6

Tabel 2. Ammoniakemissie bij verschillende mate van weidegang (uitgedrukt in kg NH₃/dier).

Bemesting totaal (kg N/ha)	0	50	100	150	170	230	250
Bemesting totaal (kg TAN/ha)	0	22,5	45	67,5	76,5	103,5	112,5
Ammoniakemissie vanuit het VELD (kg NH ₃ /ha/jaar)							
Emissiearm (EF 17%)	0	5	9	14	16	21	23
Bovengronds (EF 74%)	0	20	40	61	69		
Bovengronds (EF 35%)	0	10	19	29	33		

Tabel 3. Ammoniakemissie uit dierlijke mest vanuit het veld per hectare bij combinaties van hoeveelheid en aanwendingstechniek, bij een forfaitair TAN-gehalte van 49% EF - emissiefactor.

- De ammoniakemissie vanuit de stal met melkkoeien wordt bepaald en vermenigvuldigd met het aantal melkkoeien;
- De ammoniakemissie van het jongvee wordt bepaald en vermenigvuldigd met de aantallen jongvee;
- Beide worden opgeteld en gedeeld door het aantal ha's voor dat jaar in gebruik.
- De ammoniakemissie vanuit het uitrijden van de dierlijke mest wordt bepaald (veldemissie);
- De stalemissie/ha en de veldemissie/ha worden opgeteld om de totale ammoniakemissie per hectare te bepalen.

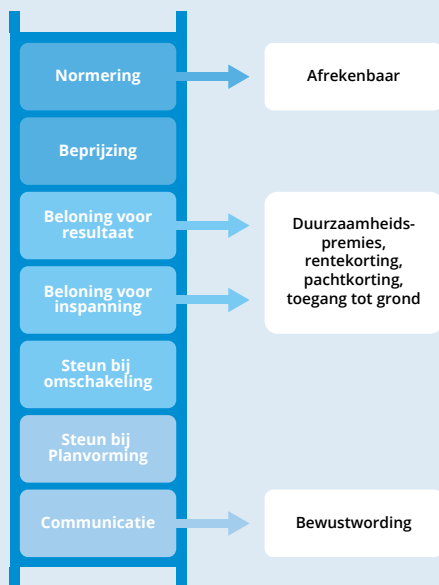
We zien de volgende toepassingen van deze maatregelpakketten:

- Elke **melkveehouder** in Nederland kan aan de slag met de achterliggende boodschap, namelijk: minder gve/ha (extensiveren, en daarbij geen mest aanvoeren), meer weidegang (mest en urine blijven uit elkaar en de mest hoeft niet opgeslagen en uitgereden te worden) en minder ureum in de melk (wat er niet in zit, komt er ook niet uit). De streefwaarde voor grondgebonden melkveehouders is gelijk of minder dan 40 kg NH₃/ha.
- Binnen het **NPLG** kan elke **provincie** zowel de streefwaarde als de onderliggende tabellen gebruiken voor communicatie en stimulering (beloningsregelingen).
- Voor de **PAS-melders** zouden deze tabellen mogelijk gebruikt kunnen worden om het aantal dieren te vergunnen dat is aangegeven in een PAS-melding. Zo wil de provincie Overijssel de tabel ureum-weidegang eenmalig toepassen door af te zien van handhaving.
- De **stikstofuitstoot van de bedrijven** kan dan worden bevestigd door gebruik van de KLV of een MINAS systeem. De **stikstofuitstoot van Nederland als geheel** wordt gerapporteerd middels NEMA. De stikstofuitstoot op bedrijfsniveau kan wellicht een afwijking hebben t.o.v. de in de tabellen genoemde waarde, echter, als alle melkveebedrijven hun tankmelkureum verder verlagen en hun weidegang verder verhogen, zal dit in de jaarlijkse NEMA-rapportage terug te zien zijn.

- De tabellen zouden ook gebruikt kunnen worden voor de vrijstellingsregeling van het **bovengronds uitrijden** indien de totale emissie met de maatregelen toch laag blijft, bijvoorbeeld onder de 40 kg NH₃/ha.
- Toepassing door de **zuivelfabrieken**, die extra kunnen gaan belonen voor meer weidegang en een lager ureum.

Tot slot

Tot slot kunnen onze resultaten direct gebruikt worden voor de communicatie, steun bij planvorming en belonen voor resultaat. Het stikstofdossier in de landbouw ligt op dit moment onder een vergrootglas. We benadrukken daarom dat als onze resultaten gebruikt worden in het kader van normeren en bepreisen, steeds gezocht moet worden naar een zo breed mogelijke consensus onder wetenschappers en beleidsmakers.



Figuur 1. Doorn ladder met verschillende niveaus van interventie.

INHOUDSOPGAVE

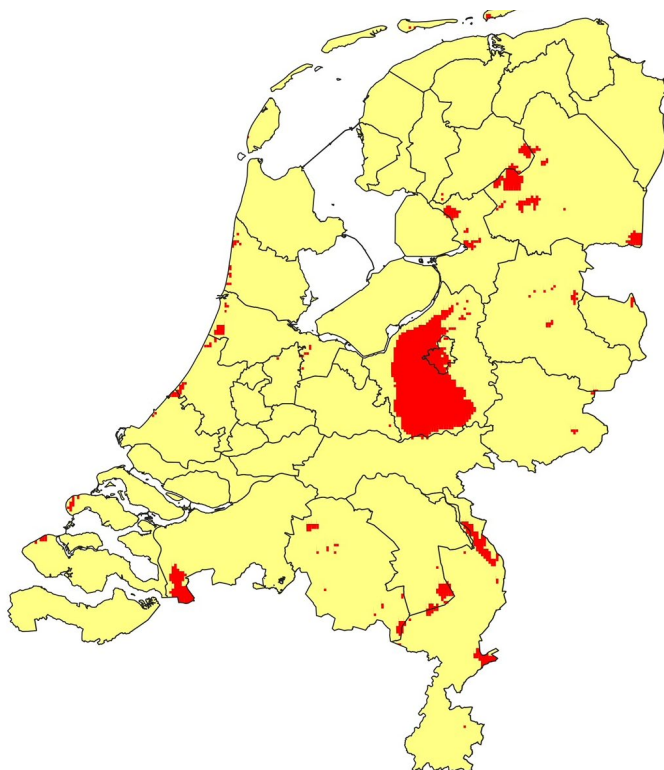


Samenvatting	4
Ammoniakemissie melkveehouderij	12
Emissiearme bedrijfsvoering	15
Ontstaan van ammoniak	16
Managementmaatregelen om de ammoniakemissie geborgd te reduceren	17
Werkbare en wetenschappelijk onderbouwde maatregelpakketten	18
Reductie eiwitgehalte voer	18
Minder mest aanwenden door extensieve bedrijfsvoering	20
Uitrijden bij regenachtig weer	22
Beweiding	22
Behandeling van de mest	24
Koeling	24
Toevoegmiddelen	25
Emissiearme stalvloeren	26
Luchtwassers/stikstofkrakers	26
Ammoniak in de bodem	26
Veedichtheid	27

Controleerbaarheid/ aantoonbaarheid van de managementmaatregelen	28
Reductie eiwitgehalte in het voer	28
Minder mestaanwenden en veedichtheid/ ha	30
Uitrijden bij regen	30
Beweiding	30
Mestbehandeling	31
Stalsystemen	31
Bodem	31
Managementmaatregelen om ammoniakemissie geborgd te reduceren	32
Expert opinion	33
Afwentelingseffecten op andere thema's	33
Maatregelenpakket	35
Berekenen van de totale ammoniakemissie	37
Bedrijfseconomie	38
Conclusie	39
Referenties	42

Ammoniakemissie melkveehouderij

Van de totale ammoniakemissie in Nederland is ongeveer 45% afkomstig van de melkveehouderij [1] [Emissieregistratie.nl]. Als de ammoniakemissies uit de landbouw met 30% dalen, kan de overschrijding van de KDW in 74% van de Natura-2000 gebieden terug worden gebracht naar 0 [2]. Daarvoor moet in specifieke gebieden de ammoniakemissie meer dan 30% worden gereduceerd. De hoeveelheid die moet worden gereduceerd en de grootte van die specifieke gebieden hangt samen: hoe meer generieke reductie, hoe kleiner de specifieke gebieden (Figuur 2).



Figuur 2. De generieke reductie over heel Nederland is 30% maar de specifieke reductie is 66% in de rode gebieden. Berekend met de methode beschreven in [1].

De huidige ammoniakemissie volgens Agrimatie en WUR [3] per grootvee eenheid (gve) per jaar gemiddeld over drie jaren is weergegeven in Tabel 4. Een melkkoe is 1 gve na de eerste keer kalven. Een kalf van 0 – 1 jaar is 0,25 gve, een kalf/ pink van 1 – 2 jaar is 0,5 gve [4].

	Agrimatie (2018 – 2020)	WUR [3] (2019 – 2021)
Stalemissie (kg NH ₃ /gve/jaar)	11,8	10,7
Veldemissie uit beweiding en mesttoediening (kg NH ₃ /ha/jaar)	27,3	27,7
gve/ha	2,2	2,2
Totale ammoniakemissie (uit stal, beweiding en mesttoediening) (kg NH ₃ /ha/jaar)	53,3	51,2

Tabel 4. Stal-, veld- en totale ammoniakemissie per koe en per ha per jaar van 2018 - 2020 volgens Agrimatie en van 2019 – 2021 volgens [3].

Een generieke reductie van 30% betekent dus een streefgetal van 36 - 40 kg ammoniak/ha/jaar.



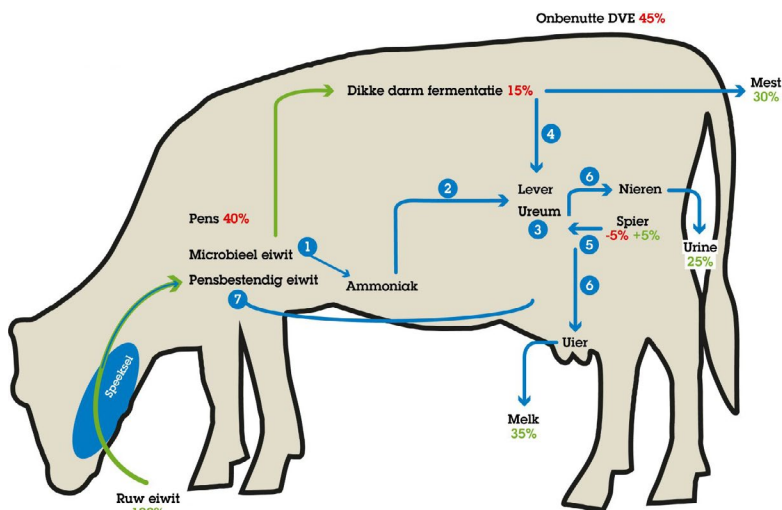
De Regeling Ammoniak en Veehouderij (RAV)-code voor A1.100 stallen (ligboxenstal met roostervloer) is vastgesteld op 13 kg NH_3 /gve/jaar. In de wetenschappelijke literatuur worden waarden vermeld van 8,6 – 19,2 kg NH_3 /gve/jaar [5], 1,8 – 111,0 kg NH_3 /koe/jaar (mediaan 13,0 NH_3 /koe/jaar) in een meta-analyse van 25 studies [6] en 8,6 – 17,5 kg NH_3 /gve/jaar [7]. De spreiding op de gemeten waarden is dus groot. De waarde van 111 kg NH_3 /koe/jaar is gemeten op een ‘flush floor’ in de zomer in New Mexico, en is niet representatief voor de Nederlandse situatie. De RAV-waarde kon tot 2024 in de vergunningverlening verlaagd worden met 5% bij 720 uur of meer weidegang/koe/jaar, en met 10% bij een jaarrond melkureumgetal van 19 mg/dL [8] maar dit is niet meegenomen in de nieuwe Omgevingswet.

EMISSIEARME BEDRIJFSVOERING



Ontstaan van ammoniak

Als er te veel eiwit in de pens van de koe komt t.o.v. de hoeveelheid energie, kan dit niet allemaal benut worden, en wordt dit eiwit door de pensbacteriën omgezet in ammoniak. Deze ammoniak wordt door de penswand opgenomen in het bloed en vervolgens door de lever omgezet in het voor het dier onschadelijke ureum. Het melk- en urine-ureumgehalte weerspiegelen de bloed-ureumconcentratie (Figuur 3). Het ureum aanwezig in de urine wordt omgezet in ammoniak als het in contact komt met het enzym urease dat wordt geproduceerd door bacteriën in de mest. De snelheid van deze omzetting is heel hoog. Hoe meer ureum in de urine, hoe meer ammoniak er wordt gevormd. Eén kg ureum levert zo maximaal 0,57 kg ammoniak op. Naast ureum kunnen urinezuur, aminozuren of onverteerde eiwitten en organische stof uit de feces in de mestkelder worden omgezet in ammoniak [7, 9].



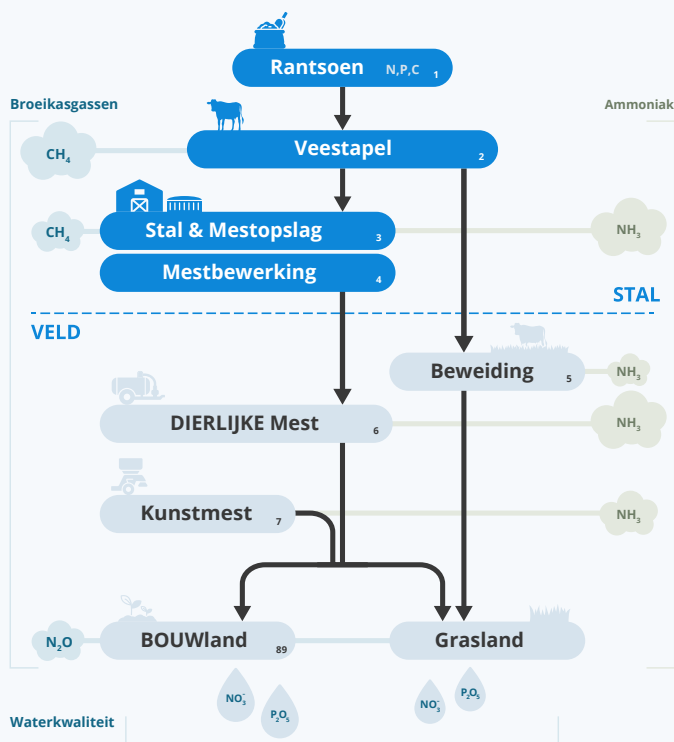
Figuur 3. Vereenvoudigd schema van productie, transport en uitscheiding van ammoniak en ureum in de koe [10].

Managementmaatregelen om de ammoniakemissie geborgd te reduceren

In dit project is onderzocht welke managementmaatregelen geborgd ammoniakemissie kunnen reduceren. Onder managementmaatregelen verstaan we maatregelen die in principe niet technisch van aard zijn, zoals emissiearme stalvloeren en luchtwassers.

De definitie van borging is tweeledig:

1. Wetenschappelijk onderbouwd (d.w.z. de maatregel doet wat hij belooft)
2. Controleerbaar/ aantoonbaar in de praktijk (d.w.z. de boer doet wat hij belooft)



Figuur 4. Emissie van stikstof, methaan en lachgas en uitspoeling van nitraat en fosfaat op een melkveebedrijf schematisch weergegeven.

Werkbare en wetenschappelijk onderbouwde maatregelpakketten

Middels interviews van 30 boeren uit het netwerk GRONDig is een inventarisatie gemaakt van managementmaatregelen die vanuit de praktijk kansrijk worden geacht in het reduceren van ammoniakemissie. Van deze managementmaatregelen is onderzocht in hoeverre ze wetenschappelijk onderbouwd ammoniakemissie reduceren, en haalbaar zijn in de praktijk.

1. Reductie eiwitgehalte voeding
2. Minder mest aanwenden
3. Uitrijden bij regen
4. Beweiding
5. Mestbehandeling
6. Stalsystemen
7. Vastleggen ammoniak in de bodem
8. Veedichtheid

Reductie eiwitgehalte voer

Hoe hoger de stikstof inname en dus het percentage ruw eiwit (%RE) in het voer per koe, hoe hoger de ammoniakemissie per koe [6, 11-24]. Vermindering van het %RE in het rantsoen is dus één van de meest effectieve strategieën om totale stikstofexcretie en ammoniakemissie uit mest te verminderen [25] en kan de impact op de omgeving sterk beperken [26]. Hoe hoger de stikstofinname, hoe hoger de stikstofexcretie met de urine in de vorm van ureum [27, 28].

Voor de grootte van dit effect zijn verschillende getallen gepubliceerd [16, 17, 19-21, 23, 24, 29, 30]. Volgens twee meta-analyses levert 1% (10 g/kg ds) RE minder in het rantsoen 17,3% minder stalemissie [6, 22]. In totaal zijn er 25+8 studies gebruikt in de meta-analyses, waarbij er geen studies in beide meta-analyses gebruikt zijn. Vier andere studies die niet zijn meegenomen in de meta-analyses laten vergelijkbare percentages zien. Dit is samengevat in Tabel 5. Meta-analyses zijn veel waardevoller dan afzonderlijke studies, omdat ze een groot aantal studies samenvatten.

Omdat drie van de vier studies die niet zijn geïncludeerd in de meta-analyses lagere percentages laten zien dan [6, 22] is besloten het vermeende effect van vermindering van %RE op ammoniakemissie op het laagste percentage te zetten dat in de twee meta-analyses wordt gesteld.

Referentie	Ammoniakemissiereductie/1% RE
Meta-analyse Sajeev [22]	17%
Meta-analyse Bougouin [6]	17,6%
[17]	17,6%
[31]	13,6%
[23]	11%
Müller 2021 [24]	19%

Tabel 5. Effect van 1% RE reductie in het rantsoen op ammoniakemissie.

De verhouding eiwit t.o.v. energie is belangrijk om het eiwit optimaal te kunnen benutten. De omzetting van stikstof uit het voer naar stikstof in melk en vlees verloopt efficiënter naarmate het voer minder stikstof bevat [32, 33].

Eiwitgehaltes in het rantsoen zijn teruggebracht tot 13,5% RE zonder dat dit gevolgen had voor de gezondheid, waarbij de koeien een goede productie en goede gehalten vet en eiwit hadden [12, 24, 34]. Volgens [35] werd er geen verschil in melkproductie gemeten bij koeien die 15% of 18,75% RE gevoerd kregen, maar anderen zagen een correlatie van het eiwitgehalte in het voer met de melkproductie [36] of alleen in de eerste helft van de lactatie [37]. Wat het optimale %RE is voor productie, zal de individuele veehouder moeten bepalen. Eiwit is de duurste component uit het rantsoen, en een afweging m.b.t. kosten/ baten moet door de veehouder gemaakt worden.

Minder mest aanwenden door extensieve bedrijfsvoering en geen mest aanvoeren

Minder mest uitrijden zorgt voor minder veldemissies, maar minder bemesten met dierlijke of kunstmest [38] kan ook het eiwitgehalte in het ruwvoer beïnvloeden. Bij het uitrijden van mest komt ammoniak vrij. De gebruikte techniek bepaalt de mate van ammoniakemissie. De emissiefactoren in percentage van het totaal ammoniakaal stikstof (TAN) volgens verschillende bronnen [39-42] zijn weergegeven in Tabel 6. De percentages van CDM [39] en Van Bruggen [40] zijn gebaseerd op grotendeels dezelfde publicaties. De percentages van Van Bruggen zijn de geactualiseerde factoren van CDM. Deze getallen worden gebruikt in het beleid.

Vooraf bij bovengronds uitrijden kan de emissie behoorlijk beperkt worden, door bijvoorbeeld rekening te houden met het weer of inregelen met slootwater [41, 42]. Hiermee wordt een behoorlijke variatie op de emissie bij bovengronds uitrijden geïntroduceerd. Het aanwenden van mest met emissiearme technieken is sinds begin jaren '90 verplicht, maar er kan ontheffing worden aangevraagd om bovengronds uit te rijden.

	CDM 2017	Van Bruggen 2023	Mosquera 2005	Sonneveld 2009
Zodenbemester	19%	17%		19%
Sleufrouter	22,5%	17%		
Sleepvoet	26% onverdund	17% verdund	17,6% onverdund	
Bovengronds	74%	68%		
'Verbeterd bovengronds'			25 – 35%	35 – 37%

Tabel 6. Tabel 2. Emissiepercentages van de TAN naar manier van uitrijden van dierlijke mest volgens CDM [34] en Van Bruggen [35], Mosquera [36] en Sonneveld [37].

Gerekend met de emissiepercentages die de CDM in 2024 hanteert, is de veldemissie bij verschillende hoeveelheden stikstof bemesting per ha weergegeven in Tabel 7, bij een gemiddeld TAN-gehalte van 49%.

Bemesting totaal (kg N/ha)	0	50	100	150	170	230	250
Bemesting totaal (kg TAN/ha)	0	22,5	45	67,5	76,5	103,5	112,5
Ammoniakemissie vanuit het VELD (kg NH3/ha/jaar)							
Emissiearm (EF 17%)	0	5	9	14	16	21	23
Bovengronds (EF 74%)	0	20	40	61	69		
Bovengronds (EF 35%)	0	10	19	29	33		

Tabel 7. Ammoniakemissie bij uitrijden van dierlijke mest per hectare bij combinaties van hoeveelheid en aanwendingstechniek, bij een gemiddeld TAN-gehalte van 49%.

De afschaffing van de derogatie heeft geen consequenties voor de stikstofgebruiksruimte, behalve in NV-gebieden. Dat betekent dat er meer kunstmest gestrooid mag worden, als er geen gebruik meer mag worden gemaakt van derogatie. De ammoniakemissiefactoren uit kunstmest zijn gegeven in Tabel 8 [40]. In dit rapport wordt geen rekening gehouden met de ammoniakemissie van kunstmest, door de verschillen in emissiepercentages en de verschillen in gebruikte hoeveelheden.

	Ammoniakemissie- percentage van N (%)
Kalkammonsalpeter	2,5
Ammoniumnitraat	5,2
Ammoniumsulfaat	11,3
Ureum, korrelvormig	14,3

Tabel 8. Ammoniakemissiepercentages van stikstof uit kunstmest.

Uitrijden bij regenachtig weer

Ammoniakemissie is lager als er wordt uitgereden bij lagere windsnelheden [43], lage temperatuur ($<25^{\circ}\text{C}$), tijdens bewolkt weer met hoge luchtvochtigheid of bij neerslag [44, 45], als de mest wordt verdund met water [46], voor of tijdens dauw [47], of als er direct na bemesten water over de mest wordt gespreid bijvoorbeeld met een bemester als de Green Duo [46, 48].

De veldemissie kan o.a. worden gemodelleerd met het ALFAM-2 (Ammonia from Field Applied Animal Manures) model. Dit model is gebaseerd op 1.800 plots en 30.000 metingen maar lijkt vooral goed voorspellend te zijn voor gebruik van de sleepslang. Volgens dit model en volgens [43, 49, 50] kan de emissie bij uitrijden sterk worden verminderd, tot nihil bij 7 mm regen. De vraag is of uitrijden bij 7 mm regen haalbaar is, vooral op kleigrond.

Beweyding

Weidegang leidt tot minder ammoniakemissie door drie mechanismen:

1. Scheiden van mest en urine
2. Minder opslag van mest
3. Minder uitrijden van mest

Doordat de bacteriën uit de mest, en dus het enzym urease, niet bij de urine komen, wordt er veel minder ammoniak gevormd bij weidegang. Er zit ook urease in de bodem, maar in de bodem heeft urease een veel lagere activiteit dan in de mestkelder [51-53]. De urine kan de bodem in zakken waar het ureum wordt omgezet in ammoniak en nitraat in de bodem, waarna deze stoffen door de plant worden opgenomen.

Door weidegang neemt de ammoniakemissie af met $2,8 - 7,2 - 9,2\%$ / 1000 uur weidegang van de melkkoeien [54-56]. De RAV-systematiek gaat uit van 5% ammoniakemissiereductie bij 720 uur weidegang/koe/jaar. Dit komt overeen met 6,94% ammoniakemissiereductie / 1000 uur weidegang/koe/jaar [8].

Aangezien ammoniakemissie volgens een recente publicatie niet betrouwbaar gemeten kan worden in open melkveestallen met weidegang [57] is een andere manier om het effect te bepalen de volgende:

Een koe urineert gemiddeld 12 keer per dag [58], dus gemiddeld 1x per 2 uur. Er is bij urine die in de weide valt ook sprake van ammoniakemissie maar deze is 92% lager dan bij urineren in de stal [59]. Voor iedere 2 uur weidegang neemt de ammoniakemissie dus af met $92\% \cdot \frac{1}{12} = 7,7\%$. Iedere dag 2 uur weidegang is theoretisch 730 uur weidegang per jaar. De ammoniakemissiereductie is dan dus 7,7% per 730 uur weidegang of 10,5% per 1000 uur weidegang.

We hebben gekozen om te rekenen met ammoniakemissiereductie van 7,2% per 1000 uur [54] omdat dit getal is gebaseerd op een veldmeetdataset in A1.100 stallen. Bovendien komt dit getal overeen met het gemiddelde van de literatuurwaardes en berekende waarde en wordt dit getal gebruikt voor de NEMA-rapportages [60]. Het lijkt er wel op dat de nitraatuitspoeling en lachgasemissie bij weidegang hoger kan zijn [61].

Het weiden van jongvee heeft een aanvullend effect op de ammoniakemissiereductie. Als het jongvee geweid wordt, gaat het dag en nacht naar buiten, maar over het algemeen blijven de kalveren tot 5 á 6 maanden binnen. Volgens de RAV-code is de ammoniakemissie van jongvee (0 - 2 jarigen) 4,4 kg NH₃/dier. Een 0 - 1 jarige is 0,25 gve, en dus is de ammoniakemissie van een 0 - 1 jarig dier volgens de RAV-systematiek $0,25 \cdot$ de emissie van een volwassen dier (1 gve); 3,3 kg NH₃/dier. Een 1 - 2 jarige is 0,5 gve, en dus is de ammoniakemissie van een 1 - 2 jarig dier de helft van de emissie van een volwassen dier (1 gve); 6,5 kg NH₃/dier. Aangezien de gemiddelde ammoniakemissie van jongvee (0 - 2 jarigen) 4,4 kg NH₃/dier is, wordt er dus vanuit gegaan dat 65% van het jongvee 0 - 1 jarigen zijn en 35% 1 - 2 jarigen.

De ammoniakemissie door het weiden van jongvee staat aangegeven in Tabel 9. Bij het bepalen van de totale weidetijd moet rekening gehouden worden met het aantal kalveren jonger dan 5 maanden die niet naar buiten gaan.

WEIDEN VAN JONGVEE	0 - 1 jaar	1 - 2 jaar	RAV gemiddelde (jongvee 0-2 jaar)
Weidegang (maanden)	Ammoniakemissie vanuit de STAL (kg NH ₃ /dier/jaar)		
geen weidegang	3,3	6,5	4,4
1	3,1	6,2	4,2
2	2,9	5,8	3,9
3	2,8	5,5	3,7
4	2,6	5,2	3,5
5	2,4	4,8	3,3
6	2,3	4,5	3,0
7	2,1	4,2	2,8
8	1,9	3,8	2,6

Tabel 9. Ammoniakemissie a.g.v. weidegang jongvee in kg NH₃/dier/jaar.

Het grootste deel van de ammoniakemissie per bedrijf is echter afkomstig van de melkkoeien en daar is dus ook de grootste reductie te behalen.

Behandeling van de mest

Ammoniakemissie is afhankelijk van het TAN-gehalte, de pH en de temperatuur van de mest [9]. Interventies op deze factoren zorgen dus voor minder ammoniakemissie. Er zijn meerdere opties voor mestbehandeling, zoals:

Koeling

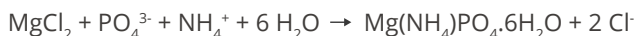
Een verhoging van de temperatuur van de mest met 1°C leidt tot een ammoniakemissieverhoging van 2,7% [5] tot 3,9% [6]. De ammoniakemissie vanuit de stal lijkt gelijke tred te houden met de gemiddelde temperatuur in Nederland [62, 63]. Ammoniakemissie kan dus worden verminderd door een kelderkoelsysteem te installeren en door te zorgen dat de mestkelders tijdens de warmste maanden juli en augustus zo leeg mogelijk zijn.

Toevoegmiddelen

Ammonia (NH_4^+) en ammoniak (NH_3) zijn met elkaar in evenwicht in de mestkelder. Bij een lage pH is een groter gedeelte in de vorm van ammonia. Ammonia kan niet vervluchtigen, ammoniak wel. **Aanzuren** leidt tot wel 70% minder ammoniakemissie tijdens opslag [45, 64] maar na aanzuren gaat de pH toch weer omhoog en het aanzuren moet dus regelmatig worden herhaald. Deze pH-verhoging kan het gevolg zijn van microbiële activiteit en hydrolyse van vluchtige vetzuren, de mineralisatie van organische stikstof, de omzetting van ureum in ammoniak, en oplossing van carbonaten [65]. Hoe hoger het %RE, hoe hoger de pH van de mest [17].

Toevoegen van specifieke **bacteriën of bacteriesubstraten** aan de mest zou de pH kunnen verlagen, maar de gemiddelde temperatuur in de put is voor bacteriegroei en -activiteit relatief laag (11°C gemiddeld over het jaar). Bacteriën moeten zeer regelmatig worden toegediend en substraat moet in relatief grote hoeveelheid worden toegevoegd [66].

Magnesiumchloride (MgCl_2) kan worden toegevoegd om ammoniak te binden. In de mest kan de ammonia met magnesiumchloride reageren tot struviet volgens de vergelijking:



Per jaar produceert een koe 45 – 90 kg urine-ureum. Dit kan worden omgezet door urease in 25 – 50 kg ammoniak. Dit is 1.500 – 3.000 mol ammoniak. Hiervoor is volgens voorgaande reactievergelijking 1.500 – 3.000 mol MgCl_2 nodig. Dat betekent dat er 143 – 286 kg zuivere MgCl_2 , of 450 - 900 kg magnesiumchloride (32%) per koe per jaar toegevoegd moet worden. Daarbij wordt tevens ruim 210 kg chloride per koe per jaar in de mest gevormd die uiteindelijk ook uitgereden wordt. Dit is alleen om de ammoniak die ontstaat uit het urine-ureum te binden.

Ammonia kan in de bodem worden omgezet naar nitriet en nitraat. **Nitrificatieremmers** remmen dit en daarom worden ze toegevoegd aan de mest voor uitrijden. Ammonia spoelt minder snel uit dan nitriet en nitraat [67].

Emissiearme stalvloeren

Verschillende stalsystemen hebben verschillende emissiefactoren met bijbehorende RAV-codes. Er is echter twijfel of de RAV-code van stallen met emissiearme vloeren wel overeenkomt met de daadwerkelijke emissie [68]. Gemeten emissies komen vaak niet overeen met de emissiefactor voor een bepaald huisvestingssysteem [69] of er worden geen verschillen gemeten tussen emissiearme vloeren en traditionele vloeren [6, 62, 63, 70, 71]. Ureum van urine die op de vloer blijft liggen kan binnen twee uur door urease worden omgezet in ammoniak [72, 73] maar de activiteit van urease is onder de 5 – 10°C laag [9] en bij lage temperaturen gaat dit proces dus langzamer.

Luchtwassers/stikstofkrakers

Daarnaast zijn er nog mogelijkheden om ammonia en ammoniak af te vangen uit de mest of de lucht boven de mest, met de Gazoo van JOZ of LelySphere van Lely. Aangezien stalsystemen niet onder de managementmaatregelen vallen maar onder de technische aanpassingen, gaan we hier verder niet op deze systemen in.

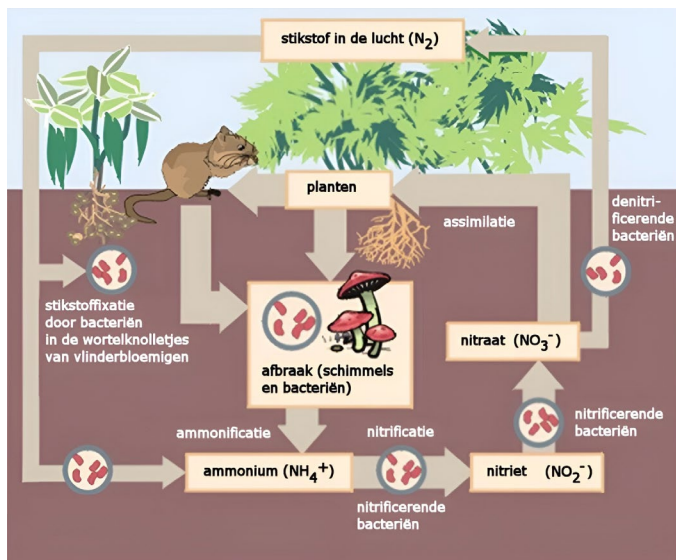
Bovendien is het effect van het reduceren van de input van stikstof in het rantsoen op de stikstofefficiëntie van een bedrijf zeven keer groter dan het proberen om het stikstofverlies bij mestopslag te verkleinen [74]. Verkleinen van stikstofverliezen bij mestopslag kosten geld, terwijl verlaging van stikstof in het rantsoen vaak kosteneffectief is [28].

Ammoniak in de bodem

De bodem is in staat stikstof vast te leggen. De micro-organismen in de wortelknolletjes van vlinderbloemigen binden inert stikstofgas (N_2) uit de lucht tot ammonia (NH_4^+). Ammonia kan weer omgezet worden door nitrificerende bacteriën tot nitriet (NO_2^-) en nitraat (NO_3^-). Nitraat wordt door de planten opgenomen, door denitrificerende bacteriën omgezet in N_2 (Figuur 5) of spoelt uit naar het grondwater. De lucht in onze atmosfeer bestaat voor 78% uit N_2 .

Het binden van stikstof uit de lucht is dus niet het binden van ammoniak uit de lucht, maar van inert stikstofgas, N_2 , en dit zorgt dus niet voor vermindering van de ammoniakemissie. Wel kan het een goed alternatief zijn voor het gebruik van stikstof-kunstmest. De productie van kunstmest vindt plaats door stikstofgas (N_2) uit de lucht te binden met methaan uit aardgas. Wanneer bijvoorbeeld compost gebruikt wordt,

zorgt dit voor een verhoging van het aantal denitrificerende bacteriën in de bodem, wat zorgt dat nitraat uiteindelijk wordt omgezet in N_2 [76].



Figuur 5. Stikstofkringloop in de bodem [75] (Hemke, 2022).

Veedichtheid

Als de totale stalemissie wordt gedeeld over meer hectares, is de stalemissie per ha dus lager. Als de mest van minder dieren over hetzelfde aantal hectares wordt uitgereden, is de veldemissie per hectare lager. Een lagere veedichtheid (gve/ha) is dus een manier om ammoniakemissie/ha te verminderen en dit zal bijdragen aan een generieke reductie van ammoniakemissie in heel Nederland. Extensiveren zal dus leiden tot ammoniakemissiereductie.

Controleerbaarheid/ aantoonbaarheid van de managementmaatregelen

Van de hierboven besproken maatregelen is onderzocht in hoeverre ze controleerbaar en aantoonbaar zijn, meetbaar en haalbaar in de praktijk.

1. Reductie eiwitgehalte voer
2. Minder mest aanwenden
3. Uitrijden bij regen
4. Beweiding
5. Mestbehandeling
6. Stalsystemen
7. Vastleggen ammoniak in de bodem
8. Veedichtheid

Reductie eiwitgehalte in het voer

Een verhoogde inname van stikstof door de koe en die niet benut wordt voor melk of vlees, leidt tot een hoger urine-ureum en niet tot meer stikstof in de feces.

Het eiwitgehalte in het voer kan worden aangetoond door alle stikstofstromen op het bedrijf in kaart te brengen en daarmee uit te rekenen hoeveel %RE er gevoerd werd, zoals bijv. met de KringloopWijzer gedaan wordt. Daarnaast kan m.b.v. voermonsters van alle voerstromen, inclusief vers gras, het %RE bepaald worden. Dit is echter omslachtig en brengt kosten met zich mee. Bovendien moet de vers gras-inname worden geschat voor beide methodes. Dit alles gebeurt op dit moment via gewogen gemiddeldes van de analyses van ingekuild gras en dat levert minder betrouwbare resultaten op.

Een verhoogde stikstofinname leidt tot een duidelijk verhoogde stikstofexcretie met de urine, in tegenstelling tot excretie via de feces [13, 23, 24, 28, 77-80]. Het urine-ureum maar ook het melkureum correleert goed met het %RE in het rantsoen [81] en met ammoniakemissie [13, 82-86]. Op dit moment is melkureum de meest praktische schatting van stikstofbenutting van melkkoeien [87]. Ureum kan ook

goed gemeten worden in urinemonsters, maar dit is ook omslachtig en duur. De concentratie fluctueert over de dag, per keer urineren en wellicht met het tijdstip van voeren [58, 88]. Urine-ureum en tankmelkureum laten een goede correlatie zien [17, 81, 83, 89-91]. Toch is er ook een rapport dat verschillen in urine-ureum en ammoniakemissie laten zien bij hetzelfde melkureum [33]. Ook zou de verhouding urine-ureum : melkureum veranderen bij verschillende hoeveelheden %RE [26].

In Tabel 10 is een overzicht gegeven van studies waarmee het effect is berekend op het melkureum van het verlagen van %RE in het rantsoen met 1%. Deze verlaging leidt gemiddeld tot een verlaging van het tankmelkureum van $2,8 \pm 1,2$ mg/dL. In de dataset zijn geen outliers (ROUT analysis, Q = 5%).

Referentie	coëfficiënt (urea(mg/dL)/%RE)
[92]	3,6
[81]	3,4
[93]	2,9
[18]	2,7
[21]	1,6
[20]	1,9
[17]	5,7
[24]	1,7
[19]	2,1
[31]	2,6

Tabel 10. Effect van 1% RE op tankmelkureum (mg/dL).

Het tankmelkureum zegt niets over het rantsoen van het jongvee. De invloed van het jongvee is niet zo groot, doordat:

1. de groepen kalveren en pinken/ vaarzen beide ongeveer 25% van het aantal dieren zijn, die voor 0,5 of 0,25 gve meetellen.
2. het rantsoen waarschijnlijk niet meer dan 1% (10 g/kg ds) afwijkt van het rantsoen van het melkvee.

Dit levert een maximale afwijking van de ammoniakemissie per gve van 0,4 kg NH₃/gve. Bij de gemiddelde ammoniakemissie van 10,7 kg NH₃/gve kan dit dus 10,3 – 11,1 kg NH₃/gve zijn a.g.v. het rantsoen van het jongvee.

De concentratie natrium in het rantsoen heeft een lineaire, omgekeerde invloed op het melkureum. De aanbevolen dagelijkse hoeveelheid natrium is 2 – 3 g/kg ds. Met 1 g Na/kg ds meer kan het melkureumgehalte worden verlaagd met 0,4 mg/dL maar de melkproductie neemt hierbij ook af met 0,3% [94, 95]. De vraag is of het voordelig is om melkureum d.m.v. het toevoegen van natrium te verlagen.

Melkureum lijkt dus een goede indicator voor de gemiddelde ammoniakemissie over heel Nederland te zijn.

Minder mest aanwenden door extensieve bedrijfsvoering en geen mest aanvoeren

De totale hoeveelheid mest die uitgereden mag worden staat vast en kan worden bepaald m.b.v. tabel 6 van rvo. Indien er minder dieren aanwezig zijn, en meer hectares, is de totale emissie/ha lager. Deze getallen worden vastgesteld bij de gecombineerde opgave en kunnen hiermee gecontroleerd worden. Aan- en afgevoerde mest kan gecontroleerd worden middels de mestboekhouding.

Uitrijden bij regen

Het is moeilijk onomstotelijk aan te tonen dat er is uitgereden bij regen en nog lastiger bij hoeveel regen. Weergegevens kunnen verkregen worden van een KNMI weerstation. De hoeveelheid toegevoegd water kan worden gerapporteerd door de veehouder zelf. Daarbij is het uitrijden van mest niet altijd goed te plannen als dit wordt uitgevoerd door een derde partij (loonwerker). Borging is dus lastig.

Beweiding

Het aantal uur weidegang per koe per jaar kan volgens de stichting Weidegang aantoonbaar gemaakt worden met de drie systemen op hun 'witte lijst voor individuele koeregistratie van weidetijd'. Dit zijn GEA weideregistratie 2.0, Lely Grazeway R en DeLaval MyGrazing 720. Dit zijn alle drie systemen die werken met poortjes en sensoren, waarbij van alle individuele koeien bijgehouden wordt of en hoe

lang ze in of buiten de stal zijn. Daarnaast kunnen nieuwe technologieën ontwikkeld worden die m.b.v. gps en sensoren registreren waar de koeien zich bevinden, zoals bijvoorbeeld in het project Meet Weet Weidegang.

Mestbehandeling

Mestbehandeling is moeilijk aantoonbaar te maken, behalve kelderkoelsystemen die wel of niet aanwezig zijn. Het koelsysteem hoeft echter niet altijd aan te staan, en onomstotelijk aantonen dat de mest gekoeld is, kan dus alleen door regelmatige controles uit te voeren. Het toevoegen van pH-verlagende middelen of bacteriën is slecht aantoonbaar en controleerbaar te maken.

Stalsystemen

Aanwezigheid van een bepaald stalsysteem is vanzelfsprekend makkelijk controleerbaar, maar of de vloeren en luchtwassers ook zo gebruikt worden als voorgeschreven, is moeilijker controleerbaar [68].

Bodem

Meer denitrificerende bacteriën in de bodem kunnen zorgen voor minder uitspoeling van nitraat. Verbetering van de microbiële samenstelling in de bodem kan aangetoond worden met bodem microbiom analyses. Het microbiom van de bodem is echter zeer complex, en het is nog niet duidelijk welke en hoeveel micro-organismen er in de bodem zouden moeten zijn.

Managementmaatregelen om ammoniakemissie geborgd te reduceren

In Tabel 11 wordt een overzicht gegeven van alle hierboven beschreven managementmaatregelen met de haalbaarheid van de maatregel, de correlatie met de ammoniakemissie, of de controle goed mogelijk is (borging) en de manier waarop deze controle nu al plaatsvindt (bron van borging).

	Haalbaarheid	Correlatie met ammoniakemissie	Borging	Bron
aantal gve/ha	goed	goed	goed	rvo
mestaanwending (kg N/ha)	goed	goed	matig	rvo/klw
%RE in het rantsoen	goed	goed	matig	/
urine ureumgehalte (g/l)	goed	heel goed	slecht (lastig)	qlip
tankmelkureum (mg/dL)	goed	goed	goed	klw
berekende TAN in de mest (kg/ton)	goed	goed	matig	weidepoortjes
weidegang (uur/koe/jaar)	goed	goed	goed	/
regen na bemesten	slecht	goed	niet	

Tabel 11. Overzicht van alle behandelde managementmaatregelen m.b.t. haalbaarheid voor de veehouder, correlatie met ammoniakemissie, en de controleerbaarheid (borging), inclusief de manier waarop nu gecontroleerd wordt.

Op basis van onze bevindingen komen we tot een pakket van drie maatregelen om de ammoniakemissie te reduceren, die wetenschappelijk voldoende onderbouwd zijn alsmede aantoonbaar en controleerbaar in de praktijk: de geborgde emissiearme bedrijfsvoering (EAB):

1. Minder ruw eiwit in het rantsoen, te borgen middels tankmelkureum
2. Meer weidegang, te borgen middels weidepoortjessysteem
3. Minder gve/ha, te borgen middels rvo-data

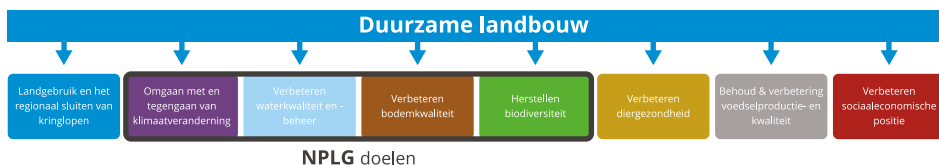
Expert opinion

De EAB systematiek is getoetst aan de opinie van prof. Jan Willem Erisman, deskundigen van diverse provincies (Overijssel, Drenthe, Utrecht, Noord-Holland, Zuid-Holland) en ZuivelNL. Alle commentaren zijn verwerkt in dit eindrapport.

Daarnaast is deze rapportage voorgelegd aan de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) via LVVN. Een groot deel van dit commentaar is verwerkt in deze rapportage. Het volledige commentaar en ons weerwoord is te vinden via: boerenverstand.nl/stikstofaanpak

Afwentelingseffecten op andere thema's

De geborgde emissiearme bedrijfsvoering heeft effecten op andere thema's.



Figuur 6. Duurzame landbouw

Door het verminderen van het %RE kan het ruwe celstofgehalte omhoog gaan, bijvoorbeeld door later te maaien. De effecten van ruwe celstof op **methaan**-uitstoot worden zowel positief [96] als negatief [33] omschreven. Methaanemissie is lager bij weidegang, waarbij het grootste effect in het voorjaar en de zomer optreedt [97].

Drijfmest bevat zelf geen **nitraat** [98]. Nitraat wordt in de bodem gevormd uit ammoniak en kan dan worden opgenomen worden door de plant of worden omgezet in nitriet (NO_2^-), vervolgens in nitraat (NO_3^-), in stikstofmonoxide (NO), en in stikstofgas (N_2) (Figuur 4). Bij iedere omzetting komt lachgas (N_2O) vrij. Met behulp van het stikstof-(N)-bodemoverschot en de uitspoelingsgevoeligheid (UG) of uitspoelingsfractie (UF) kan per grondsoort het nitraatgehalte in het grondwater berekend worden [99]. Hoe hoger het N-bodemoverschot, hoe meer nitraat er in het grondwater terecht komt. Doordat drijfmest geen nitraat bevat, en de helft van KAS

kunstmest nitraat is, kan er bij het gebruik van KAS meer nitraat in het grondwater terecht komen dan bij drijfmest [100] maar in pottenproeven was geen verschil tussen drijfmest en KAS te zien in nitraatuitspoeling [61]. Minder bemesting maar ook meer weidegang zou tot minder nitraatuitspoeling kunnen leiden doordat bij weidegang ureum eerst moet worden omgezet in ammoniak, die daarna direct door de plant kan worden opgenomen. In drijfmest is alle ureum al omgezet in ammoniak en komt er dus in één keer veel meer ammoniak in en op de bodem terecht.

Bij de omzetting in de bodem van ammoniak naar stikstofgas vormt **lachgas** een tussenproduct [101]. Lachgas is een veel sterker (265 – 298x) broeikasgas dan CO₂ en het blijft meer dan 100 jaar intact voor het chemisch uiteen valt [76, 102]. Minder kunstmest en minder %RE in het rantsoen (en dus een lager stikstof-gehalte in de mest) zal leiden tot minder lachgas [50, 103, 104]. Een lager melkureumgehalte (veroorzaakt door lager %RE) is dan ook gekoppeld aan minder lachgasemissie [81]. Er zijn allerlei factoren die van invloed zijn op de productie van lachgas, zoals snelle veranderingen in ammoniak-concentratie, vochtigheid en de samenstelling van de bodemorganismen [105]. Lachgasemissie is hoger als drijfmest wordt geïnjecteerd door meer contact van stikstof met de micro-organismen, anaerobe condities bij de injectieplaatsen en hogere vochtigheid [98]. Minder bemesten zorgt voor minder lachgasemissie.

Door minder te bemesten en door een lager gve/ha, kan het aandeel kruiden en dus de **biodiversiteit** in grasland toenemen [106]. Van kruidenrijk gras is beschreven dat het de gehalten van eiwit en lactose in melk, de stikstofefficiëntie en de koegezondheid verbeterde. Daarnaast verminderde het de methaanuitstoot [107]. In biodiversiteitsmonitoren staan o.a. de parameters ammoniakemissie, uren weidegang, eiwit in het totaal rantsoen, N-bodemoverschot en gebruik van N-kunstmest. Het effect van de uiteindelijk gekozen managementmaatregelen op de biodiversiteitsmonitor is dus aanzienlijk.

De **gezondheid** van de koe, met als indicator melkproductie en celgetal, bleef gelijk bij een verlaging van het %RE naar 15% [35]. Beweiding is gerelateerd aan een betere klauwgezondheid [108, 109] en uiergezondheid [110].

Maatregelenpakket

Met de managementmaatregelen weidegang en tankmelkureum is een EAB-tabel gemaakt waarmee bepaald kan worden wat de ammoniakemissie/gve/jaar is (Tabel 12). Binnen de RAV-systematiek is de stalemissie per melkkoe vastgesteld op 13 kg NH_3 /jaar in een A1.100 stal, o.b.v. permanent opstallen en een tankmelkureum van 23 mg/dL [7]. In Tabel 12 staat 13 kg NH_3 /gve/jaar bij tankmelkureum 23 mg/dL en 0 uren weidegang.

Voor het effect van %RE/tankmelkureum is de hiervoor beschreven 17% stalemissiereductie per 1% RE en 2,8 mg/dL tankmelkureum gebruikt. Voor het effect van weidegang is de hiervoor beschreven 7,2%/1000 uur weidegang gebruikt.

De tabel geldt voor koeien van alle productieniveaus, aangezien volgens diverse publicaties de melkproductie per koe geen invloed [79, 81, 84, 85, 89, 90, 111-114] of een omgekeerd evenredige invloed [115, 116] heeft op de totale hoeveelheid stikstof die met de urine per dag wordt uitgescheiden. De totale stikstofexcretie via de feces is wel afhankelijk van de melkproductie en de voeropname per koe per dag. Stikstof die met de urine wordt uitgescheiden is de primaire bron voor ammoniak.

Een meta-analyse van 3.621 urine-metingen in 162 experimenten in 16 landen liet zien dat urine N-excretie in Europa het beste voorspeld werd door N-inname en in iets mindere mate door %RE alleen [117]. N-inname wordt groter naarmate de drogestof inname groter wordt, bij gelijkblijvende %RE. Een hogere melkproductie kan, maar hoeft niet samen te gaan met een hogere drogestof inname [35]. Bij gelijkblijvend %RE zorgt een hogere drogestof inname dus voor een hogere absolute N-inname. Koeien met een hoge melkproductie hebben ook een hogere absolute N-excretie via de melk en daarmee zou de N-excretie via de urine bij laag- en hoogproductieve koeien gelijk kunnen blijven. Volgens [115] is melkproductie negatief gecorreleerd met de urine-N-excretie, maar volgens dezelfde auteurs is de melkproductie ook positief gecorreleerd met urine-N-excretie maar maakt de factor 'melkproductie' de voorspelling voor urine-N-excretie niet beter dan alleen tankmelkureum en %RE [118]. Volgens [116] is de melkproductie negatief gecorreleerd met ammoniakemissie.

De effect groottes hebben standaarddeviaties. Daarom is er een tabel gemaakt waarbij de getallen ook onzekerheidsmarges hebben. Deze EAB-tabel is weergegeven in tabel 14.

Tankmelkureum (mg/dL)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Weidegang (uren)	Ammoniakemissie vanuit de STAL (kg NH ₃ /gve/jaar)										
0	5,9	6,7	7,4	8,3	9,1	9,9	10,7	11,4	12,2	13,0	13,8
720	5,6	6,4	7,0	7,8	8,6	9,4	10,1	10,8	11,6	12,3	13,0
1440	5,3	6,0	6,6	7,4	8,1	8,8	9,6	10,2	10,9	11,7	12,3
2160	5,0	5,7	6,3	7,0	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3	11,0	11,6
2880	4,7	5,3	5,9	6,5	7,2	7,8	8,5	9,1	9,7	10,3	10,9
3600	4,4	5,0	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,5	9,0	9,6	10,2
4320	4,1	4,6	5,1	5,7	6,2	6,8	7,4	7,9	8,4	9,0	9,5
5040	3,8	4,3	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3	8,8

Tabel 12. Ammoniakemissie vanuit de stal per gve bij combinaties van weidegang en tankmelkureum (uitgedrukt in kg NH₃/ gve).

De EAB-tabel uit Tabel 12 is getoetst aan gegevens voor jaargemiddeld tankmelkureum, ammoniakemissie/koe/jaar en aantal uren weidegang/koe/jaar voor de jaren 2019 en 2020 (Tabel 13). Deze getallen komen met elkaar overeen in de EAB-tabel. In 2010 was de ammoniakemissie volgens metingen gemiddeld 13 kg NH₃/ gve/jaar bij volledig opstallen, en 11,3 kg NH₃/gve/jaar bij 1780 uur weidegang [54].

	2019	2020
Tankmelkureum (mg/dL) (Qlip)	22,5	21,6
Weidegang (uur/koe/jaar) (cbs)	1000	1000
Weidegang (uur/koe/jaar) (Agrimatie)	1300	1300
Ammoniakemissie (kg/koe/jaar) (Emissieregistratie)	11,7	10,7
Ammoniakemissie (kg/koe/jaar) (EAB-tabel)	11,5 - 11,7	10,7 - 11,0

Tabel 13. Tankmelkureum, weidegang en ammoniakemissie vanuit stal en opslag per koe per jaar in 2019 en 2020.

De berekende emissiewaardes met de EAB-systematiek, o.b.v. weidegang en tankmelkureum, en o.b.v. weidegang en %RE zijn ook getoetst aan waardes van 22 KringloopWijzers. Een gepaarde one-way ANOVA liet zien dat er geen significante verschillen zijn tussen de data uit de KringloopWijzers en de EAB-systematiek o.b.v. tankmelkureum.

Berekenen van de totale ammoniakemissie kan op de volgende manier

Stap 1

Als de ammoniakemissie/gve/jaar (Tabel 12) wordt vermenigvuldigd met het aantal melkkoeien is dat de stalemissie vanuit de melkkoeien.

Stap 2

De ammoniakemissie van het jongvee kan worden bepaald m.b.v. Tabel 9. Als dit getal wordt vermenigvuldigd met het aantal stuks jongvee (kalveren (0-1 jaar) en pinken/vaarzen (1-2 jaar)) is dat de stalemissie vanuit het jongvee.

Stap 3

Als deze beide getallen worden opgeteld, en worden gedeeld door het aantal hectares, is dit de stalemissie/ha.

Stap 4

Met behulp van Tabel 7 kan de emissie vanuit het uitrijden worden afgelezen.

Stap 5

De stal- en de veldemissie opgeteld zijn de totale ammoniakemissie per ha.



Bedrijfseconomie

Goed scoren op duurzaamheidsdoelen kan hand in hand gaan met een beter bedrijfseconomisch resultaat [119]. Meerdere studies hebben laten zien dat een verlaging van het %RE in het rantsoen, tot een bepaald minimum (13,5% - 14,7%), geen negatieve gevolgen heeft voor de productie [14, 17, 18, 24, 35, 89, 120], en/of gehalten vet en eiwit [34, 35, 89]. Een lager %RE, tot een bepaald minimum, hoeft geen verlies aan productie en dus inkomsten te betekenen, terwijl eiwit het duurste onderdeel van het voer is. 1% RE direct uit voer kost ongeveer tussen de €70 (lupinen) en €240 (lijnzaad of soja)/koe/jaar. Vanuit kunstmest kost 1% RE in het ruwvoer ongeveer €40/koe/jaar [38].

De totale baten van weiden t.o.v. opstallen liggen volgens [121] gemiddeld op €42 – 85 per koe per jaar door minder kosten voor voerwinning, loonwerk en mestafzet. Er wordt echter niet vermeld om hoeveel uur weidegang het gaat. De totale kosten per kg melk nemen af naarmate het aantal uur weidegang toeneemt, tot ongeveer 2000 uur weidegang. Daarna is er geen afname van de kosten meer maar ook geen toename [55]. Moeilijke omstandigheden zoals een grote koppel, kleine huiskavel, hoge melkproductie en melkrobot leidden tot een kleiner economisch voordeel bij weidegang dan 'makkelijke' omstandigheden. Bij een zeer klein beweidbaar oppervlak (>10 melkkoeien per beweidbare ha) is opstallen voordeliger [122]. De economische voordelen van beweiden kunnen dus moeilijk gekwantificeerd worden, maar lijken over het algemeen positief.

Voorbeeld: economisch voordeel verlagen tankmelkureum

Een verlaging van het tankmelkureum zorgt voor een verlaging van de stikstofexcretie volgens tabel 6 van rvo. Als het tankmelkureum wordt verlaagd van 21 naar 14 mg/dL neemt de stikstofexcretie bij een gemiddelde melkproductie van 8950 l/koe/jaar af van 122 naar 110 kg N/koe/jaar. Volgens dezelfde tabel is de drijfmestproductie 27,3 m³/koe/jaar. Dat betekent dat het stikstofgehalte in de mest daalt van 4,48 naar 4,04 kg N/m³. Dit zorgt ervoor dat per ha (zonder derogatie) i.p.v. 38 m³ mest 42,1 m³/ha kan worden uitgereden. Voor een bedrijf van 60 ha hoeft er bij een dergelijke verlaging van het tankmelkureum bijna 250 m³ mest per bedrijf minder afgevoerd te worden. Bij een afvoerprijs van €30/m³ levert dit een besparing van bijna €7.500 op.

CONCLUSIE



Binnen dit project is gekomen tot een beperkte set aan managementmaatregelen die zowel aantoonbaar als wetenschappelijk onderbouwd is, waarmee de ammoniakemissie uit de melkveehouderij geborgd kan worden gereduceerd. De ontwikkelde tabellen helpen de boer te sturen op een lager melkureum, waarover iedere drie dagen feedback komt, en meer uren weidegang, wat dagelijks gemonitord wordt, om ammoniakemissie te reduceren tot 40 kg NH₃/ha of zelfs nog lager.

Voor correcte juridische borging kan deze ammoniakemissieberekening eens per jaar, bij de gecombineerde opgave, worden aangevuld met een afrekenbare stoffenbalans (ASB) of gegevens uit de Kringloopwijzer. Echter, de geborgde emissiearme bedrijfsvoering geeft jaarrond een goede voorspelling van de ammoniakemissie, en tevens mogelijkheden voor de veehouder om continu bij te sturen. In de praktijk laten emissiearme bedrijven zien dat er positieve neveneffecten zijn op o.a. diergezondheid, biodiversiteit en bedrijfseconomie.

Auteurs hebben laten zien dat verlagen van melkureum en verhogen van aantal uren weidegang een no regret aanpak is, waarmee melkveehouders direct aan de slag kunnen om ammoniakemissies verder te reduceren. Als deze reductie door de praktijk gerealiseerd wordt, zal dit uiteindelijk terugkomen in de Nationale Emissie Monitor (NEMA) waarmee Nederland ammoniakemissiereductie kan bewijzen.

“Wat er niet in komt, komt er niet uit”

**“Hoe meer urine in de weide valt,
hoe minder de ammoniakemissie.”**

Met de gegevens voor de grootte van het effect van %RE en weidegang op ammoniakemissie [6, 17, 18, 22-24] is een confidence interval berekend. CI = 13,2% - 19,9% ammoniakemissiereductie/%RE en 7,2 - 9,2%/1000 uur weidegang. Met deze getallen zijn de onzekerheidsmarges bepaald per vakje in de EAB-tabel. Dit is weergegeven in Tabel 14.

Tankmelkureum	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Weidegang (uren)	Emissie (kg/gve) STAL									
0	5,9	6,7	7,4	8,3	9,1	9,9	10,7	11,5	11,8	13,0
	7,5 4,6	8,2 5,7	8,7 6,5	9,4 7,5	10,0 8,4	10,6 9,4	11,2 10,3	11,8 11,2	12,1 11,6	13,0 13,0
720	5,6	6,4	7,1	7,9	8,6	9,4	10,1	10,9	11,2	12,3
	7,1 4,3	7,7 5,3	8,3 6,1	8,9 7,0	9,5 7,9	10,1 8,7	10,6 9,6	11,2 10,4	11,5 10,8	12,3 12,1
1440	5,2	6,0	6,7	7,4	8,2	8,9	9,6	10,3	10,6	11,7
	6,7 4,0	7,3 4,9	7,8 5,6	8,4 6,5	8,9 7,3	9,5 8,1	10,1 8,9	10,6 9,7	10,8 10,1	11,7 11,3
2160	4,9	5,7	6,3	7,0	7,7	8,4	9,0	9,7	10,0	11,0
	6,3 3,7	6,9 4,5	7,4 5,2	7,9 6,0	8,4 6,7	9,0 7,5	9,5 8,3	10,0 9,0	10,2 9,3	11,0 10,4
2880	4,6	5,3	5,9	6,6	7,2	7,9	8,5	9,1	9,4	10,3
	5,9 3,4	6,5 4,2	6,9 4,8	7,4 5,5	7,9 6,2	8,4 6,9	8,9 7,6	9,4 8,2	9,6 8,5	10,3 9,5
3600	4,3	5,0	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,5	8,8	9,6
	5,5 3,1	6,0 3,8	6,4 4,3	6,9 5,0	7,4 5,6	7,9 6,3	8,3 6,9	8,7 7,5	9,0 7,8	9,6 8,7
3960	3,9	4,5	4,9	5,5	6,0	6,6	7,1	7,6	7,8	8,6
	5,0 2,6	5,4 3,2	5,8 3,7	6,2 4,2	6,6 4,8	7,0 5,3	7,4 5,8	7,8 6,4	8,0 6,6	8,6 7,4

Tabel 14. EAB-tabel met onzekerheidsmarges.

Meer weten over de stikstofaanpak met Boerenverstand?

Kijk op: boerenverstand.nl/stikstofaanpak

Referenties

1. Erisman, J.W.B., T., *De stikstofdepositie bijdragekaart voor effectieve emissievermindering uit de landbouw*, in UL-CML-rapport 200. 2021, Leiden University.
2. Erisman, J.W.S., B.; Bastmeijer, K.; Jongeneel, R.; Poppe, K.; Van de Wittenboer, S.; Van Dorp, M., *Naar een ontspannen Nederland: hoe het oplossen van de stikstofproblematiek via een ruimtelijke benadering een hefboom kan zijn voor het aanpakken van andere grote opgaven en zo een nieuw perspectief kan opleveren voor het landelijk gebied*. 2021.
3. Reijs, J., Jager, J. Daatselaar, C., Beekman, V., *KPI-sturing op NPLG-doelen*, <https://edepot.wur.nl/639104>, Editor. 2023.
4. CBS. Grootvee-eenheid (GVE). 2022; Available from: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/31/meer-koeien-in-de-wei-maar-wel-korter-grootvee-eenheid-gve->.
5. Duinkerken, v.G.A., G.; Smits, M.C.J.; Monteny, G.J.; Blanken, K.; Wagemans, M.J.M.; Sebek, L.B.J., *Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal*, in *Praktijkrapport Rundvee*. 2003.
6. Bougouin, A., et al., *Nutritional and environmental effects on ammonia emissions from dairy cattle housing: A meta-analysis*. *Journal of Environmental Quality*, 2016. 45(4): p. 1123-1132.
7. Groot Koerkamp, P.W.G., et al., *Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998. 70(1): p. 79-95.
8. Infomil RAV codes, b. Bijlage 2, RAV codes rundvee. Available from: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav-0/bijlage-2/>.
9. Sommer, S.G., et al., *Algorithms Determining Ammonia Emission from Buildings Housing Cattle and Pigs and from Manure Stores*. *Advances in Agronomy*, 2006. 89: p. 261-335.
10. Deckers, P., Vandaele, L., De Campeneer, S., *Wat leert melkureum ons over het voeder en de ammoniakemissie van melkkoeien (nu en in de toekomst)?*, Rundvee, Editor. 2016.
11. Aguerre, M.J., et al., *Effect of dietary crude protein on ammonia-N emission measured by herd nitrogen mass balance in a freestall dairy barn managed under farm-like conditions*. *Animal*, 2010. 4(8): p. 1390-400.
12. van der Stelt, B., et al., *Effects of Dietary Protein and Energy Levels on Cow Manure Excretion and Ammonia Volatilization*. *Journal of Dairy Science*, 2008. 91(12): p. 4811-4821.
13. Burgos, S.A., et al., *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*, 2010. 93(6): p. 2377-2386.
14. Külling, D.R., et al., *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*, 2001. 137(2): p. 235-250.
15. Cassel, T., et al., *Ammonia Emission Factors for Open-Lot Dairies: Direct Measurements and Estimation by Nitrogen Intake*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2005. 55(6): p. 826-833.
16. James, T., et al., *Effects of dietary nitrogen manipulation on ammonia volatilization from manure from Holstein heifers*. *Journal of Dairy Science*, 1999. 82(11): p. 2430-9.
17. Kröber, T.F., et al., *Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and nitrogen emission from slurry*. *Journal of Dairy Science*, 2000. 83(12): p. 2941-51.
18. Frank, B. and C. Swensson, *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*, 2002. 85(7): p. 1829-38.
19. Arriaga, H., et al., Effect of dietary crude protein modification on ammonia and nitrous oxide concentration on a tie-stall dairy barn floor. *Journal of Dairy Science*, 2010. 93(7): p. 3158-3165.
 20. Liu, Z., et al., Gas emissions from dairy cows fed typical diets of Midwest, South, and West regions of the United States. *Journal of Environmental Quality*, 2012. 41(4): p. 1228-37.
 21. Arndt, C., et al., 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*, 2015. 98(1): p. 418-30.
 22. Sajeev, E.P.M., et al. Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. *Nutrient cycling in agroecosystems.*, 2017. DOI: 10.1007/s10705-017-9893-3.
 23. Edouard, N., et al., Influence of diet and manure management on ammonia and greenhouse gas emissions from dairy barns. *Animal*, 2019. 13(12): p. 2903-2912.
 24. Müller, C.B.M., et al., 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*, 2021. 755: p. 143198.
 25. Hristov, A.N., et al., Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Canadian Journal of Animal Science*, 2011. 91(1): p. 1-35.
 26. Spek, J.W., et al., 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*, 2013. 96(9): p. 5734-45.
 27. Reed, K.F., et al., Predicting nitrogen excretion from cattle. *J Dairy Sci*, 2015. 98(5): p. 3025-35.
 28. Marini, J.C. and M.E. Van Amburgh, Partition of nitrogen excretion in urine and the feces of holstein replacement heifers. *J Dairy Sci*, 2005. 88(5): p. 1778-84.
 29. Paul, J.W., Dinn, N.E., Kannangara, T., Fisher, L.J., Protein content in dairy cattle diets affects ammonia losses and fertilizer nitrogen value. *Journal of Environmental Quality*, 1998. 27(3): p. 528-534.
 30. Swensson, C., Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livestock Production Science*, 2003. 84(2): p. 125-133.
 31. Frank, B., M. Persson, and G. Gustafsson, Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livestock Production Science*, 2002. 76(1): p. 171-179.
 32. Schröder, J.J., Bannink, A., Kohn, R., Improving the efficiency of nutrient use in cattle operations, in *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle*, E. Pfeffer, Hristov, A.N., Editor. 2005, CAB: Wallingford UK. p. 255-279.
 33. Sonneveld, M.P.B., J., Nutriënten management op het melkveebedrijf van de familie Spruit, W.U.e. Researchcentrum, Editor. 2005, WUR: Wageningen.
 34. Oomen, G., A.P.Minderhoudhoeve beproeft eiwitarme voedergrassen. *Ekoland*, 1999. 6: p. 16-17.
 35. Groff, E.B. and Z. Wu, Milk Production and Nitrogen Excretion of Dairy Cows Fed Different Amounts of Protein and Varying Proportions of Alfalfa and Corn Silage. *Journal of Dairy Science*, 2005. 88(10): p. 3619-3632.
 36. Tolkamp, B.J., et al., Diet choice by dairy cows. 1. Selection of feed protein content during the first

- half of lactation. *J Dairy Sci*, 1998. 81(10): p. 2657-69.
37. Law, R.A., et al., Effect of dietary protein content on the fertility of dairy cows during early and mid lactation. *J Dairy Sci*, 2009. 92(6): p. 2737-46.
 38. Leite, R.G., et al., Effects of nitrogen fertilization on protein and carbohydrate fractions of Marandu palisadegrass. *Scientific Reports*, 2021. 11(1): p. 14786.
 39. CDM, Advies beoordeling emissiereductie alternatieve mesttoedieningstechnieken, C.D. Meststoffenwet, Editor. 2017.
 40. Van Bruggen, C.B., A., Bleeker, A., Bussink, D.W., Van Dooren, H.J.C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Kors, J., Lagerwerf, L.A., Oltmer, K., Ros, M.B.H., Van Schijndel, M.W., Schulte-Uebing, L., Velthof, G.L., Van der Zee, T.C., Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021, WUR, Editor. 2023.
 41. Mosquera, J.H., J.M.G.; Hofschreuder, P., Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit. II. Praktijkmetingen na het toedienen van mest. . 2005, Agrotechnology & Food Innovations B.V.
 42. Sonneveld, M.P.W., Bos, J.F.F.P., Schröder, J.J., Bleeker, A., Hensen, A., Frumau, A., Roelsma, J., Brus, D.J., Schouten, A.J., Bloem, J., De Goede, R., Bouma, J., Effectiviteit van het Alternatieve Spoor in de Noordelijke Friese Wouden, WUR, Editor. 2009.
 43. Ipema, A.H.G., D.; Huijsmans, J.F.M., Anticiperen op het weer om emissie arm mest uit te rijden, W.U.L. Research, Editor. 2015.
 44. Jokela, W., J. Sherman, and J. Cavadini, Nutrient Runoff Losses from Liquid Dairy Manure Applied with Low-Disturbance Methods. *J Environ Qual*, 2016. 45(5): p. 1672-1679.
 45. Kupper, T.H., C.; Neftel, A.; Kincaid, C.; Bühler, M.; Amon, B.; VanderZaag, A., Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage - A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020. 300.
 46. Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Van Schooten, H.A., Verwijs, B.R., Ammoniakemissie bij met water verdunde mest toegediend met een sleepvoetenmachine op grasland. 2017, Wageningen University: Wageningen.
 47. (CDM), C.D.M., Review Ammoniakemissie in de praktijkproef "bovengrondse aanwending van drijfmest". 2011.
 48. Nienhuis, C.P., Lantinga, E.A., Reduction of ammonia emission through the combined application of liquid or slurry manure and water with The Green Duo, in *Organic Agriculture*. 2013, Wageningen University: Wageningen.
 49. Han, H., et al., A semi-empirical semi-process model of ammonia volatilization from paddy fields under different irrigation modes and urea application regimes. *Agricultural Water Management*, 2022. 272: p. 107841.
 50. Kuikman, P.J., Van der Hoek, K.W., Smit, A., Zwart, K., Update on emission factors for nitrous oxide from agricultural soils on the basis of measurements in the Netherlands. *Alterrapport*, 2005. 1217.
 51. Hao, C., et al., Kinetic Determination of Urease Activity in Fresh Pig Feces and Slurry and the Effect on Ammonia Production at Different Conditions. *Sustainability*, 2019. 11(22).
 52. Zhang, T.W., S.; Kang, Y.; Feng, H., Urease activity and its relationships to soil physicochemical properties in a highly saline-sodic soil. *Journal of soil science and plant nutrition*, 2014. 14(2): p. 304-315.
 53. Cordero, I., H. Snell, and R.D. Bardgett, High throughput method for measuring urease activity in soil. *Soil biology & biochemistry*, 2019. 134: p. 72-77.
 54. Ogink, N.W.M., Groenestein, C.M., Mosquera, J., Update of ammonia emission factors for cattle categories: advisory report for amendments in regulations on ammonia and livestock.

- Wageningen UR Livestock Research, 2014. 744.
55. Hoving, I.E., Holshof, G., Evers, A.G., De Haan, M.H.A., Ammoniakemissie en weidegang melkvee: verkenning weidegang als ammoniak reducerende maatregel. Livestock Research Rapport 2015. 856.
 56. Van Dooren, H.J.C., Ogink, N.W.M., Van Riel, J.W., Mosquera, J., Zonderland, J.L., Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding, Wageningen, Editor. 2019.
 57. Winkel, A., Brusselman, E., Hensen, A., Otten, G., Vonk, J., Laanen, L., Verfaillie, A., Van Dinther, D., Mosquera, J., Ogink, N., Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen: Guidelines for determination of emissions from livestock barns, Wageningen, Editor. 2024.
 58. Misselbrook, T., et al., Automated monitoring of urination events from grazing cattle. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016. 230: p. 191-198.
 59. Van der Hoek, K.W., Uitgangspunten voor de mest- en ammoniakberekeningen 1999 tot en met 2001 zoals gebruikt in de Milieubalans 2001 en 2022, inclusief dataset landbouwemissies 1980-2001, RIVM, Editor. 2002.
 60. Van der Zee, T.C., Bleeker, A., Van Bruggen, C., Bussink, W., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Kros, H., Lagerwerf, L.A., Oltmer, K., Ros, M., Van Schijndel, M., Schulte-Uebbing, L., Velthof, G.L., Methodology for the calculation of emissions from agriculture. 2023, RIVM.
 61. Van Dijk, W., Rietra, R., Ros, M., De Visser, W., Stikstofbenutting en nitraatuitspoeling bij dierlijke mest en kunstmest op gemaaid grasland, Wageningen, Editor. 2024.
 62. Mosquera, J.V.D., H.J.C.; Ogink, N.W.M.; Van Well, E.A.P.; Monteny, G.J.; Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit melkveestallen, W.L. Research, Editor. 2021, WUR. p. 212.
 63. Schep, C.A., Van Dooren, H.J.C., Mosquera, J., Van Well, E.A.P., Keuskamp, J.A., Ogink, N.W.M., Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen, W.L. Research, Editor. 2022.
 64. Owusu-Twum, M.Y., et al., Gaseous emissions and modification of slurry composition during storage and after field application: Effect of slurry additives and mechanical separation. *J Environ Manage*, 2017. 200: p. 416-422.
 65. Joubin, M., *Animal slurry acidification: effects of slurry characteristics, use of different acids, slurry pH buffering*, R.R.I.o. Sweden, Editor. 2018.
 66. Nykanen, A.M., et al., Reduction of odorants in swine manure by carbohydrate and bacterial amendments. *J Environ Qual*, 2010. 39(2): p. 678-85.
 67. Mancino, C.F.T., J., Nitrate and ammonium leaching losses from N fertilizers applied to 'Pennncross' creeping bentgrass. *HortScience*, 1990. 25(2): p. 194-196.
 68. Re c h t b a n k _ M i d d e n _ N e d e r l a n d , ECLI:NL:RBME:2021:4505. 2021.
 69. Huis in 't Veld, J.W.H.S., M.C.J.; Monteny, G.J., Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien & Kansen-bedrijven, A.S. Group, Editor. 2003: Lelystad.
 70. Groenesteijn, K., Goedhart, P.W., Van Bruggen, C., De Jonge, I., Ogink, N., Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van de stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest, W. UR, Editor. 2023.
 71. Braam, C.R., Ketelaars, J.J.M.H., Smits, M.C.J., Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 1997. 45: p. 49-64.
 72. Elzing, A. and G.J. Monteny, Modelling and experimental determination of ammonia emissions rates from a scale model dairy-cow house. *Transactions of the ASAE*, 1997. 40(3): p.

721-726.

73. Dai, X. and H. Karring, A determination and comparison of urease activity in feces and fresh manure from pig and cattle in relation to ammonia production and pH changes. *PLoS One*, 2014. 9(11): p. e110402.
74. Kohn, R.A., Dou, Z, Ferguson, J.D., Boston, R.C., A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *Journal of Environmental Management*, 1997. 50(4): p. 417-428.
75. Hemke, G., Makkink, C. De onderbelichte rol van droogte en denitrificatie in de stikstofdiscussie. 2022; Available from: <https://www.foodlog.nl/artikel/de-onderbelichte-rol-van-droogte-en-denitrificatie-in-de-stikstofdiscussie/v>.
76. Lazcano, C., X. Zhu-Barker, and C. Decock, Effects of Organic Fertilizers on the Soil Microorganisms Responsible for N₂O Emissions: A Review. *Microorganisms*, 2021. 9(5): p. 983.
77. Jonker, J.S., R.A. Kohn, and R.A. Erdman, Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 1998. 81(10): p. 2681-92.
78. Kebreab, E., et al., A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. *Journal of Animal Science*, 2002. 80(1): p. 248-59.
79. Spek, J.W., et al., A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 2013. 151: p. 407-423.
80. Dong, R.L., et al., Prediction of urinary and fecal nitrogen excretion by beef cattle. *J Anim Sci*, 2014. 92(10): p. 4669-81.
81. Powell, J.M., C.A. Rotz, and M.A. Wattiaux, Potential use of milk urea nitrogen to abate atmospheric nitrogen emissions from wisconsin dairy farms. *Journal of Environmental Quality*, 2014. 43(4): p. 1169-75.
82. van Duinkerken, G., et al., Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *J Dairy Sci*, 2005. 88(3): p. 1099-112.
83. Powell, J.M., M.J. Aguerre, and M.A. Wattiaux, Dietary crude protein and tannin impact dairy manure chemistry and ammonia emissions from incubated soils. *Journal of Environmental Quality*, 2011. 40(6): p. 1767-74.
84. Smits, M.C.J.H.i.t.V., J.W.H., Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven en De Marke; resultaten van diverse, korte meetsessies, in Koeien & Kansen, A.S. Group, Editor. 2006: Wageningen.
85. Beck, M., et al., Meta-Regression to Develop Predictive Equations for Urinary Nitrogen Excretion of Lactating Dairy Cows. *Animals (Basel)*, 2023. 13(4).
86. van Duinkerken, G., et al., Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *J Dairy Sci*, 2011. 94(1): p. 321-35.
87. Lavery, A. and C.P. Ferris, Proxy Measures and Novel Strategies for Estimating Nitrogen Utilisation Efficiency in Dairy Cattle. *Animals (Basel)*, 2021. 11(2).
88. Ahvenjarvi, S. and P. Huhtanen, Effects of intraruminal urea-nitrogen infusions on feed intake, nitrogen utilization, and milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci*, 2018. 101(10): p. 9004-9015.
89. Burgos, S.A., J.G. Fadel, and E.J. DePeters, 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*, 2007. 90(12): p. 5499-5508.
90. Ciszuk, P. and T. Gebregziabher, Milk Urea as an Estimate of Urine Nitrogen of Dairy Cows and Goats. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 1994. 44(2): p. 87-95.

91. Spek, J.W., et al., 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*, 2013. 96(7): p. 4310-22.
92. Nousiainen, J., K.J. Shingfield, and P. Huhtanen, Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *Journal of Dairy Science*, 2004. 87(2): p. 386-98.
93. Aguilar, M., et al., Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle1. *Journal of Dairy Science*, 2012. 95(12): p. 7261-7268.
94. Spek, J.W., Bannink, A., Dijkstra, J., Waarde van melkureum als schatter stikstofexcretie, in *Veeteelt*. 2011.
95. Spek, J.W., et al., Effect of sodium chloride intake on urine volume, urinary urea excretion, and milk urea concentration in lactating dairy cattle. *J Dairy Sci*, 2012. 95(12): p. 7288-98.
96. Oltmer, K.H., E.; Rougoor, C., Innovaties rond Natura 2000-gebieden, L.-r. 2010-056, Editor. 2010.
97. Klootwijk, C.W., Koning, L., Holshof, G., Klop, A., Zom, R., Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit, in *Wageningen Livestock Research*. 2021.
98. Velthof, G.L., Kuikman, P.J., Oenema, O., Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 2003. 37: p. 221-230.
99. Fraters, B., Boumans, L.J.M., Van Leeuwen, T.C., Reijs, J.W., De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven, RIVM, Editor. 2007.
100. De Boer, H., Van Mullekom, M., Van Doorn, J., Smolders, F., Nitraatuitspoeling uit gemaaid grasland op uitspoelingsgevoelige zandgrond, W.L. Research, Editor. 2022.
101. Davidson, E.A., Keller, M., Erickson, H.E., Verchot, L.V., Veldkamp, E., Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *BioScience*, 2000. 50(8): p. 667-680.
102. Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.M., Collins, W., Fuglestedt, J., Koch, D., Lamarque, J.F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., Zhang, H., Anthropogenic and natural radiative forcing. , in *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. . 2013, Cambridge university press: Cambridge.
103. Misselbrook, T.H., Chadwick, D.R., Pain, B.F., Headon, D.M., Dietary manipulation as a means of decreasing N losses and methane emissions and improving herbage N uptake following application of pig slurry to grassland. *Journal of Agricultural Science*, 1998. 130: p. 183-191.
104. Smith, K., Bouwman, L., Braatz, B., N₂O: Direct emissions from agricultural soils, in *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. 2006. p. 361-380.
105. Lazzano, C., et al., Soil nitrous oxide emissions in forage systems fertilized with liquid dairy manure and inorganic fertilizers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016. 225: p. 160-172.
106. Franksen, R.M., et al., The Effects of Nitrogen Fertilisation on Plant Species Richness in European Permanent Grasslands: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Agronomy*, 2022. 12(12): p. 2928.
107. Carmona-Flores, L., et al., Milk Production, N Partitioning, and Methane Emissions in Dairy Cows Grazing Mixed or Spatially Separated Simple and Diverse Pastures. *Animals*, 2020. 10(8): p. 1301.
108. Holzhauser, M., et al., A longitudinal study into the effect of grazing on claw disorders in female calves and young dairy cows. *Vet J*, 2012. 193(3): p. 633-8.
109. Olmos, G., et al., Effect of genetic group and feed

- system on locomotion score, clinical lameness and hoof disorders of pasture-based Holstein-Friesian cows. *Animal*, 2009. 3(1): p. 96-107.
110. Washburn, S.P., et al., Reproduction, Mastitis, and Body Condition of Seasonally Calved Holstein and Jersey Cows in Confinement or Pasture Systems. *Journal of Dairy Science*, 2002. 85(1): p. 105-111.
 111. Bannink, A. and V. Hindle, Prediction of N intake and N excretion by dairy cows from milk data. Report, 2003. 3: p. 0008567.
 112. Kauffman, A.J. and N.R. St-Pierre, The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *J Dairy Sci*, 2001. 84(10): p. 2284-94.
 113. Kohn, R.A., K.F. Kalscheur, and E. Russek-Cohen, Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J Dairy Sci*, 2002. 85(1): p. 227-33.
 114. Broderick, G.A., Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 2003. 86(4): p. 1370-81.
 115. Spek, J.W., Dijkstra, J., Bannink, A. Prediction of urinary nitrogen in urine from lactating dairy cattle in Western Europe: A meta-analysis. in *Animal Nutrition Forum*. 2012. Wageningen, The Netherlands.
 116. Bruinenberg, M., Van Walvoort, R., Schep, C., Spek, W., van Riel, J., Relatie tussen voerkenmerken en de emissie van ammoniak uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven, Wageningen, Editor. 2024.
 117. Bougouin, A., et al., Prediction of nitrogen excretion from data on dairy cows fed a wide range of diets compiled in an intercontinental database: A meta-analysis. *J Dairy Sci*, 2022. 105(9): p. 7462-7481.
 118. Spek, J.W., Dijkstra, J., Van Duinkerken, G., Hendriks, W.H., Bannink, A., Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in northwestern Europe and North America: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 2013. 96(7): p. 4310-6265.
 119. Doornewaard, G., Kok, A., Daatselaar, C., Beldman, A., Verkenning economische prestatie melkveehouderij in relatie tot duurzaamheidsdoelen, WUR, Editor. 2023.
 120. Weiss, B., Ammonia emissions from dairy farms - the basics, in *Buckeye dairy news*. 2005.
 121. Van den Pol-van Dasselaar, A.P., A.P.; De Haan, M.H.A., Economisch weiden. Wageningen Livestock Research, 2013. 679.
 122. Evers, A.D.H., M.; Van den Pol-Van Dasselaar, A.; Philipsen, B., Weiden onder moeilijke omstandigheden, in *Wageningen Livestock Research*. 2008.

Grondgebonden melkveehouders willen bewijzen dat via hun management ammoniakemissies effectief gereduceerd kunnen worden. Na studie van alle mogelijk soortige managementmaatregelen zijn de intensiteit van het bedrijf, het tankmelkureum en het aantal dagen en uren weidegang als meest kansrijk geïdentificeerd om ammoniakemissie te reduceren. In deze publicatie beschrijven we de wetenschappelijke onderbouwing en laten we zien hoe dit in de praktijk gebruikt kan worden. Als melkveehouders hiermee aan de slag gaan, zal dit terugkomen in de nationale emissie-rapportage (NEMA).

