

Beantwoording kennisvraag 'emissiearme aanwending van spuiwater, vloeibare stikstofmeststoffen en ureummeststoffen'

Auteurs: I. Regelink (Wageningen Environmental Research), W. van Dijk, W. van Geel en
J. Huijsmans (Wageningen Plant Research).

Samenvatting

Aanleiding

Bij de toediening van stikstofhoudende meststoffen kunnen ammoniakemissies ontstaan. Voor dierlijke mest is het daarom verplicht om deze emissiearm toe te dienen, maar voorschriften voor gebruik van spuiwater en ureum- en ammoniumhoudende kunstmeststoffen ontbreken. Het ministerie van LNV heeft Wageningen Research gevraagd om te verkennen of het wenselijk is om voorschriften in te voeren voor de toediening van (i) spuiwater uit mestverwerking, (ii) vloeibare stikstofkunstmeststoffen en (iii) vaste ureumhoudende kunstmeststoffen.

Spuiwater uit mestverwerking

Spuiwateren van mestverwerkingsinstallaties en luchtwassers bestaan uit oplossingen van ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat. Bij gebruik van spuiwater op kalkarme gronden is de ammoniakemissie laag ongeacht de wijze van toediening. Op kalkhoudende gronden is er een verschil tussen spuiwater o.b.v. ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat. Ammoniumsulfaat kan op kalkhoudende gronden hoge ammoniakemissies geven door een reactie tussen sulfaat en kalk waarbij NH_4 wordt omgezet naar het vluchtige NH_3 . Een emissiearme toediening is dan effectief om emissies te verlagen. Ammoniumnitraat heeft ook op kalkrijke grond een lage emissiefactor waardoor een emissiearme toediening vanuit het oogpunt van emissiereductie niet nodig is. Toch zal spuiwater in de praktijk - bij gebruik op beteeld bouwland en grasland - altijd emissiearm worden aangewend om gewasschade (verbranding) te voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld met een spaakwielbemester of kouterbemester. Op niet-beteeld bouwland kan spuiwater oppervlakkig worden toegediend met een veldspuit, wat een snellere manier van aanwending is, en die werkwijze is veilig tenzij het ammoniumsulfaat op een kalkhoudende grond betreft. Kalkhoudende gronden beslaan ca 24% van het landbouwareaal.

Vloeibare stikstofkunstmeststoffen waaronder ureumhoudende kunstmeststoffen

Vloeibare ureumhoudende kunstmeststoffen waaronder ureum, Urea of NTS, zijn emissiegevoelig ongeacht de pH van de bodem. Het is mogelijk om deze meststoffen emissiearm toe te dienen met een spaakwielbemester of daartoe geschikte kouterbemester, maar het is gangbare landbouwpraktijk om deze meststoffen oppervlakkig toe te dienen met een veldspuit. Bij gebruik van een veldspuit is het bijmengen van een ureaseremmer (NBPT of NBPT/NPPT) effectief. De generieke emissiefactor voor vloeibare ureumhoudende meststoffen is 7,5% bij oppervlakkige toediening, 3,1% bij gebruik van een ureaseremmer en 1,5% bij emissiearme aanwending. Voor vloeibare ammoniummeststoffen, zoals Anasol en spuiwater, gelden dezelfde adviezen als voor spuiwater uit dierlijke mest.

Vaste ureumhoudende kunstmeststoffen

Vaste ureumhoudende kunstmeststoffen worden gebruikt op grasland en bouwland. Oppervlakkige toediening van ureumhoudende meststoffen zonder ureaseremmer leidt tot hoge ammoniakemissies (generieke emissiefactor 14,3%) maar de emissie hangt sterk af van de weerscondities en wijze van toediening. Ongeveer de helft van de ureumhoudende korrels wordt met ureaseremmer (NBPT of NBPT/NPPT) toegepast en dit verlaagt de ammoniakemissies (generieke emissiefactor 5,9%). Op onbeteeld bouwland kunnen deze ureumkorrels zonder remmer emissiearm worden toegediend door deze in de bodem te brengen bijvoorbeeld met een rijenbemester of direct na strooien in te werken via een grondbewerking

Samengevat is het advies om een emissiearme toediening voor te schrijven voor:

- (i) vloeibare meststoffen o.b.v. ammoniumsulfaat (spuiwater en kunstmest) bij gebruik op kalkhoudende grond
- (ii) ureumhoudende meststoffen (vloeibaar en vast) zonder ureaseremmer.

Toedieningsvoorschriften zijn niet nodig of minder effectief voor vloeibare ammoniumsulfaatmeststoffen op kalkloze grond, vloeibare ammoniumnitraatmeststoffen (spuiwater, inclusief spuiwater van biologische wassers, kunstmest) en ureumhoudende meststoffen toegediend met een ureaseremmer.

1. Inleiding

Bij de toediening van stikstofhoudende meststoffen kunnen gasvormige verliezen ontstaan door ammoniakvervluchtiging. Voor het gebruik van dierlijke mest is in het Besluit Activiteiten Leefomgeving (BAL) vastgelegd dat deze meststoffen emissiearm toegediend moeten worden om ammoniakemissies naar de lucht zoveel mogelijk te beperken. Hiertoe zijn richtlijnen opgesteld op basis van de best beschikbare technieken (BBTs) voor toediening van mest¹. Voor vloeibare stikstofkunstmeststoffen en vaste ureummeststoffen zijn er op dit op moment geen voorschriften ten aanzien van de toedieningstechniek. Het ministerie van LNV heeft Wageningen Research gevraagd om te verkennen of het wenselijk is om voorschriften voor de toediening van vloeibare stikstofkunstmeststoffen en vaste ureummeststoffen in te voeren.

Deze kennisbehoefte is ontstaan vanuit twee ontwikkelingen:

1. Herwonnen stikstofmeststoffen uit dierlijke mest, zoals mineralenconcentraat en spuiwater afkomstig van strippers, vallen tot nu toe onder de gebruiksnorm voor dierlijke mest. De Europese Commissie (EC) heeft een voorstel ingediend om het gebruik van herwonnen stikstofmeststoffen uit dierlijke mest (RENURE meststoffen²) boven de gebruiksnorm dierlijke mest mogelijk te maken³. Recent heeft het Nitraat Comité ingestemd met dit voorstel. Er wordt verwacht dat de productie en het gebruik van RENURE meststoffen toeneemt wanneer deze stoffen erkend zijn als kunstmestvervanger. Het voorstel van de EC wijst op risico's voor ammoniakemissies bij het gebruik van RENURE meststoffen en geeft een aanbeveling om emissie-reducerende toedieningstechnieken voor te schrijven indien de pH van de RENURE meststof hoger is dan 5,5 en stikstof voor meer dan 60% aanwezig is in de vorm van ammonium. Voor mineralenconcentraten gelden de toedienvoorschriften voor dierlijke mest maar deze voorschriften zijn niet toepasbaar voor spuiwater gelet op de grote verschillen in stikstofgehalte en zuurgraad. Voor spuiwater is het daarom wenselijk om te verkennen of er risico's zijn op ammoniakemissies en zo ja, welke toedieningstechnieken effectief zijn om deze emissies te beheersen. Het ligt daarbij voor de hand om tevens vloeibare stikstofmeststoffen van andere herkomst, zoals vloeibare kunstmeststoffen en spuiwaters van andere bronnen, in het onderzoek mee te nemen.
2. Het gebruik van ureummeststoffen in de Nederlandse landbouw is de laatste decennia sterk gestegen. Op basis van data uit het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA) is het gebruik van vloeibare ureumhoudende meststoffen sinds 2000 gestegen van 1,2 mln kg N naar 20,7 mln N in 2022 (Van Bruggen et al., 2024). In diezelfde periode steeg het gebruik van vaste ureumhoudende meststoffen van 0,2 naar 15,3 mln kg N. Ureumhoudende meststoffen (vloeibaar en korrel) beslaan daarmee 19% van het totale gebruik aan stikstofmeststoffen (194 mln kg N in 2022) in de landbouw. Het is bekend dat ureummeststoffen emissiegevoelig zijn. De toename in het gebruik van ureummeststoffen hangt samen met de toelating van de stof NBPT (N-(n-butyl)thiophosphoric triamide) als ureaseremmer in het jaar 2000 waardoor het mogelijk werd om ammoniakemissies van ureummeststoffen te beperken. Ureummeststoffen kunnen

¹ <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/milieubelastende-activiteiten-hoofdstuk-3-bal/activiteiten/bodem-brengen-meststoffen/beste-beschikbare-technieken-emissiearm-aanwenden/>

² REcovered Nitrogen from manURE.

³ <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14242-Nitrates-updated-rules-on-the-use-of-certain-fertilising-materials-from-livestock-manure-RENURE-en>.

prijstechnisch concurreren met KAS meststoffen. In Vlaanderen⁴ en Duitsland⁵ zijn er wettelijke voorschriften om ammoniakemissies bij gebruik van vloeibare en korrelvormige ureumhoudende meststoffen te beperken. Nederland heeft geen voorschriften ten aanzien van de toediening van ureumhoudende meststoffen.

Het ministerie van LNV heeft Wageningen Research gevraagd om de volgende vragen te beantwoorden:

1. *Spuiwaters uit mestverwerking*

- a. Om wat voor meststof gaat dit? Met welke mogelijke samenstellingen en eigenschappen?
- b. Welke factoren zijn van invloed op de risico's en potentiële ammoniakemissies bij toediening van deze spuiwaters?
- c. Is het de verwachting dat het risico op het ontstaan van ammoniakemissies kan worden gereduceerd als er één of meerdere specifieke technieken worden voorgeschreven bij toediening? Hoe kunnen deze techniek(en) worden omschreven?
- d. Is het in de huidige landbouwpraktijk werkbaar en zijn deze machines voorhanden bij ondernemers (landbouwers of loonwerkers) zodat zij gebruik kunnen gaan maken van deze techniek(en)?

2. *Vloeibare stikstof kunstmest (bijv. ureum)*

- a. Welke vloeibare stikstofmeststoffen (niet verkregen door verwerking van dierlijke mest) worden gebruikt in open teelten? Wat zijn van deze meststoffen de eigenschappen?
- b. Bij welke vloeibare meststoffen is er een risico op ammoniakemissie? Welke factoren zijn van invloed op de risico's en potentiële ammoniakemissies bij toediening van deze vloeibare meststoffen?
- c. Is het de verwachting dat het risico op het ontstaan van ammoniakemissies kan worden gereduceerd als er één of meerdere specifieke technieken worden voorgeschreven bij het aanwenden van vloeibare kunstmest?
- d. Is het in de huidige landbouwpraktijk werkbaar en zijn deze machines voorhanden bij ondernemers (landbouwers of loonwerkers) zodat zij gebruik kunnen gaan maken van deze techniek(en)?

3. *Korrelvormige ureummeststoffen*

- a. Welke vaste ureumhoudende stikstofmeststoffen worden gebruikt in open teelten? Wat zijn van deze meststoffen de eigenschappen?
- b. Bij welke vaste ureumhoudende is er een risico op ammoniakemissie? Welke factoren zijn van invloed op de risico's en potentiële ammoniakemissies bij toediening van deze meststoffen?
- c. Is het de verwachting dat het risico op het ontstaan van ammoniakemissies kan worden gereduceerd als er één of meerdere specifieke technieken worden voorgeschreven bij het aanwenden van ureumhoudende kunstmestkorrels?
- d. Is het in de huidige landbouwpraktijk werkbaar en zijn deze machines voorhanden bij ondernemers (landbouwers of loonwerkers) zodat zij gebruik kunnen gaan maken van deze techniek(en)?

⁴ In Vlaanderen is het verplicht om ureumhoudende meststoffen op betaalde en niet-betaalde gronden emissiearm aan te wenden (injectie of direct inwerken) of een ureaseremmer te gebruiken. Er is een uitzondering voor bladmeststoffen (<10 kg N/ha) en voor stikstofmeststoffen die minder dan 50% ureum (van totaal N) bevatten en worden toegepast op betaald bouwland.
<https://www.vlm.be/nl/themas/waterkwaliteit/Mestbank/bemesting/aanwenden-van-mest/emissiearme-toediening/Paginas/default.aspx>

⁵ In Duitsland is een ureaseremmer verplicht tenzij de ureumhoudende meststof binnen vier uren wordt ingewerkt (tot 2025). Per 2025 geldt een inwerkplicht binnen één uur. Dit geldt voor zowel vaste als vloeibare ureumhoudende meststoffen (Düngeverordnung).

2. Beantwoording kennisvragen

Vraag 1. Spuiwaters uit mestverwerking

1a. Om wat voor meststof gaat dit? Met welke mogelijke samenstellingen en eigenschappen?

De term spuiwater wordt gebruikt voor waterige oplossingen afkomstig uit installaties waar ammoniakrijke lucht wordt behandeld door deze door een zure water te leiden. Daarbij bindt de ammoniak met het zuur. Deze gassen kunnen afkomstig zijn uit stallen, installaties waar mest of andere reststromen worden bewerkt of bewust geproduceerd worden als onderdeel van een mestverwerkingsconcept (stikstofstrippers).

Voorbeelden van spuiwaters die reeds verhandeld worden zijn:

- Spuiwater van chemische, biologische of combi-luchtwassers in stallen (overige anorganische meststof).
- Spuiwater van luchtwassers bij installaties waar organische reststromen zoals GFT afval of zuiveringsslib worden verwerkt of van luchtwassers bij zuivelfabrieken (overige anorganische meststof).
- Spuiwater van mestverwerkingsinstallaties waarbij stikstof uit dierlijke mest wordt gestript door beluchting en de ammoniak in een zure water wordt teruggewonnen (RENURE)

Spuiwaters afkomstig van luchtwassers zijn opgenomen op Bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet (URM) en mogen als overige anorganische meststof in de landbouw gebruikt worden. Dit geldt ook voor spuiwaters waarbij de ammoniakrijke lucht afkomstig is vanuit stromen anders dan dierlijke mest. Spuiwaters die bewust geproduceerd worden als onderdeel van een mestverwerkingsconcept, zoals bij het strippen en scrubben van stikstof, vallen onder de gebruiksnorm voor dierlijke mest. Om deze laatste groep spuiwaters in te kunnen zetten als kunstmestvervanger is een erkenning van RENURE nodig. Deze mestverwerkingsconcepten bestaan veelal uit een combinatie van vergisting en dik/dun scheiding waarna de dunne fractie wordt behandeld in de stikstofstripper. Hiervoor kan zowel runderdrijfmest als varkensmest gebruikt worden. Door vergisting stijgt het aandeel ammoniakaal stikstof, de pH en de temperatuur waardoor het strippen van stikstof sneller en efficiënter verloopt dan bij niet-vergiste drijfmest.

Spuiwaters zijn heldere vloeistoffen zonder deeltjes. De vloeistof kan kleurloos zijn of een lichte gelige of bruinige kleur hebben door de aanwezigheid van vluchtige vetzuren. Afhankelijk van de keuze voor het zuur in de water bestaat spuiwater uit een oplossing van ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat. Ammoniumsulfaatoplossingen ontstaan wanneer de zure water gevoed wordt met zwavelzuur (H_2SO_4). Ammoniak reageert daarbij met zwavelzuur volgens reactie 1 waarbij ammoniumsulfaat ontstaat.



Ammoniumsulfaatoplossingen kenmerken zich door een vrij vaste verhouding tussen ammonium en sulfaat. Wanneer het beschikbare zwavelzuur volledig benut wordt om ammoniak te binden, ontstaat een oplossing met een molaire zwavel/stikstof verhouding van 1:2. Dit komt overeen met 1,1 kg zwavel (S) per kg stikstof (N). Tabel 1 geeft een indicatief beeld van de stikstofconcentraties in spuiwaters van verschillende herkomst. Spuiwaters op basis van ammoniumsulfaat bevatten circa 50-85 kg N/ton wanneer deze afkomstig zijn van strippers-scrubbers of industriële luchtwassers. Spuiwaters afkomstig van luchtwassers van veestallen hebben veelal lagere en meer variabele stikstofgehalten (Huygens et

al., 2020). De stikstofconcentratie in spuiwaters is grofweg tien keer hoger dan in runderdrijfmest (ca. 4 kg N/ton) maar lager ten opzichte van vloeibare kunstmeststoffen (ca. 200-350 kg N/ton).

Spuiwater op basis van ammoniumnitraat ontstaat wanneer de zure wasser gevuld wordt met salpeterzuur (HNO_3) in plaats van zwavelzuur. Daarbij reageert ammoniak met salpeterzuur tot ammoniumnitraat volgens reactie 2.



Ammoniumnitraatoplossingen bevatten hierdoor meer stikstof dan ammoniumsulfaatoplossingen tot circa 150 kg N/ton (Tabel 1). Op dit moment is de productie van ammoniumnitraatoplossingen zeer beperkt omdat de kostprijs van salpeterzuur hoger is dan van zwavelzuur. In de toekomst kan de productie van ammoniumnitraat wel stijgen omdat de afzetmarkt voor ammoniumsulfaatoplossingen beperkt is vanwege het hoge aandeel zwavel in deze meststoffen.

Spuiwater uit biologische wassers of combiwassers bestaat ook uit een oplossing van ammoniumnitraat. In een biologische luchtwasser wordt ammonium uit de gasfase opgevangen door absorptie in water en vervolgens biologisch omgezet naar nitraat. Bij deze omzetting wordt zuur geproduceerd waardoor de oplossing een lichtzure tot neutrale pH-waarde heeft (5,5–6,5). In tegenstelling tot een chemische wasser wordt er dus geen zuur toegediend maar is de verzuring een gevolg van de biologische omzetting. De stikstofgehalten in spuiwater uit biologische en combiwassers zijn veel lager dan in spuiwater van chemische scrubbers. Als indicatie geldt voor deze spuiwaters een stikstofgehalte van 1 tot 4 kg N/ton waarbij circa 50% van de stikstof aanwezig is als nitraat en 50% als ammonium (Melse et al., 2011).

Spuiwaters zijn doorgaans oplossingen met een lichtzure tot neutrale pH. Spuiwaters afkomstig van luchtwassers uit veestallen zijn doorgaans zuurder dan spuiwaters afkomstig van mestverwerkingsinstallaties (scrubbers) omdat er in de luchtwassers een overmaat aan zuur nodig is voor een goede werking. Scrubbers werken in batches waardoor de oplossing volledig met ammonium verzadigd raakt tot een neutrale pH wordt bereikt. Daarbij wordt meestal gestuurd op een pH van 5,0 maar metingen aan spuiwaters uit strippers laten zien dat de pH-waarden variëren tussen pH 3 en pH 7 (Tabel 1). Deze variatie in pH komt ook voor bij herhaaldelijke monitoring bij dezelfde producent en komt door de afwezigheid van een buffer in spuiwater. Spuiwater bevat geen bicarbonaat wat wil zeggen dat pH niet gebufferd wordt. Spuiwater is daarmee anders dan een dierlijke mest, waarin juist veel bicarbonaat aanwezig is en waardoor de pH langdurig wordt gebufferd. De pH-bufferende werking bij hoge pH (6,5-8) in dierlijke mest zorgt ervoor dat emissies van ammoniak lange tijd kunnen aanhouden. In spuiwater is deze bufferende werking niet aanwezig en daarom is de pH van spuiwater geen goede indicator voor de emissiegevoeligheid.

Tabel 1 Samenstelling spuiwaters (kg N en S per ton) uit mestverwerkingsinstallaties

Herkomst	Type	N-to	N-NH ₄	N-NO ₃	S-tot	pH	Toelichting/referentie
Spuiwaters van diverse herkomst	NH ₄ SO ₄	18 – 75	>95%	n.v.t.	Geen data	1,8 - 7,5	Range voor 14 spuiwaters uit de SafeManure studie (luchtwassers en mestverwerkingsinstallaties) ¹
Spuiwater stikstofstripper	NH ₄ SO ₄	65	62	-	73	5,3	Boerderijschaal stikstofstripper en scrubber op digestaat van runderdrijfmest. Gemiddelde en standaardafwijking van 13 metingen. FERTIMANURE project ^{2,6}
Spuiwater stikstofstripper	NH ₄ SO ₄	82	82	-	-	2,8	Spuiwater van een stikstofstripper, varkensmest ³
Spuiwater stikstofstripper	NH ₄ SO ₄	74	74	-	81	5,6	Stikstofstripper en scrubber gevoed met varkensdrijfmest. Gemiddelde van 15 metingen. FERTIMANURE project ²
Spuiwater stikstofstripper	NH ₄ NO ₃	153	76	77	<0,5	6,0	Stikstofstripper en scrubber gevoed met varkensdrijfmest. Gemiddelde van 15 metingen. FERTIMANURE project ²
Spuiwater stikstofstripper	NH ₄ NO ₃	114	52	54	<0,1	5,0	Boerderijschaal stikstofstripper en scrubber gevoed met digestaat van runderdrijfmest. ⁴
Biologische luchtwasser	NH ₄ NO ₃	2–5	1–2,5	1–2,5	n.g	5,5–6,5	Biowasser, één locatie ⁵

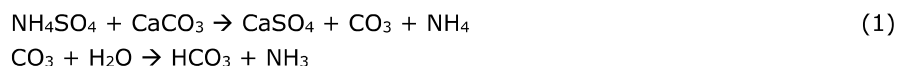
¹Huygens et al., 2022; ²You et al., 2023; ³Hendriks et al., 2022; ⁴niet-gepubliceerde data NitriNure project; ⁵Melse & Ploegaert, 2011;

1b. Welke factoren zijn van invloed op de risico's en potentiële ammoniakemissies bij toediening van deze spuiwaters?

Bij toediening van stikstofmeststoffen en dierlijke mest kunnen ammoniakemissies optreden. De mate waarin emissies optreden hangen af van een groot aantal factoren waaronder de eigenschappen van de meststof, de weerscondities, bodemeigenschappen en de wijze van toediening. Er zijn wel wezenlijke verschillen in de factoren die emissies sturen bij gebruik van drijfmest versus spuiwaters. Ook zijn er verschillen tussen spuiwaters op basis van ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat.

Spuiwaters zijn waterige oplossingen van ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat. Spuiwater is vanuit zichzelf een emissiearme meststof omdat er geen bicarbonaat aanwezig is om de pH te bufferen. Wanneer er NH₃ vervluchtiging optreedt, daalt de pH van de meststof waardoor verdere emissie niet meer plaats vindt. Dit is omdat er bij de Het proces remt zichzelf. Drijfmest is daarentegen vanuit zichzelf emissiegevoelig door de hoge pH en een hoog pH-bufferend vermogen waardoor de emissie langdurig door kan gaan.

Bij toediening van spuiwater op landbouwgrond kunnen wel emissies optreden en de pH en het kalkgehalte van de bodem spelen daarbij een belangrijke rol. Bij toediening op de bodem komt spuiwater in contact met de bodem en vanaf dat moment stuurt de pH van de bodem het risico op emissies. In kalkarme gronden is de pH van de bodem doorgaans lager dan 6,0 en onder die omstandigheden zijn de emissies laag (Sommers et al. 1994, Powlson et al., 2020). Op kalkhoudende gronden is de pH van de bodem doorgaans tussen 6,5 en 7,5 en daarbij neemt de kans op ammoniakemissies bij oppervlakkige toediening toe. Het risico op ammoniakemissies bij gebruik van spuiwater op kalkhoudende gronden is hoger voor ammoniumsulfaat dan voor ammoniumnitraat (Sommers et al., 2004). Dit is ten eerste omdat stikstof in ammoniumnitraat voor 50% aanwezig is in de vorm van nitraat wat niet als ammoniak kan vervluchtigen. Daarnaast reageert ammoniumsulfaat met kalk (CaCO₃) waarbij gips (CaSO₄) ontstaat en carbonaat (CO₃) vrijkomt waardoor lokaal de pH stijgt en het evenwicht NH₄/NH₃ verschuift naar het vluchtige NH₃ (vergelijking 1). Ammoniumnitraat reageert niet met kalk waardoor deze meststof op kalkhoudende grond minder emissie geeft.



De grote rol van bodem-pH op de ammoniakemissies bij gebruik van ammoniumsulfaatmeststoffen blijkt uit een meta-analyse waarin data van 11 laboratoriumproeven en 30 veldproeven zijn gecombineerd (Powlson et al., 2002). Deze studie laat zien dat er nauwelijks ammoniakemissies optreden bij gebruik van ammoniumsulfaat op gronden met een pH lager dan 7,0 terwijl de kans op emissies beduidend toeneemt bij een hogere pH. In die studie werden data van vloeibare en korrelvormige ammoniumsulfaatmeststoffen gecombineerd terwijl verwacht mag worden dat de emissies lager zijn bij gebruik van een meststof in vloeibare vorm. Een vloeistof trekt immers sneller de bodem in waardoor de tijdsduur waarover emissies kunnen plaatsvinden korter is.

Specifiek voor spuiwater zijn er maar een beperkt aantal studies waarin emissies zijn gemeten. In een labopstelling was de emissie bij emissiearme toediening van spuiwater (ammoniumsulfaat) op een kalkloze zandgrond onder de aantoonbaarheidsgrens (Rietra et al., 2024). Daarnaast zijn er niet-gepubliceerde data van emissie-metingen uit het PPS project KNAP. Daarbij werd spuiwater (ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat) uit scrubbers toegediend op een kalkloze zandgrond en een kalkhoudende kleigrond. Op de kalkloze zandgrond was de emissie bij oppervlakkige toediening van ammoniumsulfaat spuiwater zeer laag en vergelijkbaar met de referentie KAS. Dezelfde ammoniumsulfaat meststof oppervlakkig aangebracht (veldspuit) op een kalkhoudende kleigrond gaf echter zeer hoge emissie en lag ruim boven de referentiemeststof KAS. Ammoniumnitraat gaf daarentegen zowel op de kalkloze als de kalkhoudende grond een zeer lage emissie (vergelijkbaar met of lager dan KAS). De absolute emissie is weliswaar wel hoger op kalkhoudende grond; dat geldt voor alle ammoniumhoudende meststoffen. Deze data bevestigen het beeld uit literatuur dat ammoniumsulfaat op kalkhoudende grond een risico vormt voor emissies vanwege de reactie tussen sulfaat en kalk (Liu et al., 2007). Op kalkhoudende grond heeft het gebruik van ammoniumnitraat daarom de voorkeur. Kalkhoudende gronden beslaan ca 24% van het landbouwareaal in Nederland en dit zijn met name de zeekleigronden en een deel van de rivierkleigronden (www.bodemdata.nl/themakaarten)

In het NEMA model wordt voor spuiwater (ammoniumsulfaat) een emissiefactor van 1,8% gehanteerd. Voor ammoniumsulfaat in korrelvorm staat een emissiefactor van 11,3%. De emissiefactor voor spuiwater is eerder op basis van expert judgement vastgesteld omdat er destijds geen emissiedata voorhanden waren. De emissiefactor betreft een gewogen gemiddelde waarde voor de emissie op kalkhoudende en kalkloze gronden en waarbij ook is aangenomen dat een deel van het spuiwater emissiearm wordt aangewend (Van Bruggen et al. 2017).

Daarnaast spelen de weerscondities en vochtgehalte van de bodem een belangrijke rol op de hoeveelheid ammoniak die verloren gaat. De eigenschappen van de meststof en de bodem bepalen dus óf er risico is op ammoniakemissies en de weerscondities zijn van invloed op de hoogte van de emissies. Voor spuiwater betekent dit dat de hoogste emissies verwacht worden bij toediening van ammoniumsulfaat op kalkhoudende grond in combinatie met warme en droge omstandigheden. Dezelfde toediening op een vochtige bodem en bij neerslag zal lagere emissies geven. Maar bij gebruik van spuiwater op een kalkloze grond of bij gebruik van ammoniumnitraat, is de emissiegevoeligheid laag en spelen weerscondities nauwelijks een rol. Emissiearme toediening (bij in ieder geval dierlijke mest) reduceert de invloed van weersomstandigheden op de hoogte van de emissie ten opzichte van niet emissiearm (de emissiearme toediening is de hoofdoorzaak van de verlaagde emissie).

1c. Is het de verwachting dat het risico op ammoniakemissies kan worden gereduceerd als er één of meerdere specifieke technieken worden voorgeschreven bij toediening? Hoe kunnen deze techniek(en) worden omschreven?

Effect van toedieningstechniek op ammoniakemissies

Bij het vaststellen van mogelijkheden om ammoniakemissies te reduceren, moet onderscheid gemaakt worden tussen kalkloze en kalkhoudende gronden.

Op kalkloze gronden is het risico op ammoniakemissies laag. In literatuur en nog niet gepubliceerde emissiemetingen vanuit het K NAP project blijven emissies <5% en veelal <2% (Sommers et al., 1993, Rietra et al., 2024, Siguna et al., 2002). Het is dan niet zinvol om een emissiearme toediening voor te schrijven. Op grasland is het is echter wel gangbare landbouwpraktijk om spuiwater in de bodem toe te dienen vanwege het risico op gewasschade door verbranding. Dit geldt ook bij toediening op beteeld bouwland, al is die toepassing nog erg beperkt.

Op kalkhoudende gronden is er een groter risico op ammoniakemissies bij oppervlakkige toediening van spuiwater en dan met name bij gebruik van ammoniumsulfaat. In dat geval is emissiearme toediening zinvol. Het is bekend dat het emissiearme toedienen, waarbij de meststof in de grond wordt gebracht, effectief is om ammoniakemissies te verlagen omdat daarbij minder contact is met de lucht (Huijsmans & Hol, 2011; Rochette et al., 2013). Er is veel onderzoek gedaan naar effect van toedieningsmethodiek op de emissies vanuit drijfmest maar voor spuiwater zijn er geen gepubliceerde data die het effect van toedieningstechniek aantonen. Wel is er niet-gepubliceerde data van een recente emissieproef voor het PPS project K NAP waarin oppervlakkige toediening en inwerken werd vergeleken voor een ammoniumsulfaat spuiwater op een kalkrijke kleigrond (zie paragraaf 1.1.2 voor een toelichting op de proef).. Bij emissiearme toediening van ammoniumsulfaat sSpuiwater op kalkhoudende grond daalde de emissie met 70% t.o.v. het oppervlakkig aangewende spuiwater. Bij de emissiearme aanwending was de emissiefactor vergelijkbaar met de emissie van de referentiemeststof KAS. Bij ammoniumnitraat was de emissie bij oppervlakkige toediening reeds laag waardoor het inwerken geen verdere emissiereductie geeft. . Bij het inwerken werd de meststof in een geultje aangebracht en dat werd vervolgens afgedekt met een laagje grond om de werking van een kouterbemester op bouwland te simuleren.

Toediening van spuiwater op grasland

Op grasland vindt oppervlakkige toediening van spuiwater niet of nauwelijks plaats omdat dit een risico geeft op verbranding van het gewas als gevolg van het hoge zoutgehalte en de lage pH van spuiwater. Het is daarom standaardpraktijk om een toedieningstechniek te gebruiken waarbij het spuiwater in de grond wordt gebracht. Voorbeelden van toedieningstechnieken die geschikt zijn om spuiwater op grasland in de bodem aan te wenden zijn de spaakwielbemester en kouterbemers.

Een spaakwielbemester bestaat uit ronde schijven met holle pennen die tijdens het rijden in de bodem drukken en daarbij kleine gaatjes in de bodem prikken. Zodra een injectie-pen in de bodem prikt wordt er onder druk een kleine hoeveelheid meststof in de bodem gebracht. De lengte van de pennen is doorgaans 7 a 8 cm wat betekent dat de meststof op die diepte wordt aangebracht. Een typische spaakwielbemester heeft 25 cm afstand tussen de wielen en 16 cm afstand tussen pennen (25 prikken per vierkante meter). Spaakwielbemers zijn ontworpen om vloeibare meststoffen met relatief lage doseringen uit te rijden en dit past bij de samenstelling van spuiwater.

Een kouterbemester bestaat uit schijven die een gleuf in de bodem trekken en waarbij de meststof in de gleuf wordt aangebracht. Er zijn verschillende technieken om de meststof via slangetjes naar het kouter te pompen en achter het kouter in de gleuf te brengen. Kouterbemers zijn beschikbaar in verschillende varianten en worden in de praktijk ook wel aangeduid als precisiebemester of rijenbemester, afhankelijk van de toepassing waarvoor de machines zijn ontwikkeld. Er zijn verschillende typen kouterbemers afgestemd op verschillende soorten vloeibare mest. Spuiwater moet worden uitgereden met een kouterbemester die geschikt is voor het uitrijden van vloeibare

kunstmest. Een kouterbemester ontwikkeld voor drijfmest is niet geschikt voor de aanwending van spuiwater omdat spuiwater meer geconcentreerd is en de dosering daarom veel lager ligt. Er bestaan ook bemesters die het uitrijden van drijfmest en een spuiwater combineren; het spuiwater wordt dan tijdens het uitrijden vanuit een aparte tank op de mestmachine gedoseerd in de gleuf gebracht. Er zijn geen emissiemetingen bekend van deze gecombineerde aanwending van spuiwater en mest maar vermoedelijk leidt dit tot meer emissies dan bij een aparte emissiearme toediening van spuiwater. In spuiwater van een biologische luchtwassers is de stikstofconcentratie laag en deze meststof kan uitgereden worden met een kouterbemester voor drijfmest (zodenbemester, graslandbemester).

Toediening van spuiwater op bouwland

Beteeld bouwland

Omdat spuiwater bij contact met het gewas kan leiden tot gewasverbranding is het reeds gangbaar om deze meststof op beteeld bouwland in de bodem aan te brengen.

Gangbare toedieningstechnieken zijn de kouterbemester en de spaakwielbemester:

- Een kouterbemester snijdt een geultje in de bodem waarachter de meststof wordt ingebracht en deze techniek kan worden toegepast op zowel onbeteeld als beteeld bouwland. Op beteeld bouwland kan een kouterbemester (rijenbemester) worden gebruikt voor bemesting in rij bij de inzaai van het gewas, bijvoorbeeld bij de zaai van mais. Zaaian en bemesten vinden dan in één werkgang plaats. Ook is het mogelijk dat de rijenbemesting met een kouter na opkomst van het gewas wordt uitgevoerd.
- De spaakwielbemester kan gebruikt worden op beteeld bouwland waarbij de meststof tussen het gewas in de bodem wordt gebracht. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt bij voorjaarsbemesting van wintertarwe, maar wordt ook wel toegepast bij de bijbemesting van snijmais.

Bij beide technieken wordt de meststof in de bodem gebracht en beide technieken kunnen hetgeen bijdraagt aan de emissiebeperking.

Niet-beteeld bouwland

Op niet-beteeld bouwland kunnen bovenbeschreven aanwendtechnieken ook gebruikt worden. Maar omdat er op niet-beteeld bouwland geen kans is op gewasverbrandingen, is het ook mogelijk om spuiwater voorafgaand aan de teelt met een veldspuit met spuitdoppen aan te wenden. De meststof wordt dan oppervlakkig op de bodem gespoten. Het is gebruikelijk om dit te doen kort voor het maken van een zaaibed. Op een kalkloze grond mag verwacht worden dat er nauwelijks emissies optreden bij het aanwenden van spuiwater met een veldspuit maar op een kalkhoudende grond kunnen wel emissies optreden. Het is dan belangrijk om direct na toediening van het spuiwater een grondbewerking toe te passen waarbij de meststof in de grond wordt gebracht. Voor drijfmest is bekend dat ammoniakemissies direct na toediening op gang komen en een groot deel van de totale toedieningsemissies plaats vindt binnen de eerste uren na toediening (Huijsmans en Hol, 2011; Velthof en Hummelink 2011). Naar verwachting geldt dit ook voor spuiwater en het is daarom van belang dat de tijd tussen toediening en onderwerken zo kort mogelijk is (op kalkhoudende grond).

Bij aardappelen kan het spuihoog in één werkgang worden toegediend tegelijk met de rugopbouw waarbij de meststof direct in de ruggen terecht komt. De meststof is dan alsnog direct afgedekt door de grond waarmee bijgedragen wordt aan emissiebeperking.

1d. Is het in de huidige landbouwpraktijk werkbaar en zijn deze machines voorhanden bij ondernemers (landbouwers of loonwerkers) zodat zij gebruik kunnen gaan maken van deze techniek(en)?

Bij gebruik van spuiwater op grasland is het reeds gangbare landbouwpraktijk om de meststof in de bodem aan te brengen om gewasschade (verbranding) te voorkomen. Hiervoor worden spaakwielbemesters en kouterbemesters gebruikt en deze machines zijn in de praktijk voorhanden.

Hiermee wordt spuiwater emissiearm aangewend. Oppervlakkige toediening van spuiwater op grasland komt in de praktijk niet voor.

Op bouwland zijn er meerdere manieren om spuiwater emissiearm aan te wenden bijvoorbeeld door de meststof toe te dienen met een spaakwielbemester of kouterbemester, of door de meststof oppervlakkig met een veldspuit toe te dienen en daarna direct onder te werken (op niet-beteeld bouwland). Deze apparatuur is in de praktijk beschikbaar. Sommige agrariërs hebben zelf apparatuur om spuiwater toe te dienen terwijl anderen dit uitbesteden aan een loonwerker.

Veel agrariërs beschikken zelf over een veldspuit waarmee spuiwater oppervlakkig toegediend kan worden. Vanwege de grote werkbreedte biedt toediening met een veldspuit een snelle en goedkope manier van werken. Omdat de meststof hierbij oppervlakkig wordt toegediend, kan deze werkwijze niet als emissiearm worden aangeduid. Met name op kalkrijke gronden kan deze werkwijze leiden tot hoge ammoniakemissies maar op niet-kalkhoudende gronden of bij gebruik van ammoniumnitraat is het risico laag. Het is dus effectief om ammoniumsulfaat op kalkhoudende gronden emissiearm aan te wenden of te vervangen door ammoniumnitraat.

Vraag 2. Vloeibare anorganische stikstofmeststoffen (waaronder ureum)

2a. Welke vloeibare meststoffen voor stikstofbemesting (niet verkregen door verwerking van dierlijke mest) worden gebruikt in open teelten? Wat zijn van deze meststoffen de eigenschappen?

Vloeibare stikstofmeststoffen kunnen eenvoudig gemengd worden en zodoende bieden meststoffenleveranciers een keur van producten aan onder verschillende merknamen. Al deze meststoffen bestaan in de basis uit (een combinatie van) ureum, ammoniumnitraat en/of ammoniumsulfaat.

Veelvoorkomende vloeibare stikstofmeststoffen, met tussen haakjes de verdeling van stikstof over de verschillende vormen, zijn:

- Ureum (100% ureum)
- Urean: Een mengsel van ureum met ammoniumnitraat (50% ureum; 25% NH_4 ; 25% NO_3)
- NTS: Een mengsel van urean met ammoniumthiosulfaat (47% ureum; 7,8% NH_4 ; 6,4% NO_3)
- Anasol: Een mengsel van ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat (75% NH_4 ; 25% NO_3)
- Spuiwater (niet-zijnde mest, erkend via Bijlage Aa van de URM) (100% NH_4 , bij biologische of combiwassers kan er ook nitraat inzitten))

Spuiwater valt onder de overige anorganische meststoffen wanneer het afkomstig is vanuit een procedé vermeld onder Bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Voorbeelden hiervan zijn spuiwater afkomstig van luchtwassers van stallen, spuiwater uit installaties voor de verwerking van GFT afval en zuiveringsslib, ammoniumnitraatoplossing van chemische luchtwassers van zuivelfabrieken. Naar schatting wordt er jaarlijks 10 mln kg N spuiwater van luchtwassers van veestallen geproduceerd (Van Bruggen et al., 2024). De hoeveelheid spuiwater van overige herkomst is onbekend.

Verder worden er meststoffen verhandeld bestaande uit mengsels van bovenstaande stikstofmeststoffen aangevuld met andere nutriënten (fosfaat, kalium) of sporenelementen. Ook zijn er producten die specifiek bedoeld zijn voor bladbemesting, meestal bestaande uit zuivere ureum in vloeibare vorm. Enkele producten zijn aangevuld met een ureaseremmer. In 2022 werd 1% van de vloeibare ureumhoudende meststoffen toegediend met een ureaseremmer (Van Bruggen et al., 2024).

Vloeibare meststoffen worden onder andere gebruikt omdat deze met een veldspuit snel, eenvoudig en met een hoge precisie over het perceel verdeeld kunnen worden. Ook de prijs speelt een overweging; vloeibare meststoffen kunnen voordeliger zijn dan KAS. Het gebruik van ammonium- en ureum stikstofmeststoffen wordt vooral geadviseerd bij vroege toepassingen zoals in de eerste snede van grasland (www.bemestingsadvies.nl). Dit omdat ureum- en ammoniumhoudende meststoffen minder uitspoelingsgevoelig zijn ten opzichte van nitraathoudende meststoffen zoals KAS wat een voordeel is bij overmatige neerslag na toediening. Op grasland wordt ammonium beter opgenomen dan nitraat. Daarnaast wordt ammonium wordt gebonden aan kleimineralen in de bodem en is dus daardoor minder mobiel in de bodem ten opzichte van nitraat. Dit effect is echter tijdelijk omdat ammonium in de bodem binnen enkele weken volledig wordt omgezet naar nitraat. Dit proces kan worden vertraagd door een nitrificatieremmer toe te voegen. Wanneer er geen sprake is van overmatige neerslag, is er geen verschil in nitraatuitspoeling. Dit blijkt ook uit recente meerjarige veldproeven van Van Dijk et al. (2024) waarin er geen verschil was in nitraatuitspoeling bij bemesting met KAS ten opzichte van een vaste ureummeststof met ureaseremmer op maaigrasland.

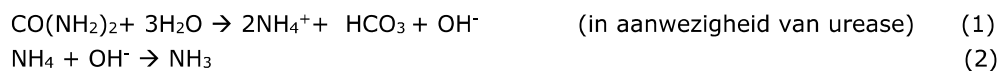
Vloeibare ureum wordt ook wel gebruikt voor bladbemesting omdat het gewas ureum direct via het blad kan opnemen. Ammoniumzouten en spuiwater zijn niet geschikt voor bladbemesting omdat deze meststoffen een hoog risico op gewasschade geven bij contact met het gewas.

2b. Bij welke vloeibare meststoffen is er een risico op ammoniakemissie? Welke factoren zijn van invloed op de risico's en potentiële ammoniakemissies bij toediening van deze vloeibare meststoffen?

Bij de risico's ten aanzien van ammoniakemissies uit vloeibare meststoffen kan onderscheid gemaakt worden naar vloeibare ureum(houdende) meststoffen en vloeibare ammoniumzouten (*i.e.* spuiwater, ammoniumnitraat, ammoniumsulfaat) zonder ureum.

Vloeibare ammoniumzouten, zoals spuiwater en Anasol, hebben een lage of neutrale pH en het risico op ammoniakemissies wordt voornamelijk bepaald door de bodemeigenschappen. Bij toediening op kalkloze gronden zijn de risico's op emissies laag maar bij toediening op kalkhoudende gronden kunnen er emissies optreden, met name bij gebruik van ammoniumsulfaat. Voor een verder toelichting wordt verwezen naar paragraaf 1b.

Ureumhoudende meststoffen zijn vanuit zichzelf emissiegevoelig waardoor hoge emissies kunnen optreden ongeacht de pH van de bodem. Ureum bestaat uit een organische stikstofverbinding welke in de bodem wordt omgezet naar ammonium en bicarbonaat (reactie 1). Hierdoor kan de pH lokaal stijgen tot pH 9,0 waardoor het evenwicht tussen NH_4/NH_3 verschuift in de richting van NH_3 (reactie 2) wat als gas kan vervluchtigen.



Als die sterke stijging van de pH plaatsvindt aan het oppervlak van de bodem, neemt het risico op NH_3 emissies toe. Bodemeigenschappen zijn wel een factor in de mate waarin ammoniak verloren gaat, er zijn immers verschillen in de mate waarin de bodem deze pH stijging kan neutraliseren. Verwacht wordt dat de emissie op kalkhoudende gronden wat hoger is, maar dit effect is niet zo sterk als bij ammoniumsulfaat. Door deze eigenschap heeft ureum een hoger risico op ammoniakemissies dan een meststof op basis van ammoniumnitraat of ammoniumsulfaat. Het enzym urease speelt een belangrijke rol bij de omzetting van ureum naar ammonium. Urease wordt geproduceerd door bacteriën en is altijd aanwezig in landbouwgronden. De omzetting van ureum naar ammonium begint direct na toediening van de meststof en na enkele dagen is alle ureum omgezet naar ammonium (Rochette et al., 2014). De piek in emissies vindt meestal plaats in de eerste 4 dagen maar bij droge weersomstandigheden kunnen emissies gedurende twee a drie weken na toediening optreden (Forrestal et al., 2016, Rochette et al., 2014). Er zijn synthetische stoffen op de markt, zogenaamde ureaseremmers, die de werking van het urease enzym tijdelijk remmen en daarmee de omzetting van ureum naar ammonium vertragen waardoor het risico op ammoniakemissies daalt (zie paragraaf 2c.).

De generieke emissiefactor voor oppervlakkige toediening van vloeibare ureumhoudende meststoffen is 7,5% van totaal stikstof (Van Bruggen et al., 2024). Er is veel onderzoek gedaan naar de ammoniakemissies bij gebruik van vaste ureummeststoffen maar niet veel naar vloeibare meststoffen. Een veelgebruikte vloeibare stikstofmeststof is Urean. Ammoniakemissies bij gebruik van Urean zijn lager dan bij ureumkorrels (Velthof et al., 2011) omdat een vloeibare meststof sneller in de grond trekt en omdat stikstof in urean voor 25% aanwezig is in de vorm van nitraat wat niet als ammoniak kan vervluchtigen. Evenals bij andere stikstofmeststoffen zijn de weerscondities van invloed op de mate waarin ammoniak vervluchtigt. In een veldproef in Denemarken werd de ammoniakemissie bij gebruik van urean op bouwland gedurende het seizoen bepaald. Bij toediening in april en augustus ging respectievelijk 7 en 17% van de stikstof verloren als ammoniak terwijl de ammoniakemissie verwaarloosbaar laag was bij toediening van Urean in een koude en natte periode (Nikolajsen et al., 2020). In veldproeven waarin Urean oppervlakkig werd toegediend op bouwland, bedroeg de ammoniakemissie 14% gemeten over drie seizoenen (Woodley et al., 2020). Ook voorlopige resultaten uit BO onderzoek (nog niet gepubliceerde data) wijzen op een vrij grote variatie in emissies bij gebruik van Urean waarbij de emissie soms vergelijkbaar is met de referentiemeststof KAS en soms veel hoger is ten opzichte van KAS maar altijd lager is dan van zuivere ureumkorrels. Deze verschillen zijn deels te linken aan verschillen in grondsoort waarbij voor alle ammoniumhoudende meststoffen geldt dat de kans op emissies hoger is in kalkhoudende gronden.

In de praktijk worden ureumhoudende vloeibare meststoffen vooral in het voorjaar toegepast omdat bekend is dat deze meststof emissiegevoelig is.

Bij bladmesting wordt een vloeibare meststof direct op het gewas gespoten waarbij het doel is om nutriënten via het blad te laten opnemen. Ureum is geschikt voor bladbemesting omdat gewassen in staat zijn om ureum via het blad op te nemen. Bij bladbemesting beperkt de gift zich tot 5-10 kg N/ha. De toediening vindt vaak meerdere keren gedurende het groeiseizoen plaats. Bladbemesting wordt onder andere toegepast in de aardappelteelt, eventueel gecombineerd met bespuiting van gewasbeschermingsmiddelen, en in de fruitteelt. Er is weinig bekend over het risico op ammoniakemissies bij gebruik van ureum voor bladbemesting. De inschatting is dat de emissie bij bladbemesting beperkt is vanwege omdat er naar verwachting geen sprake is van omzetting van ureum naar ammoniak op het blad.

2c. Is het de verwachting dat het risico op het ontstaan van ammoniakemissies kan worden gereduceerd als er één of meerdere specifieke technieken worden voorgeschreven bij het aanwenden van vloeibare kunstmest?

Vloeibare stikstofmeststoffen worden nu ofwel toegediend met een veldspuit voorzien van hiervoor geschikte spuitdoppen, injectie met een spaakwielbemester of injectie met een kouterbemester. De veldspuit wordt daarbij gebruikt voor toediening op niet-beteeld bouwland, beteeld bouwland (voornamelijk als voorjaarsbemesting op wintertarwe) en bij toediening op grasland. Bij oppervlakkige toediening met een veldspuit op beteeld bouwland en grasland is er risico op gewasverbranding en dit risico neemt toe wanneer de meststof bij zonnig weer wordt uitgereden. Leveranciers geven het advies om vloeibare meststoffen alleen oppervlakkig toe te dienen onder optimale condities namelijk bij een droog gewas, een bewolkte hemel en tegen de avond⁶. Toediening met een veldspuit is gangbare landbouwpraktijk vanwege de praktische voordelen waaronder de grote werkbreedte, geeft daarmee weinig rijsporen, en het lage brandstofverbruik ten opzichte van emissiearme toediening met een spaakwiel- of kouterbemers.

Voor ammoniumzouten, waaronder spuiwater en Anasol, gelden dezelfde adviezen als zijn beschreven voor spuiwater uit mestverwerking.

Het in de bodem brengen van vloeibare stikstofmeststoffen is effectief om het risico op ammoniakemissies te verlagen wanneer de condities gunstig zijn voor het optreden van emissies. Bij oppervlakkige toediening van ureumhoudende meststoffen is er een risico op hoge verliezen door ammoniakemissies omdat de hydrolyse van ureum tot ammonium leidt tot een sterke pH verhoging. Voor alle ammonium- en ureumhoudende meststoffen geldt dat het risico op ammoniakemissies vermindert wanneer de meststof in de bodem wordt aangebracht. Specifiek voor vloeibare ureumhoudende meststoffen zijn slechts enkele onderzoeken uitgevoerd naar emissies in relatie tot toedieningstechniek maar ook deze studies bevestigen de effectiviteit van het in de bodem toedienen ten opzichte van een oppervlakkige toediening. Dit blijkt bijvoorbeeld uit meerdere meerjarige veldstudies op bouwland waarbij injectie van Urean een sterke verlaging van emissies gaf ten opzichte van oppervlakkige toediening (Woodley et al, 2018, 2020). Wel wordt er gewezen op het belang van voldoende diepe injectie waarbij de gleuf na injectie weer dichtvalt (Woodley et al., 2018). Ook uit nog niet gepubliceerde data van lopend BO-onderzoek blijkt dat het in de grond aanbrengen (in een gleuf of gaatje) effectief is om emissies uit Urean te verlagen. De generieke emissiefactor in NEMA voor geïnjecteerde vloeibare ureumhoudende meststoffen is 1,5% (Van Bruggen et al., 2024). De technieken die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn gelijk aan de technieken voor spuiwater met wel het aandachtspunt dat stikstofgehalten in vloeibare stikstofmeststoffen hoger zijn dan in spuiwater en de techniek geschikt moet zijn om lage doseringen uit te rijden.

Ureaseremmers verlagen de ammoniakemissies uit ureumhoudende meststoffen door de omzetting van ureum naar ammonium te vertragen. Bij vaste ureumhoudende meststoffen is het gebruik van een ureaseremmer gangbaar maar bij vloeibare ureumhoudende meststoffen wordt nauwelijks gebruik gemaakt van ureaseremmers. Erkende ureaseremmers zijn de stoffen NBPT (N-(2-nitrophenyl)phosphoric acid triamide) en een mengsel van NBPT en NPPT (N-propylthiophosphorus triamide). Deze stoffen blokkeren de werking van het enzym urease waardoor de omzetting van ureum naar ammonium tijdelijk wordt geremd. Omdat ureum zelf niet vluchtig is, verlaagt dit het risico op ammoniakemissies. Ureaseremmers breken na verloop van tijd af waardoor zij hun werking verliezen en ureum alsnog wordt omgezet in ammonium. Wanneer de ureum voor die tijd in de bodem is getrokken, zullen de emissies daarna laag zijn. De werking van de ureaseremmer NBPT is in literatuur zeer goed onderzocht en in een meta-analyse is vastgesteld dat de ammoniakemissie met gemiddeld 60% daalt bij gebruik van NBPT in vergelijking met ureum zonder ureaseremmer (Schoof et al., 2025; Pan et al., 2016). Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt naar de werking bij vaste versus vloeibare

⁶ <http://www.fertiflow.eu/nl/toediening/veldspuit>

ureummeststoffen. Er is weinig onderzoek gedaan naar de werking van NBPT in combinatie met vloeibare ureummeststoffen maar de beschikbare studies bevestigen wel de werking van deze stof in combinatie met Urean (Woodley et al., 2015). In NEMA wordt uitgegaan van een emissiefactor van 3,1% van oppervlakkig toegediende vloeibare ureum met een ureaseremmer.

De stof ammoniumthiosulfaat (ATS), een bestanddeel van NTS, wordt soms ook aangeduid als een ureaseremmer. Hoewel NTS een veelgebruikte meststof is, zijn er maar enkele studies gedaan naar de ureaseremmende werking van deze stof. ATS heeft weliswaar een ureaseremmende werking maar de effectiviteit is beduidend lager en de werking minder consistent in vergelijking met NBPT (Pan et al., 2015; Grant et al., 1996) Emissies bij gebruik van NTS zullen naar verwachting vergelijkbaar zijn met emissies bij gebruik van Urean omdat het aandeel ureum in beide meststoffen vergelijkbaar is.

Nitrificatieremmers hebben als doel om de uitspoeling van nitraat te verminderen. Nitrificatieremmers kunnen worden toegevoegd aan vloeibare en vaste meststoffen en remmen de omzetting van ammonium naar nitraat. In het bemestingsadvies voor grasland wordt aangegeven nitrificatieremmers vooral te gebruiken bij de bemesting in de eerste snede (www.bemestingsadvies.nl). Ook bij bemesting in de nazomer/herfst bij herfst- en winterteelten kan gebruik van een nitrificatieremmer zinvol zijn. Nitrificatieremmers kunnen wel leiden tot een hogere ammoniakemissie omdat stikstof langer in de vorm van ammonium aanwezig blijft (Pan et al., 2015).

Volgens de registratie in NEMA wordt er jaarlijks 20,7 mln kg N in de vorm van ureumhoudende vloeibare meststoffen gebruikt (jaar 2022). Hiervan wordt 1% aangewend met een ureaseremmer, 29% geïnjecteerd (emissiearm) en 70% oppervlakkig aangewend (Van Bruggen et al., 2024). De bijbehorende ammoniakemissie is in NEMA berekend op 1,2 kton per jaar. De landelijke ammoniakemissie daalt met 0,6 kton wanneer een ureaseremmer verplicht wordt bij oppervlakkige aanwending van ureumhoudende vloeibare meststoffen. Dit is afgeleid op basis van de huidige emissiefactoren in NEMA. Op dit moment loopt er project waarin emissiefactoren opnieuw worden vastgesteld en wat mogelijk leidt tot herziening van de emissiefactoren in NEMA.

2d. Is het in de huidige landbouwpraktijk werkbaar en zijn deze machines voorhanden bij ondernemers (landbouwers of loonwerkers) zodat zij gebruik kunnen gaan maken van deze techniek(en)?

Spaakwielbemesters en kouterbemesters zijn veelvoorkomende bemesters en beschikbaar bij loonwerkers en een deel van de landbouwers. Wel zijn er praktische en kostentechnische redenen waarom landbouwers de voorkeur kunnen geven aan oppervlakkige toediening met een veldspuit. Vrijwel alle landbouwbouwers beschikken zelf over veldspuit omdat deze machines ook gebruikt worden voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen. Toediening met eigen apparatuur heeft omwille van kosten de voorkeur boven het inschakelen van een loonwerker. Het oppervlakkig uitrijden met een veldspuit is ook aantrekkelijker omdat deze machines een zeer grote werkbreedte hebben, daardoor minder rijsporen geven in het gewas en minder brandstof verbruiken ten opzichte van bemesters die een meststof in de grond aanbrengen. Voor spuiwater en ammoniumzouten zoals Anasol geldt dat deze veelal al emissiearm worden toegediend vanwege het risico op gewasverbranding.

Bij oppervlakkige toediening van ureumhoudende meststoffen kan een ureaseremmer zoals NBPT gebruikt worden om het risico op ammoniakemissies te verlagen. Deze ureaseremmers worden als vloeibaar additief verkocht met de bedoeling om ter plekke bij te mengen. Na het mengen moet de meststof binnen 14 dagen moeten worden toegepast omdat de ureaseremmer daarna zijn werking verliest. De kosten voor de aanschaf van een vloeibare ureaseremmer (NBPT) bedragen circa 10 euro per hectare bij een stikstofgift van 100 kg N/ha en vormen daarmee geen knelpunt. Het is niet duidelijk waarom er op dit moment nauwelijks gebruik gemaakt wordt van ureaseremmers bij vloeibare stikstofmeststoffen. Mogelijke verklaringen zijn de extra handelingen voor toediening, terughoudendheid in het gebruik van synthetische additieven, , onbekendheid, of omdat men verwacht dat de emissies bij toepassing onder gunstige condities al laag zijn.

Vraag 3. Vaste ureummeststoffen

3a. Welke vaste ureumhoudende meststoffen worden gebruikt in open teelten? Wat zijn van deze meststoffen de eigenschappen?

Korrelvormige ureumhoudende meststoffen worden onder diverse merknamen verhandeld. Ureummeststoffen worden aangeboden in zuivere vorm, dit zijn meststoffen met 46% N, en als blends waarin naast stikstof ook zwavel of andere (micro)nutriënten aanwezig zijn. Ureumkorrels worden zowel aangeboden met en zonder ureaseremmer. Een ureaseremmer zit daarbij opgenomen in de coating rondom het korreltje. Zuivere ureumkorrels zonder coating lossen snel op in water en kunnen ook gebruikt worden om op locatie een ureumoplossing te maken en deze als vloeibare meststof uit te rijden. Bij meststoffen met een coating komt het ureum trager vrij.

Korrelvormige ureumhoudende meststoffen worden volgens leveranciers vooral toegepast als voorjaarsmeststof op grasland en in mindere mate gebruikt op bouwland. Ureummeststoffen kunnen prijstechnisch concurreren met KAS (kalkammonsalpeter) wat de meest gebruikte stikstofkunstmest in Nederland is. Redenen om een ureummeststof te gebruiken zijn de tragere afgifte van ammonium en daardoor een tragere omzetting ammonium in nitraat en daarmee het lagere risico op nitraatuitspoeling bij overmatige neerslag in de periode na toediening. Door de introductie van ureaseremmers is het gebruik van vaste ureumhoudende meststoffen gestegen tot 15,3 mln kg N (Van Bruggen et al. 2024) maar het is niet bekend welke aandeel hiervan gebruikt wordt op grasland versus bouwland.

3b. Is er bij gebruik van ureumhoudende vaste meststoffen een risico op ammoniakemissies? Welke factoren zijn van invloed op de risico's en potentiële ammoniakemissies bij toediening van deze vaste meststoffen?

Ureummeststoffen zonder ureaseremmer zijn emissiegevoelig. Bij oppervlakkige toediening van ureumkorrels zonder ureaseremmer is er een groot risico op ammoniakemissies. Na toediening wordt ureum door het enzym urease omgezet tot ammonium en bicarbonaat waardoor de pH lokaal stijgt tot pH 9,0 en vervluchtiging van ammonium optreedt (Rochette et al., 2014). Een ureumkorrel geeft een hoger risico op ammoniakemissies ten opzichte van vloeibare ureummeststoffen omdat een vloeibare meststof sneller in de bodem trekt. Omdat ureum zelf zorgt voor een pH stijging van de bodem, is de pH van de bodem nauwelijks van invloed op de hoogte van de emissie (Liu et al., 2007; Sommer et al., 2004). Er is veel onderzoek gedaan naar ammoniakemissies bij ureummeststoffen omdat ureum wereldwijd gezien de belangrijkste stikstofmeststof is. In NEMA wordt gerekend met een emissiefactor van 14% voor ureumkorrels zonder ureaseremmer, gebaseerd op de reviewpaper van Bouwman et al., (2002). In proeven is de ammoniakemissie bij oppervlakkige aanwending van ureumkorrels zonder ureaseremmer vergelijkbaar met of hoger dan de emissie die optreedt bij emissiearme toediening van dierlijke mest (Velthof et al., 2011; niet-gepubliceerde emissiemetingen KNAP project, 2025). Er zijn veel factoren die een rol spelen in de hoogte van ammoniakemissies bij gebruik van ureumkorrels waaronder temperatuur, windsnelheid, neerslag en vochtgehalte van de bodem, wijze van toediening en gebruik van een ureaseremmer. Hierdoor is er een grote variatie in de hoogte van ammoniakemissies bij oppervlakkige toediening van korrelvormige ureum zonder ureaseremmer. Bijvoorbeeld, bij herhaaldelijke ammoniakmetingen op grasland op twee locaties varieerde de ammoniakemissies tussen 20 en 68% bij gebruik van ureummeststoffen zonder ureaseremmer (Forrestal et al., 2016). Emissies zijn hoger wanneer de ureumkorrels worden toegediend op een droge grond ten opzichte van een vochtige grond (Götze et al., 2023). Ook uit niet-gepubliceerde emissiemetingen uit labopstellingen blijkt dat NH₃ emissies uit ureumkorrels veelal substantieel hoger zijn dan vanuit KAS korrels. Er is een breed bereik in de absolute NH₃ emissies uit ureumkorrels wat betekent dat – wanneer de condities gunstig zijn voor het optreden van emissies – er veel stikstof verloren gaat in de vorm van ammoniak.

3c. Is het de verwachting dat het risico op het ontstaan van ammoniakemissies kan worden gereduceerd als er één of meerdere specifieke technieken worden voorgeschreven bij het aanwenden van ureumkorrels?

Op grasland worden ureumhoudende korrels met een kunstmeststrooier uitgestrooid en daarmee oppervlakkig toegediend. Leveranciers van ureumhoudende meststoffen geven het advies om op grasland een ureummeststof met ureaseremmer te gebruiken. Er zijn ureummeststoffen beschikbaar waarbij een ureaseremmer is verwerkt in de coating van de meststof. Het is gangbare landbouwpraktijk om bij gebruik op grasland te kiezen voor een meststof met ureaseremmer. Ureaseremmers zijn effectief in het verlagen van ammoniakemissies bij oppervlakkige toediening van ureummeststoffen (Cantarella et al., 2018; Forrestal et al., 2016; Silva et al., 2017). In een meta-analyse naar de effectiviteit van ureaseremmers werd een gemiddelde ammoniakemissie van 14,8% vastgesteld voor ureummeststoffen met ureaseremmer tegenover een emissiefactor van 31% voor ureumkorrels zonder ureaseremmer. De toevoeging van een ureaseremmer gaf dus een gemiddelde emissiereductie van 53% (Silva et al., 2017). De mate waarin de emissies worden gereduceerd, hangen af van de werkingsduur van de remmer en de snelheid waarmee het ureum in de bodem trekt. De remmer breekt af in de bodem en verliest na verloop van tijd zijn werkzaamheid, waardoor het ureum vertraagd wordt omgezet naar ammonium en de pH-stijging beperkt blijft. Wanneer de meststof voor die tijd volledig in de bodem is getrokken, blijven de emissies laag. In herhaaldelijke metingen op grasland onder verschillende weerscondities werd een emissiereductie van 74% vastgesteld voor NBPT-gecoate ureumkorrels (gemiddeld 6% emissie) ten opzichte van onbehandelde ureumkorrels (gemiddeld 36% emissie) (Forrestal et al., 2016). Er zijn ook ureummeststoffen op de markt met een coating van bijvoorbeeld een polymeer of zwavel. Een gecoate meststof zonder ureaseremmer vertraagt de afgifte van ureum vanuit de korrel en kan daardoor de emissie van ammoniak verlagen (Pan et al., 2016), maar er is maar beperkt onderzoek gedaan naar het effect van coatings en er zijn ook studies waarbij de ammoniakemissies alleen vertraagden en niet afnamen (Tian et al., 2014).

Op bouwland kunnen korrelvormige meststoffen oppervlakkig worden toegediend met een kunstmeststrooier, of in de bodem worden gebracht met een rijenbemester. Bij toediening met een kunstmeststrooier kan evenals bij grasland de ammoniakemissie verlaagd worden door te kiezen voor een variant met een ureaseremmer. Bij rijenbemesting worden kunstmestkorrels gelijktijdig met het zaaien in de bodem gebracht doorgaans op minimaal 5 cm diepte en ca 5-8 cm afstand van het zaaigoed. Het in de bodem aanbrengen van ureumkorrels is een effectieve manier om ammoniakemissies te verminderen. Uit meerdere proeven blijkt dat ammoniakemissies zeer laag zijn wanneer de ureumkorrels op ten minste 7 cm diepte in de bodem worden gebracht (Götze et al., 2023; Rochette et al., 2014; Velthof et al., 2011). Het in de bodem toedienen van ureumkorrels is daarmee, naast het gebruik van een ureaseremmer, een effectieve manier om ammoniakemissies te voorkomen.

Korrelvormige ureumhoudende meststoffen worden zowel gebruikt op grasland als op bouwland. In 2022 werd 53% van de korrelvormige ureummeststoffen aangewend met ureaseremmer. Het overige deel werd zonder ureaseremmer toegepast (Van Bruggen et al., 2024). In NEMA wordt een emissiefactor van 5,9% gehanteerd voor ureumkorrels met een ureaseremmers (Van Bruggen et al., 2024). De emissiefactor is daarmee 60% lager dan voor ureumkorrels zonder ureaseremmer (14,3%) maar hoger dan voor KAS (kalkammonsalpeter) korrels (2,5%). NEMA kent geen emissiefactor voor ureumkorrels die in de bodem worden gebracht en het is niet bekend welk aandeel van de korrelvormige onbehandelde ureummeststoffen oppervlakkig versus emissiearm wordt toegediend. Bij aanname dat de hoeveelheid ureumhoudende meststoffen gelijk blijft, leidt een verplichting tot een emissiearme toediening tot een emissiereductie van 0,6 kton NH₃ per jaar. Daarbij is gerekend met de huidige emissiefactoren van 5,9% uit NEMA. Indien ureummeststoffen volledig vervangen worden door KAS daalt de berekende NH₃ emissie met 1,1 kton NH₃ per jaar. Benadrukt moet worden dat in deze berekening is uitgegaan van de bestaande emissiefactoren en het kunstmestgebruik in 2022 omdat recentere gegevens nog niet voorhanden zijn. Op dit moment loopt een BO project met als doel om de emissiefactoren voor meststoffen in NEMA te herzien.

3d. Is het in de huidige landbouwpraktijk werkbaar en zijn deze machines voorhanden bij ondernemers (landbouwers of loonwerkers) zodat zij gebruik kunnen gaan maken van deze techniek(en)?

Op grasland is het reeds gangbare landbouwpraktijk om ureumhoudende korrelmeststoffen met een ureaseremmer te gebruiken. Dit vanwege de hoge stikstofverliezen die ontstaan bij toediening van onbehandelde ureummeststoffen op grasland.

Op bouwland kan de ammoniakemissie bij gebruik van korrelvormige ureummeststoffen beperkt worden door te kiezen voor een ureummeststof met ureaseremmer of door de korrels in de bodem te brengen. Het inwerken kan met bestaande machines geschikt voor rijenbemesting.

Ureumkorrels met ureaseremmers worden onder verschillende merknamen verhandeld maar bevatten allemaal de werkzame stof NBPT en/of een mengsel van NBPT en NPPT. Deze stoffen zijn erkend als ureaseremmer. Voorheen stonden deze stoffen op Bijlage I van de reeds ingetrokken Europese meststoffenverordening EC 2003/2003 (Bijlage I). Sinds 2019 is de nieuwe Europese Meststoffenverordening (Fertiliser Product Regulation (FPR) EC 2019/1009) van kracht. Sindsdien kunnen producenten een ureaseremmer met een CE-keurmerk verhandelen mits de stof voldoet aan de eisen die FPR kent ten aanzien van de remmende werking en andere bepalingen van de FPR

3. Conclusies

Spuiwater uit mestverwerkingsinstallaties

- Spuiwateren van mestverwerkingsinstallaties en luchtwassers bestaan uit oplossingen van ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat. Spuiwater heeft een lage tot neutrale zuurgraad maar de zuurgraad van spuiwater is geen goede voorspeller van het risico op emissies.
- Bij toediening van spuiwater op kalkarme gronden ($\text{pH} < 6,5$) is de ammoniakemissies zeer laag. In dat geval is het niet nodig om een emissiearme toediening toe te passen.
- Bij toediening van ammoniumsulfaat op kalkhoudende gronden ($\text{pH} > 7$) kunnen hoge ammoniakemissies ontstaan. Dit komt door een chemische reactie tussen sulfaat en kalk waardoor de pH lokaal stijgt. Hoeveel ammoniak verloren gaat hangt ook samen met de weerscondities. Kalkhoudende gronden zijn hoofdzakelijk de zeekleigronden en een deel van de rivierkleigronden en beslaan ca 24% van het landbouwareaal.
- Ammoniumnitraat geeft een lagere emissie dan ammoniumsulfaat. Ammoniumnitraat reageert niet met kalk en is daarom een veiligere optie bij gebruik op kalkhoudende grond.
- De emissiefactor voor spuiwater in NEMA is 1,8%, waarbij het effect van emissiearme toediening en toepassing op kalkhoudende gronden is verdisconteerd. Gemeten emissies zijn laag op kalkloze gronden ($< 2\%$) maar er zijn substantiele ammoniakemissies mogelijk bij oppervlakkige toediening van ammoniumsulfaat op kalkhoudende gronden. Op grasland en beteeld bouwland is een emissiearme toediening van spuiwater reeds gangbaar, omdat spuiwater gewasschade veroorzaakt bij direct contact met het gewas.
- Op niet-beteeld bouwland is het gangbaar om spuiwater met een veldspuit uit te rijden. Op kalkloze gronden is dat een veilige werkwijze, maar op kalkhoudende grond is het advies om een emissiearme toediening te kiezen of om ammoniumnitraat te gebruiken.

Vloeibare stikstofkunstmeststoffen waaronder ureum

- Vloeibare stikstofkunstmeststoffen bestaan veelal uit mengsels van ureum met andere stikstofmeststoffen. Bekende mengvormen zijn Urean (ureum met ammoniumnitraat) en NTS (urean met ammoniumthiosulfaat). Vloeibare ureum wordt ook wel gebruikt voor bladbemesting.
- Ureumhoudende meststoffen zijn emissiegevoelig en emissies kunnen optreden op alle grondsoorten. Bij vloeibare ureummeststoffen is de ammoniakemissie wel lager dan bij vaste ureummeststoffen, omdat deze sneller de grond intrekken. De weerscondities zijn een belangrijke factor en de generieke emissiefactor voor oppervlakkige toediening van ureumhoudende vloeibare meststoffen zonder ureaseremmer is 7,5%.
- Voor ammoniumzouten zoals spuiwater en Anasol gelden dezelfde emissierisico's als voor spuiwater uit mestverwerkingsinstallaties.
- Het in de grond aanbrengen van vloeibare stikstofmeststoffen is een effectieve manier om de emissie te verlagen (de generieke emissiefactor voor vloeibare ureum in de grond gebracht via injectie is 1,5%). Dit kan door de meststof toe te dienen met een spaakwielbemester of een

kouterbemester welke geschikt is om geconcentreerde meststoffen toe te dienen. Op niet-beteeld bouwland kan de meststof direct na oppervlakkige toediening ondergewerkt worden. Het is gangbare landbouwpraktijk om vloeibare stikstofmeststoffen op grasland en bouwland uit te rijden met een veldspuit. Dit heeft een aantal voordelen zoals lagere aanwendkosten, een veel grotere werkbreedte en minder rijsporen maar geeft bij zonnig en droog weer ook een risico op gewasverbranding.

- Ureaseremmers (NBPT en NBPT/NPPT) zijn effectief om ammoniakemissies van vloeibare ureumhoudende meststoffen te verlagen. In NEMA geldt hiervoor een generieke emissiefactor van 3,1%. De stof ATS, een bestanddeel van NTS, is op basis van de beperkte literatuur geen effectieve ureaseremmer maar meer onderzoek is hier gewenst. In 2022 werd minder dan 1% van de vloeibare meststoffen toegepast met een ureaseremmer, terwijl de meerkosten van een ureaseremmer beperkt zijn. Door gebruik van een ureaseremmer kunnen vloeibare ureumhoudende meststoffen alsnog met een veldspuit toegediend worden.
- Vloeibare ureum wordt ook gebruikt voor bladbemesting. De inschatting is dat de risico's op ammoniakverliezen bij bladbemesting beperkt zijn.
- In het jaar 2022 werd 20,7 mln kg N in de vorm van ureumhoudende vloeibare meststoffen toegepast. Een verplichting tot het gebruik van een ureaseremmer dan wel emissiearme toediening leidt op landelijk niveau tot een daling in de ammoniakemissies van circa 0,6-0,9 kton NH₃.

Korrelvormige ureummeststoffen

- Het gebruik van vaste ureumhoudende meststoffen is gestegen van 0,2 mln kg N in 2000 naar 15,3 mln kg N in 2022. Ureumhoudende meststoffen worden zowel op grasland als bouwland toegepast. Op basis van NEMA werd in 2022 53% van de vaste ureummeststoffen toegepast met een ureaseremmer en het overige deel zonder ureaseremmer.
- Bij oppervlakkige toediening van vaste ureumhoudende meststoffen zonder ureaseremmer is er een groot risico op hoge ammoniakemissies. Dit komt omdat ureum na toediening wordt omgezet naar ammonium en daarbij de pH rondom de mestkorrel stijgt. De generieke emissiefactor voor ureumkorrels zonder ureaseremmer is 14,3% (NEMA) maar bij oppervlakkige toediening onder condities die de emissie bevorderen, zoals een droge bodem en een hoge temperatuur, kan de emissie veel hoger zijn. Neerslag na toediening en lage temperaturen verlagen het risico op emissies.
- Erkende ureaseremmers (NBPT of NBPT/NPPT) zijn effectief in het verlagen van ammoniakemissies uit ureummeststoffen doordat deze de omzetting van ureum naar ammonium vertragen. Hiermee halveert de ammoniakemissie ten opzichte van een ureummeststof zonder ureaseremmer. Ureumhoudende meststoffen met een ureaseremmer worden al veelvuldig toegepast met name op grasland. NEMA hanteert een emissiefactor van 5,9% voor ureummeststoffen met ureaseremmer.
- Op niet-beteeld bouwland is het daarnaast mogelijk om ureumhoudende meststoffen met een kouter in de bodem te brengen. Door de meststof op ten minste 7 cm diepte te plaatsen worden de ammoniakemissies sterk gereduceerd. Een emissiearme toediening van ureumhoudende meststoffen is mogelijk met bestaande apparatuur voor rijenbemesting of door de meststof direct na strooien onder te werken met een grondbewerking (cultivator, eg).
- Een verplichting tot het gebruik van een ureaseremmer of emissiearme toediening van vaste ureummeststoffen geeft bij gebruik van de huidige emissiefactoren in NEMA een landelijke

emissiereductie van 0,6 kton NH₃. Dit voordeel kan oplopen tot 1,1 kton NH₃ wanneer ureumhoudende meststoffen worden vervangen voor KAS meststofkorrels c.q. de emissiefactor van ureumhoudende meststoffen middels maatregelen te verlagen tot het niveau van KAS. Dit is op basis van de huidige emissiefactoren in NEMA en het kunstmestgebruik in 2022. Er loopt een project om de emissiefactoren voor meststoffen in NEMA te herzien.

Referenties

- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes, N. H. (2002). Estimation of global NH₃ emissions from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biogeochemical Cycles*, 16, 1024. <https://doi.org/10.1029/2000GB001389>
- Götze, H.; Saul, M.; Jiang, Y.; Pacholski, A. Effect of Incorporation Techniques and Soil Properties on NH₃ and N₂O Emissions after Urea Application. *Agronomy* **2023**, 13, 2632. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102632>
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., 2011. Ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat op beteeld bouwland en grasland. Wageningen UR – Business Unit Agrosysteemkunde Rapport 387
- Grant, Cynthia & Brown, K. & Bailey, L. & Jia, S.. (1996). SHORT COMMUNICATION : Volatile losses of NH₃ from surface-applied urea and urea ammonium nitrate with and without the urease inhibitors NBPT or ammonium thiosulphate. *Canadian Journal of Soil Science*. 76. 417-419. 10.4141/cjss96-050.
- Huygens, D., Orveillon, G., Lugato, E., Tavazzi, S., Comero, S., Jones, A., Gawlik, B. and Saveyn, H., Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC), EUR 30363 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-21539-4, doi:10.2760/373351, JRC121636.
- Melse, R.W., Ploegaert, J.P.M. 2011. Sturing van spuiwaterafvoer bij een biologische luchtwasser door middel van meting van de elektrische geleidbaarheid. Wageningen UR – Livestock Research, Rapport 435. <https://edepot.wur.nl/163072>
- Van Neck, W. 2013. Bemesten met spuiwater uit de luchtwasser. Vakblad Boerenbond 2018425144059698_artikel-bemesten-met-spuwater-uit-de-luchtwasser-management-en-techniek.pdf
- Forrestal, P.J., Harty, M., Carolan, R., Lanigan, G.J., Watson, C.J., Laughlin, R.J., McNeill, G., Chambers, B.J. and Richards, K.G. (2016), Ammonia emissions from urea, stabilized urea and calcium ammonium nitrate: insights into loss abatement in temperate grassland. *Soil Use Manage*, 32: 92-100.
- Keller, G.D., Mengel, D.B., 1986. Ammonia Volatilization from Nitrogen Fertilizers Surface Applied to No-till Corn. *Soil Science Society of America Journal* 50, 1060–1063. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040045x>
- Liu, G.D., Li, Y.C. & Alva, A.K. Moisture Quotients for Ammonia Volatilization from Four Soils in Potato Production Regions. *Water Air Soil Pollut* **183**, 115–127 (2007). <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9361-9>
- Nikolajsen, M.T., Pacholski, A.S., Sommer, S.G., 2020. Urea Ammonium Nitrate Solution Treated with Inhibitor Technology: Effects on Ammonia Emission Reduction, Wheat Yield, and Inorganic N in Soil. *Agronomy* 10, 161.. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020161>
- Ren, B., Huang, Z., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2023). Urea ammonium nitrate solution combined with urease and nitrification inhibitors jointly mitigate NH₃ and N₂O emissions and improves nitrogen efficiency of summer maize under fertigation. *Field Crops Research*, 296, 108909.
- Rochette, P., Angers, D.A., Chantigny, M.H., Gasser, M.-O., Macdonald, J.D., Pelster, D.E., Bertrand, N., 2013. Ammonia Volatilization and Nitrogen Retention: How Deep to Incorporate Urea?. *Journal of Environmental Quality* 42, 1635–1642.. <https://doi.org/10.2134/jeq2013.05.0192>
- Silva, A.G.B., Sequeira, C.H., Sermarini, R.A. and Otto, R. (2017), Urease Inhibitor NBPT on Ammonia Volatilization and Crop Productivity: A Meta-Analysis. *Agronomy Journal*, 109: 1-13. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.04.0200>

Tian, Z., Jim J. Wang, Shuai Liu, Zengqiang Zhang, Syam K. Dodla, Gerald Myers, (2015). Application effects of coated urea and urease and nitrification inhibitors on ammonia and greenhouse gas emissions from a subtropical cotton field of the Mississippi delta region. *Science of The Total Environment*, Volume 533, Pages 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.147>.

X. You, F. Adani, R. Rodriguez, M. Jorba, L. Ortiz, C. Fabregat, G. Muns, E. Meers, I. Sigurnjak, R. Vingerhoets, [K.C. van Dijk](#), [O.F. Schoumans](#), N. Thevenin, L. Ruidavets, N. Guerra Gorostegui, M. Mora, L. Llenas, S. Schonveld. 2023. FERTIMANURE D2.5. BBFs production and characterisation vs. time (list, average composition, and composition variability). <http://hdl.handle.net/10854/8582>

Prasad, M. (1976). Gaseous loss of ammonia from sulfur-coated urea, ammonium sulfate, and urea applied to calcareous soil (pH 7.3). *Soil Science Society of America Journal*, 40, 130–134. <https://doi.org/10.2136/sssaj.1976.03615.99500.40000.10035x>

Rietra, R., Van Dijk, K., Schoumans, O., 2024. Environmental Effects of Using Ammonium Sulfate from Animal Manure Scrubbing Technology as Fertilizer. *Applied Sciences* 14, 4998.. <https://doi.org/10.3390/app14124998>

Siguna, D. O., Janssen, B. H., & Oenema, O. (2002). Ammonia volatilization from Vertisols. *European Journal of Soil Science*, 53, 195–202. <https://doi.org/10.1046/j.1351-0754.2002.00454>.

Sommer, S.G. Schjoerring, J.K, Denmead, O.t., 2004. AMMONIA EMISSION FROM MINERAL FERTILIZERS AND FERTILIZED CROPS. *Advances in Agronomy*, Volume 82

Van Dijk, W., R.P.J.J. Rietra, M. Ros & W. de Visser, 2024. Stikstofbenutting en nitraatuitspoeling bij dierlijke mest en kunstmest op gemaaid grasland. Resultaten van veld-, pot- en incubatieproeven in 2018-2021. Wageningen Research, Rapport WPR-1336.

Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2017). Emissies naar lucht uit de landbouw in 2015. Berekeningen met het model NEMA. WOt-technical report 98. WOT Natuur & Milieu, WUR, Wageningen.

Pan, B., Shu Kee Lam, Arvin Mosier, Yiqi Luo, Deli Chen,(2016) Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 232, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>.

Woodley, A.L., Drury, C.F., Yang, X.M., Reynolds, W.D., Calder, W., Oloya, T.O., 2018. Streaming Urea Ammonium Nitrate with or without Enhanced Efficiency Products Impacted Corn Yields, Ammonia, and Nitrous Oxide Emissions. *Agronomy Journal* 110, 444–454.. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0406>

Woodley, A.L., Drury, C.F., Yang, X.Y., Phillips, L.A., Reynolds, D.W., Calder, W., Oloya, T.O., 2020. Ammonia volatilization, nitrous oxide emissions, and corn yields as influenced by nitrogen placement and enhanced efficiency fertilizers. *Soil Science Society of America Journal* 84, 1327–1341.. <https://doi.org/10.1002/saj2.20079>

Woodley, A.L., Drury, C.F., Yang, X.Y., Phillips, L.A., Reynolds, W.D., Calder, W., Oloya, T.O., 2025. Delaying application and injecting nitrogen fertilizer with urease and nitrification inhibitors decreased nitrous oxide emissions and enhanced corn yields. *Journal of Environmental Quality*.. <https://doi.org/10.1002/jeq2.70044>