Advies 'Beoordeling nieuwe techniek van mesttoediening'

Commissie Deskundigen Meststoffenwet

11-06-2026. Kenmerk: 2613163/WOT-NM/JvSE.

Samenvatting

Om ammoniakemissie te reduceren moet het toedienen van mest aan grasland emissiearm gebeuren. Op zandgrond moet dit worden uitgevoerd met een techniek, waarbij de mest in de grond wordt gebracht (zodenbemesting). Op klei- en veengrond mag de mest ook op de grond gebracht worden met een sleepvoet, mits de mest verdund is met water in een verhouding van 2 : 1 (mest : water). Het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) heeft de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) verzocht om een toedieningstechniek te beoordelen gebaseerd op toediening van met zwavelzuur aangezuurde mest met sleepslangen. Een Deens bedrijf heeft LVVN verzocht om dit systeem toe te laten als een emissiearme mesttoedieningstechniek (genaamd SyreN). Dit bedrijf heeft een analyse van de werking van dit systeem opgesteld op basis van 27 studies uit de periode 2010-2024.

Het Ministerie van LVVN vraagt de CDM om specifiek in te gaan op i) of dit systeem leidt tot een vergelijkbare ammoniakemissie als zodenbemesting en sleepvoet met verdunde mest op grasland (op basis van een beoordelingsprotocol van de CDM uit 2017), ii) of er risico's zijn voor overdosering van zwavel (S) en iii) of er praktische zaken voor de borging van de werking van de techniek zijn.

Toediening van mest met sleepslangen is wettelijk niet toegelaten in Nederland. Het aanzuren van mest is niet verboden. Een mogelijke reductie van ammoniakemissie door toediening van aangezuurde mest met een toegestane techniek voor grasland, zoals zodenbemesting, is in het kader van emissieregistratie niet door middel van emissiefactoren onderbouwd maar zou een optie kunnen zijn om emissies verder te reduceren. Hieraan is binnen het onderzoeksprogramma Bemest op z'n Best onderzoek uitgevoerd.

In twee wetenschappelijke studies in het buitenland (waarvan één in een graangewas en één met grasland) die met het protocol konden worden getoetst, was de ammoniakemissie bij het toedienen met een sleepslangenmachine van mest die vlak voor toediening was aangezuurd tot minimaal een pH van 6,0 vergelijkbaar of lager dan die bij zodenbemesting. In het onderzoek was niet het SyreN-systeem getest; de mest was vóór toediening aangezuurd en niet tijdens de toediening, zoals in het SyreN-systeem. Verwacht wordt dat toediening van aangezuurde mest ook onder Nederlandse omstandigheden tot een verlaagde emissie leidt, maar voor het specifieke SyreN-systeem ontbreken resultaten van onderzoek in Nederland. Hierdoor kan de omvang van de emissiereductie niet vastgesteld kan worden.

In onderzoek in Nederland waarin met het SyreN-systeem aangezuurde mest werd toegediend met een sleepvoetenmachine werd geconstateerd dat de emissie tijdens het eerste etmaal na uitrijden een duidelijke emissiereductie geeft, maar dat deze reductie daarna afneemt ten gevolge van een alsnog later op gang komende emissie. Dit werd ook geconstateerd in het onderzoek bij aanzuren en zodenbemesting binnen het onderzoeksprogramma Bemest op z'n Best. Er zijn geen gegevens van Nederlands onderzoek die aantonen dat toediening met sleepslangen en aanzuren van mest via het SyreN-systeem aan grasland leidt tot een vergelijkbare emissie dan de toegestane emissiearme technieken. Als het ministerie van LVVN overweegt om SyreN met sleepslangen toe te laten als emissiearme mesttoedieningstechniek, dan zal een emissiefactor voor EmissieRegistratie (het model National Emission Model Agriculture) moeten worden afgeleid via experimenteel onderzoek. Er wordt momenteel een protocol ontwikkeld door de Taakgroep Landbouwemissies, waarin wordt aangegeven welk onderzoek nodig is voor de wetenschappelijke onderbouwing van emissiefactoren. Ook zijn er data nodig over implementatie van deze methode in de praktijk.

Daarnaast speelt dat een techniek niet mag leiden tot afwenteling naar andere millieucompartimenten; de zuurdosering (SyreN zuurt aan met zwavelzuur) mag niet leiden tot milieukundige problemen.

Op de van nature zwavelrijke veengronden kan een extra zwavelbemesting ten gevolge van aanzuren leiden tot overschrijdingen van de advieswaarden voor zwavel in het ruwvoer, waardoor toxische effecten kunnen optreden bij herkauwers. Iedere vorm van zwavelbemesting voor grasland op veengrond wordt daarom afgeraden, dus ook bemesting met zwavelzuur aangezuurde mest. Op grasland op zandgronden is een zwavelbemesting landbouwkundig gezien gewenst, maar tegelijkertijd is het juist in deze van nature zwavelarme gebieden van belang om een stijging van de uitspoeling van sulfaat te voorkomen. Het is mogelijk om met zwavelzuur aangezuurde mest te gebruiken op grasland op zandgrond zonder stijging van de sulfaatuitspoeling wanneer i) het gebruik van aangezuurde mest wordt beperkt tot één drijfmestgift (≈65 kg N/ha), ii) de aangezuurde mest wordt toegepast in het voorjaar, iii) er geen aanvullende zwavelmeststoffen worden gebruikt en iv) de toepassing zich beperkt tot grasland. Hierbij speelt ook de onzekerheid in de benodigde hoeveelheid zuur om een bepaalde pH-verlaging te bereiken een rol; deze zuurhoeveelheid is afhankelijk van de mestsamenstelling. In de kleigebieden zijn er grote verschillen tussen gebieden. Vanuit landbouwkundig oogpunt is het belangrijk om het zwaveloverschot op kleigronden te beperken, omdat de uitspoeling van sulfaat gepaard gaat met het verlies van calcium/magnesium wat nadelig is voor de calciumbezetting van de bodem. Dit betekent dat zwavel een beperking vormt voor de toepassingsmogelijkheden voor aangezuurde mest.

Voor een goede borging en handhaving van emissiearme technieken is het belangrijk om: i) het werkingsprincipe en de kritische randvoorwaarden te beschrijven die nodig zijn om de gewenste ammoniakemissie te realiseren; en ii) de eisen aan de toediening vast te leggen, zodat controle en handhaving tijdens en na de mesttoediening mogelijk zijn. Het verminderen van ammoniakemissie door het aanzuren van mest berust op het verlagen van de pH-waarde. De pH van mest is cruciaal en deze kan na het aanzuren weer stijgen en tot ammoniakemissie leiden. In de jaren ’90 is veel onderzoek gedaan naar aanzuren van mest. Controle bleek echter lastig: heterdaadcontrole was technisch mogelijk maar praktisch onuitvoerbaar; naderhandcontrole was niet haalbaar door pH-veranderingen na toediening. Daarom werd aanzuren destijds niet erkend als emissiearme techniek. Naar aanleiding van het Nederlandse onderzoek en een CDM-advies in 2014 is geen (formele) beleidskeuze gemaakt over toepassen aanzuren met zwavelzuur.

De technische mogelijkheden voor melding en controle zijn nu anders dan in de jaren ’90, maar vereisen verdere ontwikkeling en investeringen. Een geborgde pH-meting van aangezuurde mest is een uitdaging, omdat een pH-meting direct bij aanzuren moeilijk is gezien de chemische processen die optreden in de mest (inclusief schuimvormig) en omdat direct na aanzuren de pH gaat stijgen. Een aanzuursysteem is kostbaar en zal, gezien de zwaveldosering, slechts voor een deel van mestgift toegepast kunnen worden. Naar verwachting zal zo’n systeem daarom alleen door loonwerkers aangeschaft worden. Het controleren van aankoopbonnen voor zwavelzuur zou onderdeel uit kunnen maken bij de borging. Daarnaast kan er een limiet gelden voor het zuurgebruik, waarop gecontroleerd moet worden. Zoals eerder gemeld zal het benodigd zuurgebruik variabel zijn en afhankelijk van de mestsamenstelling.

Toediening van verdunde drijfmest met een sleepvoet op veen- en kleigrond is sinds 2019 erkend als emissiearme techniek. Boeren moeten jaarlijks bij RVO melden dat zij deze techniek toepassen en bij controle moet worden aangetoond dat de juiste water-mestverhouding is gebruikt. Blijkbaar is er voor dit systeem op basis van verdunnen van mest niet voor specifieke, continue borgingsmaatregelen met flowmeters en sensoren (en keuring hiervan) gekozen. Het is onduidelijk hoe effectief deze handhaving is en of de beoogde emissie in de praktijk ook wordt gerealiseerd. CDM adviseert het Ministerie van LVVN om deze wijze van borging en handhaving van verdunde mesttoediening met sleepvoet te evalueren en de resultaten van deze evaluatie te gebruiken om te bepalen of een vergelijkbaar borgingssysteem voor aangezuurde mest kan worden opgezet. Een belangrijk aspect hierbij is dat het bij het verdunnen een vaste verhouding mest/water betreft, terwijl bij aanzuren de hoeveelheid zuur geen garantie is voor de gewenste pH-daling.

Concluderend, het aanzuren van mest kan de ammoniakemissie verlagen en heeft potentie om vergelijkbare prestaties te halen als bestaande emissiearme technieken, maar voor het specifieke SyreN-systeem ontbreekt overtuigend (Nederlands) bewijs. Onderzoek laat zien dat de emissiereductie deels tijdelijk kan zijn doordat later alsnog emissie optreedt. Eventuele toelating als emissiearme techniek in EmissieRegistratie vereist daarom aanvullend experimenteel onderzoek en een emissiefactor.
Bovendien zijn er risico's verbonden aan extra zwaveltoevoer, vooral op veengronden en in mindere mate op zand- en kleigronden, wat de toepassingsmogelijkheden beperkt. Daarnaast vormen de borging en handhaving van de werking, met name het stabiel houden en controleren van de pH én de benodigde hoeveelheid zuur, een belangrijke uitdaging.

Om het stikstofprobleem aan te pakken, wordt beleidsmatig geïnvesteerd in het verlagen van de ammoniakemissies ten opzichte van de huidige niveaus. LVVN vraagt de CDM om advies over het toelaten van een techniek die een vergelijkbare emissie realiseert dan de huidige emissiearme toedieningstechnieken. Om het stikstofprobleem aan te pakken is het gewenst om technieken te onderzoeken die een lagere emissie realiseren dan de huidige emissiearme toedieningstechnieken. Het aanzuren van mest die met een zodenbemester op grasland wordt toegediend, heeft mogelijk een groter potentieel om emissies te reduceren dan toediening van aangezuurde mest met een sleepslangensysteem. De CDM adviseert daarom om de effectiviteit van deze combinatie van aanzuren en toediening met een zodenbemester nader te onderbouwen al zijn de beperkingen door aanvoer van zwavel ook daarbij van toepassing.

1 Inleiding

Om ammoniakemissie te reduceren moet het toedienen van mest aan grasland emissiearm gebeuren. Op zandgrond moet dit worden uitgevoerd met een techniek waarbij de mest in de grond wordt gebracht (zodenbemesting). Op klei- en veengrond mag de mest ook op de grond gebracht worden met een sleepvoet, mits de mest verdund is met water in een verhouding van 2 : 1 (mest : water). Aan de uitzondering voor water-verdunde mesttoediening ligt een beoordeling door de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) uit 2017 ten grondslag, waarbij meerdere alternatieve mesttoedieningstechnieken volgens een vast protocol zijn beoordeeld op hun effectiviteit om tenminste eenzelfde ammoniakemissie te realiseren als met een zodenbemester (CDM, 2017a).

Bij het Ministerie van LVVN heeft zich een Deens bedrijf (Biocover) gemeld met het verzoek tot toelating van een alternatieve mesttoedieningstechniek (SyreN) gebaseerd op het aanzuren van drijfmest met zwavelzuur vlak voor het moment van toediening van de mest met sleepslangen (Nb. in de adviesaanvraag aan de CDM (Bijlage 1) hanteert het ministerie van LVVN de term "sleepvoetmachine", maar dit is niet correct. De alternatieve toedieningstechniek is gebaseerd op mesttoediening met een sleepslangenmachine). Op basis van de uitkomsten van meerdere internationale toepassingen is deze techniek, met als handelsnaam SyreN, toegelaten als emissiearme techniek in Denemarken en Duitsland. Ten behoeve van een revisie van de milieulijst van de MIA/VAMIL-regeling is door Biocover een analyse opgesteld van 27 studies in de periode 2010-2024. Dit analyserapport genaamd '*Effect analysis of 27 scientific studies using In Field Acidification*' is door het ministerie van LVVN aangeleverd aan de CDM. Dit document is gepubliceerd op de website van Biocover.[1]

Toediening van mest met sleepslangen is wettelijk niet toegelaten in Nederland. Het aanzuren van mest is niet verboden, maar een mogelijke reductie van ammoniakemissie door toediening van aangezuurde mest met een toegestane techniek, zoals zodenbemesting, is in het kader van emissieregistratie niet door middel van emissiefactoren onderbouwd.

Het ministerie verzoekt aan de CDM om op basis van het genoemde protocol uit 2017 (annex 2 van het CDM-advies 2017a) en met gebruikmaking van de beschikbaar gestelde informatie de nieuwe toedieningstechniek te beoordelen. Het ministerie van LVVN vraagt de CDM om specifiek in te gaan op de volgende vragen (Bijlage 1):

- Is met de techniek SyreN gecombineerd met toediening via sleepslangen emissiereductie mogelijk van 17% of minder en zo ja hoeveel minder? (Toelichting CDM: bedoeld wordt dat de ammoniakemissie van SyreN op grasland gelijk of lager is dan die van zodenbemesting of van sleepvoet met verdunde mest. Voor beide technieken wordt een emissiefactor voor ammoniak van 17% van de toegediende ammoniakale stikstof (TAN) gehanteerd (Van der Zee et al., 2025)).
- Wat zijn daarbij de risico's voor overdosering van zwavel (S) voor verschillende grondsoorten?
- Zijn er praktische zaken voor de borging van de werking van de techniek die bij eventuele toelating van de techniek van belang kunnen zijn?

Op verzoek van de CDM heeft het ministerie de 27 achterliggende rapporten en publicaties uit het analyserapport opgevraagd. Deze studies zijn in het CDM-advies beoordeeld.

[1] Morten Toft, 22.04.2025, Effect analysis of 27 scientific studies using In Field Acidification in 60 field trails from 2010 to 2024: BioCover Created for use for RVO in Holland for revision of RAV list https://www.biocover.dk/CustomerData/Files/Folders/1029-pdf-uk/4408_analysisof27internationalscientificstudiesofinfieldacidificationfrom2010to2024-version2.pdf

De CDM heeft een ad-hoc-werkgroep gevraagd om het advies voor te bereiden. Deze werkgroep bestond uit Inge Regelink (Wageningen Environmental Research), Rachel Renes (Wageningen Environmental Research), Koos Verloop (Wageningen Plant Research), Jan Huijsmans (Wageningen Plant Research), Wim Bussink (Nutriënten Management Instituut) en Gerard Velthof (Wageningen University and Research, voorzitter van de CDM). Het advies is gereviewed door leden van de CDM (Bijlage 2).

2 Beoordeling van ammoniakemissie bij toepassing SyreN

2.1 Inleiding

Het protocol dat door de CDM (2017a) is ontwikkeld, staat in iets aangepaste vorm in Bijlage 3 van dit advies. Het doel van dit protocol was om te toetsen of er een wetenschappelijke onderbouwing is dat een nieuwe toedieningsmethode een vergelijkbare of lagere emissie heeft dan de zodenbemester. Momenteel wordt in emissieregistratie een emissiefactor van 17% van de TAN gehanteerd voor de zodenbemester (Van der Zee et al., 2025) bij toepassing op grasland.

2.1.1 Werkwijze

De werkgroep was van plan om alle 27 publicatie op basis van het protocol te toetsen, maar bij evaluatie van de publicaties bleek dat de meeste publicaties niet konden worden beoordeeld met het protocol. De meeste documenten vielen af bij het eerste criterium uit het protocol: *"1. Is er een wetenschappelijk rapport beschikbaar met een beschrijving van onderzoek (proefopzet, meetmethode, omstandigheden, berekening emissiefactor)? Indien nee, dan kan het systeem niet worden beoordeeld."* Veel van de documenten uit het aangeleverde dossier zijn powerpoint presentaties, korte abstracts, folders/factsheets, zogenaamde VERA-statements of documenten over andere onderwerpen dan ammoniak (bv. effect op fosfaat, benodigde hoeveelheid zuur, modelberekeningen). Sommige documenten laten wel zien dat er experimenteel onderzoek is uitgevoerd, maar de documenten die in het dossier zijn opgenomen over dit onderzoek geven te weinig informatie om wetenschappelijk te toetsen of het SyreN systeem een vergelijkbare of lagere emissie heeft dan zodenbemesting op grasland.

De toedieningswijze en doseringswijze van het zuur is niet in alle experimenten precies conform het SyreN-systeem en daardoor niet of beperkt bruikbaar om te toetsen of SyreN leidt tot minimaal de ammoniakemissie die ook bij de zodenbemesting kan worden gerealiseerd. In het SyreN-systeem wordt zwavelzuur tijdens de messttoediening aan de mest gevoegd tot minimaal een pH van 6,4[2]. In de publicatie van Keskinen et at al. (2022) werd bijvoorbeeld gedurende twee jaar een sterke reductie in ammoniakemissie door het aanzuren van mest met zwavelzuur aangetoond (tot meer dan 90%). De mest was oppervlakkig toegediend in stroken ('band spreading'). De mest was echter al één week voor toediening aangezuurd tot een pH van 5,5, en dus niet conform het SyreN-systeem waar het aanzuren tijdens toediening plaatsvindt.

Verder zijn er verschillende studies waarin ammoniakconcentraties in de lucht in kamersystemen zijn gemeten bij verschillende toedieningstechnieken, maar is de emissie niet berekend. Deze studies geven weliswaar een indicatie over de emissie, maar omdat de emissie niet is berekend, kunnen deze studies niet worden gebruikt voor het protocol dat gebaseerd is op beoordeling van emissies.

De werkgroep heeft daarom besloten om niet elk document apart te toetsen aan het protocol, maar één beoordeling van het SyreN-system uit te voeren op basis van de informatie in de documenten. In paragraaf 2.2 wordt het SyreN-systeem beoordeeld op basis van het protocol, waarbij naar de belangrijkste wetenschappelijke papers wordt gerefereerd.

[2] https://www.biocover.dk/CustomerData/Files/Folders/1017-pdf-uk/4145_syren-brochure-2018-eng.pdf

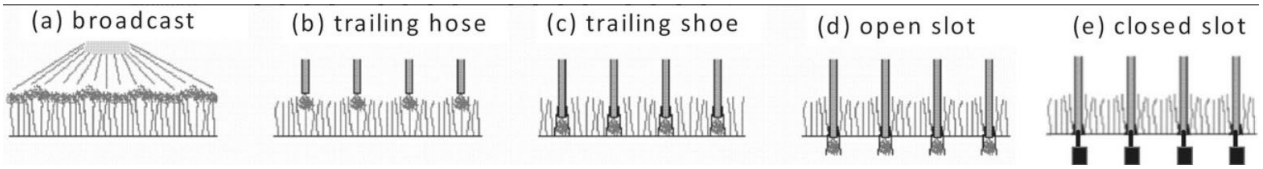
2.2 Beoordeling van ammoniakemissie op basis van het protocol

1. Is er een wetenschappelijk rapport beschikbaar met een beschrijving van onderzoek (proefopzet, meetmethode, omstandigheden, berekening emissiefactor)? Indien nee, dan kan het systeem niet worden beoordeeld.

Een groot deel van de 27 documenten uit het dossier is geen wetenschappelijk rapport of publicatie en bevat te weinig informatie voor een beoordeling met het protocol bijvoorbeeld omdat er geen emissies zijn bepaald of vanwege het ontbreken van een referentiebehandeling. Er zijn twee wetenschappelijke papers die voldoende informatie bevatten voor toetsing. Hierin is een uitgebreidere beschrijving van materialen en methoden beschikbaar en wordt aanzuren van mest direct wordt vergeleken met zodenbemesting: Ten Huf et al. (2023) en Seidel et al. (2017). In deze studies wordt niet het SyreN-systeem gebruikt (om proefveldtechnische redenen), maar een onderzoeksopstelling om mest vlak voor mesttoediening aan te zuren.

2. Voldoet mesttoedieningssysteem aan de eisen voor emissiearme mesttoedieningstechnieken voor grasland vermeld in de Omgevingswet? Indien ja, dan hoeft het systeem niet te worden getoetst.

Het SyreN system is gebaseerd op toediening van zwavelzuur aan mest dat via sleepslangen ("trailing hose") wordt aangewend. Bij sleepslangen wordt de mest oppervlakkig via slangen in stroken op het gras of de bodem gebracht (met 30 cm afstand tussen de slangen); zie Figuur 1. In de adviesaanvraag van LVVN aan de CDM wordt "sleepvoet" (trailing shoe) als toedieningstechniek genoemd, maar dat is niet correct. Bij sleepvoet wordt de mest op de bodem gebracht; zie Figuur 1. Toediening met de sleepslangen is niet toegestaan in Nederland als emissiearme techniek. SyreN toegediend met sleepslangen voldoet dus niet aan de eisen voor emissiearme mesttoediening in Nederland. De aanvraag is gebaseerd op toediening via een sleepslangen en dat betekent dus dat het systeem moet worden getoetst als emissiearme techniek.



Figuur 1 *Verdeling van drijfmest met verschillende toedieningstechnieken (gebaseerd op van der Weerden et al., 2021).*
Broadcast = breedwerpig; trailing hose = sleepslang; trailing shoe = sleepvoet; open slot = zodenbemester; close slot = injectie.

3. Zijn de veldproeven, grondsoort, toedieningshoeveelheid en mesttoedieningssysteem (ook de referentie van mesttoediening) voldoende beschreven?

In de meeste documenten zijn dit soort gegevens summier of niet beschreven. In de twee genoemde publicaties wordt een uitgebreidere beschrijving gegeven, alhoewel ook deze publicaties ook geen "full papers" zijn in wetenschappelijke tijdschriften. In de twee genoemde studies is het aanzuren niet exact uitgevoerd volgens de SyreN methode, maar is zuur bijvoorbeeld eerder toegediend aan de mest in verband met de praktische uitvoering in een proef. Dit bemoeilijkt de beoordeling of SyreN een vergelijkbare ammoniakemissie heeft ten opzichte van zodenbemesting op zandgrond of sleepvoet met verdunde mest op klei- en veengrond, (zie toelichting vraag 8).

4. ***Is de werking van het nieuwe systeem voldoende beschreven, zodat het werkingsprincipe (waarom leidt de techniek tot reductie van ammoniakemissie) en het verschil met bestaande technieken geduid kan worden?***

   Ja, het werkingsprincipe is bekend. Het aanzuren van mest verlaagt de zuurgraad (pH) van de mest, waardoor het chemisch evenwicht tussen ammoniak (NH_3) en ammonium (NH_4^+) verschuift naar ammonium en de emissie van ammoniak uit mest vermindert (Bussink et al., 1994; Fangueiro et al., 2015). Er is voldoende literatuur beschikbaar om te onderbouwen dat het aanzuren van mest leidt tot minder ammoniakemissie. Voordat wordt aangezuurd in het SyreN-systeem, wordt eerst de pH van niet aangezuurde mest gemeten (bij toediening van 1-5 m^3 mest). Daarna wordt geleidelijk zuur toegediend tot de gewenste pH is bereikt. Tijdens de mesttoediening wordt dezelfde hoeveelheid zuur toegediend om de pH te handhaven. Bij een pH van 6,4 wordt volgens Biocover de ammoniakemissie met 50% gereduceerd ten opzichte van niet aanzuren, maar er kan ook een andere streefwaarde worden gekozen.

5. ***Is de proefopzet wetenschappelijk verantwoord om te toetsen dat de ammoniakemissie van een aanwendingstechniek gelijkwaardig is aan die van zodenbemesting (grasland op zandgrond) of sleepvoetbemesting met verdunde mest (grasland op klei- en veengrond)?***

   Er is één publicatie waarin aanzuren van mest en toediening met sleepslang direct wordt vergeleken met zodenbemesting en sleepvoet (bemesting 1 en 2; de gemiddelde emissies van 2 bemestingsronden zijn gegeven) bij wintertarwe en er is één studie waar dit wordt vergeleken met zodenbemesting op grasland. In beide studies is niet het SyreN-systeem gebruikt. De paper geeft de gemiddelde emissiefactor voor bemesting met zodebemesting en sleepvoet (twee bemestingen). Er zijn geen data beschikbaar voor de afzonderlijke bemestingen en daardoor is het afleiden van een emissiereductie ten opzichte van zodebemesting op basis van de gepubliceerde data niet goed mogelijk.

6. ***Is de meetmethode van ammoniakemissie wetenschappelijk verantwoord en voldoet de meetmethode aan het VERA-protocol? Zijn er minimaal drie proeven uitgevoerd en is een emissiefactor vastgesteld (drie proeven is het minimum, conform het VERA-protocol)?***

   Het VERA-protocol is nooit vastgesteld en wordt daarom niet gehanteerd in het kader van deze beoordeling.

7. ***Zijn de aanwendingsmethode en de omstandigheden (weer, bodem, gewas, mestsamenstelling) met voldoende detail beschreven voor een beoordeling van de ammoniakemissie?***

   Ja, in de twee genoemde papers (Ten Huf et al. (2023) en Seidel et al. (2017))

8. ***Zijn er omstandigheden geweest waardoor de meetresultaten niet of beperkt bruikbaar zijn (bijvoorbeeld alleen toepasbaar voor een bepaalde situatie)?***

   Het onderzoek van Huf et al (2023) gaat over graan, waarbij de emissies zijn gemiddeld over twee toedieningen. In de referentiebehandeling is de emissie een combi emissie van zodenbemesting (1e gift) en sleepvoet (2^e gift). Grondgebruik is van invloed op de ammoniakemissies uit toegediende mest.

   Het onderzoek van Ten Huf et al., (2023) is uitgevoerd bij bemesting in granen. Hierdoor zijn de condities, zoals bodemgesteldheid, tijdstip en techniek van mesttoediening en het gewaseffect, anders dan bij bemesting op grasland. De resultaten zijn daarom niet één op één te vertalen naar een emissiereductiefactor voor bemesting op grasland waar LVVN een advies over vraagt. Vanwege het gebrek aan geschikte studies op grasland zijn de emissiefactoren uit Ten Huf et al., (2023) wel benoemd onder vraag 10 maar met kanttekening dat deze reducties behaald zijn bij bemesting op bouwland met granen.

De studie van Seidel et al. (2017) heeft wel betrekking op grasland. In beide studies (Ten Huf et al., 2023 en Seidel et al., 2017) is niet het SyreN-systeem gebruikt, maar een onderzoeksopstelling waarbij de mest in een tank wordt aangezuurd voor toediening. Dit verschil is van belang omdat bekend is dat de pH na zuurtoediening weer stijgt omdat mest een hoog zuur bufferend vermogen heeft. De belangrijkste buffer in mest is bicarbonaat (HCO_3) en dit reageert met zuur tot CO_2 wat in de vorm van gas vrijkomt. Dit geeft de schuimvorming bij aanzuren van mest. In de proefopstellingen werd het zuur goed door de mest gemengd, waarbij CO_2 kan ontsnappen, en daarna de pH gemeten. Dit geeft meer zekerheid over de werkelijke pH bij toediening. Bij het aanzuren in een mestslang, zoals bij het SyreN systeem, is daarom meer kans op het verlopen van de pH na toediening.

9. Zijn de onzekerheden in de metingen voldoende beschreven?

Ja, in de twee genoemde papers.

10. De voorwaarde voor toelating van een nieuwe techniek is dat de emissiefactor van de nieuwe techniek lager of gelijk is aan die van zodenbemesting of sleepvoetbemesting met verdunde mest (emissiefactor 17% van de toegediende ammoniakale N (TAN)).

In Seidel et al. (2017) worden 14 experimenten (met 4 herhalingen per object) gerapporteerd op twee grasland locaties (zandgrond in Denemarken en kleigrond in Duitsland). In het onderzoek is de ammoniakemissie bepaald bij mesttoediening met sleepslangen zonder aanzuren en met aanzuren tot pH 6,5 en pH 6,0. De mest werd niet met SyreN-systeem toegediend (machine was te groot voor de veldplots), maar op basis van een simulatie van dit toedieningssysteem. Er werd gemiddeld 2,7 (pH 6,5) en 4,4 (pH 6,0) liter zuur per m^3 toegediend. Ammoniakemissie werd gemeten met passieve flux samplers. De gemiddelde ammoniakemissiefactor was 14% van de TAN voor sleepslangen zonder aanzuren, 8,1% voor sleepslangen met aanzuren tot pH 6,5 en 4,4% voor sleepslangen met aanzuren tot pH 6,0. Zodenbemesting resulteerde in een emissie van 5,5% (35 cm schijfafstand; 8 cm diepte) en 9,6% (17,5 cm schijfafstand; 5 cm diepte). De emissiefactor van alleen sleepslangen was in dit onderzoek al lager dan 17%. Dit kan veroorzaakt worden door de omstandigheden, maar het valt niet uit te sluiten dat de lagere gemeten emissies gerelateerd zijn aan de meetmethode of de grotere diepte van zodebemesting.

In Ten Huf et al. (2023) wordt onderzoek naar ammoniakemissie bij mesttoediening in wintertarwe op 8 locaties in Duitsland (6 zandgronden en 2 kleigronden) beschreven. Rundermest en digestaat (rundermest en maïs) uit een vergister werden toegediend met sleepslangen zonder aanzuren en met aanzuren tot pH 6,0. De mest had gemiddeld een drogestofgehalte van 7,5%, een pH van 7,4; digestaat 6,4% drogestof en een pH van 7,7. De mest werd in twee giften toegediend (elk 85 kg N per ha). Daarnaast werd de mest (ook in twee giften) toegediend met de combinatie zodenbemesting tot 5 cm diepte (eerste gift) en sleepvoet (tweede gift). Aanzuren werd niet toegediend volgens het SyreN-systeem (in het onderzoek werd de mest voor toediening aangezuurd, met SyreN wordt de mest tijdens toediening aangezuurd). Er werd 3,6 (mest) en 5,2 (digestaat) liter zuur per m^3 toegediend. Ammoniakemissie werd gemeten met passieve flux samplers. De gemiddelde emissiefactoren was 25,2% van TAN voor sleepslangen zonder aanzuren, 9,7% voor sleepslangen met aanzuren en 19,9% voor de combinatie zodenbemesting tot 5 cm diepte (eerste gift) en sleepvoet (tweede gift). Dit onderzoek werd uitgevoerd bij wintertarwe. De adviesaanvraag gaat over grasland (emissiefactor van 17%), dus een zuivere vergelijking met de Nederlandse situatie is niet mogelijk. Beide studies werken niet met het SyreN-systeem, zoals beschreven door de aanvrager.

11. Eindoordeel: Heeft de getoetste aanwendingstechniek een gelijkwaardige ammoniakemissie als zodebemesting/sleepvoet met verdunning van mest.

- ***Indien ja, eventueel aangeven of dit voor specifieke condities geldt.***
- ***Indien nee, heeft de techniek perspectieven?***
- ***Indien de techniek toch perspectiefvol is, wat zijn de aanbevelingen voor leveren gegevens/uitvoeren onderzoek, die nodig zijn voor een nieuwe beoordeling?***

In twee wetenschappelijke studies in het buitenland (waarvan één in een graangewas en één op grasland) die met het protocol konden worden getoetst, was de ammoniakemissie bij het toedienen met een sleepslangenmachine van mest die vlak voor toediening was aangezuurd tot minimaal een pH van 6,0 vergelijkbaar of lager dan die bij zodenbemesting. In het onderzoek was niet het SyreN-systeem getest; de mest was vóór toediening aangezuurd en niet tijdens de toediening, zoals in het SyreN-systeem. Daarom kon niet getoetst worden of de techniek van het SyreN systeem leidt tot voldoende pH verlaging en emissiereductie. Het is bekend dat de pH van aangezuurde mest weer stijgt na zuurdosering en zodoende is het tijdsmoment van toediening van belang evenals meting en borging van de pH na toediening. Er zijn geen gegevens van onderzoek – binnen of buiten Nederland - die aantonen dat toediening van mest met specifiek het SyreN-systeem (aanzuren tijdens de toediening met sleepslangen aan grasland) leidt tot een vergelijkbare emissie dan de toegestane emissiearme technieken. Wel is het aannemelijk dat de toediening van aangezuurde mest met het SyreN systeem tot emissiereductie leidt, maar op basis van de aangeleverde informatie kan de mate van emissiereductie niet met zekerheid vastgesteld worden.

3 Dosering van zwavel

Voor een uitgebreidere toelichting over de agronomische en milieukundige aspecten van zwavel wordt verwezen naar het recent gepubliceerde advies over het gebruik van zwavelhoudende stikstofmeststoffen uit dierlijke mest (Renure meststoffen) (Regelink en Rietra, 2025).

3.1 Zwavelbehoefte van gewassen

De zwavelbehoefte van gewassen is samengevat in Tabel 1. De meeste akkerbouwgewassen, met uitzondering van koolgewassen, hebben een lage zwavelbehoefte en doorgaans is de zwavellevering vanuit de bodem – door mineralisatie van organische stof en de aanvoer vanuit dierlijke mest - voldoende om aan de zwavelbehoefte te voldoen. Op zandgrond is de zwavellevering lager dan op kleigrond en kan zwavelbemesting bij sommige gewassen wel relevant zijn. Op grasland is er daarentegen steeds meer aandacht voor zwavelbemesting. In het verleden was de aanvoer van zwavel via depositie voldoende hoog om aan de gewasbehoefte, maar de zwaveldepositie is gedaald van 20 kg S ha^{-1} in 1990 tot 3,6 kg S ha^{-1} in 2024. Grasland heeft een relatief hoge zwavelbehoefte en het bemestingsadvies varieert van 0–40 kg S ha^{-1}. Een zwavelbemesting is vooral effectief wanneer deze in het voorjaar gegeven wordt omdat er dan zwaveltekorten kunnen optreden. Later in het seizoen is er voldoende zwavel in de bodem beschikbaar door mineralisatie van organische stof en dierlijke mest. Zwavel in de vorm van sulfaat is erg mobiel in de bodem en het overschot aan sulfaat zal na afloop van het groeiseizoen uitspoelen naar het grondwater waardoor het niet meer beschikbaar is voor het volgende seizoen.

Er zijn grote verschillen tussen grondsoorten in de mate van zwavellevering vanuit de bodem, waardoor zwavelbemesting niet op alle grondsoorten nodig of gewenst is (Figuur 2). Op veengronden is de zwavellevering vanuit de bodem reeds hoog door mineralisatie van veen en soms ook zwavelhoudend kwelwater. Op veengronden wordt het gebruik van zwavelhoudende meststof afgeraden, omdat een overmaat aan zwavel kan leiden tot te hoge zwavelgehalten in het gras waardoor toxische effecten kunnen optreden bij herkauwers. In de Nederlandse advisering staat als richtlijn dat het rantsoen (ruwvoer en krachtvoer) van herkauwers gemiddeld niet meer dan 4 g S kg^{-1} drogestof mag bevatten (Commissie Onderzoek Minerale Voeding, 2005).

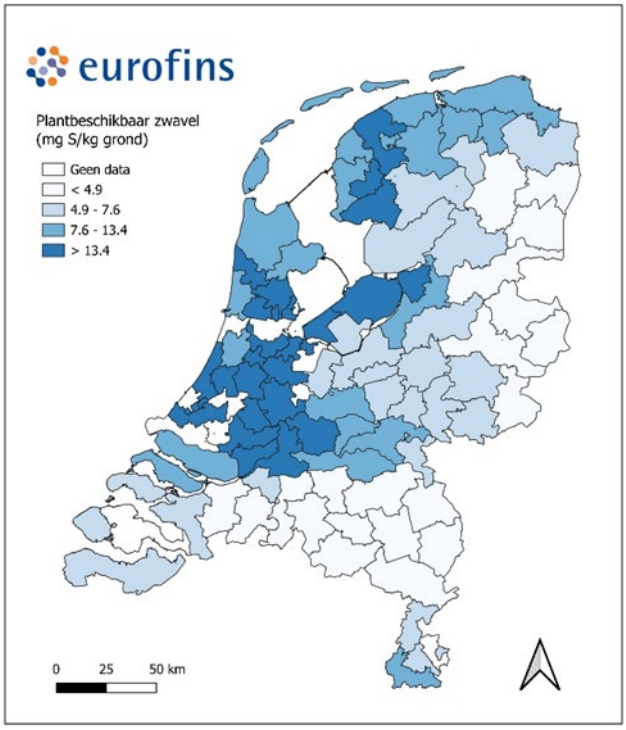
Op zandgronden is het zwavelgehalte in de bodem van nature laag en hier is zwavelbemesting vanuit landbouwkundig opzicht zinvol voor gewassen met een hoge zwavelopname zoals gras. Op kleigronden zijn er grote regionale verschillen in de zwavellevering vanuit de bodem en daarmee varieert ook de behoefte aan zwavelbemesting (figuur 2, Regelink & Rietra *et al.* 2025).

Tabel 1 *Gewasbehoefte aan zwavel. De waarden geven de range bij een laag tot hoog zwavel-leverend vermogen van de bode*[1][2]

Gewas	**Zwavelbemestingsadvies (kg S ha^{-1})**
Grasland	0-40
Mais	0-30
Akkerbouw gewasgroep 4. O.a. Pootaardappel, sla, suikerbiet, vlas	0
Akkerbouw gewasgroep 3. O.a. Aardappel, snijmais, granen, uien	0-25
Akkerbouw gewasgroep 2. O.a. Koolzaad, bloemkool, Chinese kool	0-45
Akkerbouw gewasgroep 1. Sluitkool, spruitkool	10-60

[1] Grasland: Zwaveladvies afhankelijk van zwavel-leverend vermogen. Zwavelbemesting alleen voor de eerste en tweede snede om trage zwavelmineralisatie in voorjaar aan te vullen.

[2] Het zwavelbemestingsadvies hangt af van de hoogte van de zwavel-leverend vermogen van de bodem, i.e. de hoeveelheid zwavel die door mineralisatie beschikbaar komt. De data geven de range. Bron: www.bodemenbemesting.nl en www.handboekbemesting.nl



Figuur 2 *Zwaveltoestand van grasland, uitgedrukt als plant-beschikbaar zwavel (S-CaCl2) Bron: Eurofins Agro (Wageningen). Grondmonsters grasland 0-10 cm, voorjaar.*

3.2 Milieukundige effecten van zwavel

Overmatig gebruik van zwavelhoudende meststoffen leidt tot een verhoogde concentratie van sulfaat in het uitspoelingswater. De binding van sulfaat aan minerale bodemdeeltjes is zeer zwak waardoor een overschot aan sulfaat nagenoeg volledig uitspoelt naar het grond- en oppervlaktewater. Er zijn geen directe ecologische effecten van sulfaat op de waterkwaliteit. Wel zijn er diverse indirecte processen die kunnen leiden tot ecologische effecten en dit speelt met name in de van nature zwavelarme zandgebieden:

- Oppervlaktewater: Verhoogde sulfaatconcentraties kunnen leiden tot het vrijkomen van fosfaat uit het sediment van de waterbodem. De rol van sulfaat in het vrijkomen van fosfaat is aangetoond in diverse wateren in veen en veen/kleigebieden, maar speelt vermoedelijk ook in wateren in andere gebieden. Een toename van de sulfaatconcentratie is in strijd met het verslechteringsverbod onder de Kaderrichtlijn Water, maar er is geen specifieke norm voor sulfaat in oppervlaktewater.

- Kwelwater-gevoede beekdalen: Een verhoogde sulfaatconcentratie van kwelwater leidt tot een aantal biochemische processen, waarbij sulfaat in het kwelgebied onder zuurstofloze condities wordt omgezet naar pyriet. In perioden van extreme droogte kan pyriet oxideren, wat kan leiden tot extreme verzuring van de bodem. Een hoge aanvoer van sulfaat maakt natte kwelgronden extra kwetsbaar voor deze vorm van verzuring. Deze kwelgevoede systemen zijn typisch voor de zandgebieden. De hoge sulfaatconcentraties in kwelwater worden veroorzaakt door meerdere oorzaken, waaronder historische depositie en uitspoeling van zwavel en nitraat vanuit landbouwgebieden. Ook nitraatuitspoeling draagt bij aan dit proces omdat dit leidt tot oxidatie van veen en pyriet in de ondergrond waarbij nitraat afbreekt maar sulfaat vrijkomt.

- Drinkwaterwingebieden: Er geldt voor drinkwater een sulfaatnorm van 100 mg SO_4 L^{-1}. Daarnaast gaat uitspoeling van sulfaat gepaard met uitspoeling van calcium, waardoor de hardheid van water toeneemt en dit leidt tot extra kosten voor waterontharding. Meststoffen die toegestaan zijn in grondwaterbeschermingsgebieden zijn per provincie gereguleerd in de provinciale omgevingsverordening. Daarmee hebben provincies de mogelijkheid om het gebruik van bepaalde meststoffen in drinkwaterwingebieden te weren.

Er zijn verschillen tussen gebieden in de mate van sulfaatuitspoeling. In veengebieden en zeekleigebieden zijn de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater veelal al hoog. Gemiddelde sulfaatconcentraties in uitspoelingswater van landbouwgronden op veen- en kleigrond uit de monitoring in het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) bedragen respectievelijk 327 en 172 mg SO_4 L^{-1} [3], met een grote variatie binnen de kleigronden (Fraters en Goffau, 2014).

Op zandgronden zal een overmatig gebruik van zwavelhoudende meststoffen leiden tot sulfaatuitspoeling. Sulfaatconcentraties in uitspoelingswater in het zandgebied is gemiddeld 65 mg SO_4 L^{-1} en deze is sinds de start van de metingen in 1997 vrij constant (data LMM[3]). Onder lössgronden is de sulfaatconcentratie 34 mg SO_4 L^{-1} en eveneens constant sinds 1997. Bij de sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater in zandgebieden is duidelijk een verschil zichtbaar tussen het zuidelijk, midden en noordelijk zandgebied waarbij de sulfaatconcentratie in die volgorde afneemt van 60-80 mg SO_4 L^{-1} naar <20 mg SO_4 L^{-1} (data waterkwaliteitsportaal, figuur 6 in Regelink & Rietra, 2025). De hogere sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater in het zuidelijk zandgebied zijn deels landbouw-gerelateerd en deels een gevolg van historische zwaveldepositie. Hoge sulfaatconcentraties zijn niet alleen een gevolg van zwaveltoevoer, maar er zijn ook gebieden waar nitraatuitspoeling leidt tot verhoogde sulfaatconcentraties. Dit speelt in gebieden met pyriethoudende bodemlagen in de ondergrond waarbij nitraat leidt tot oxidatie van pyriet waarbij sulfaat vrijkomt (Fraters en Goffau, 2014). In de zandgebieden zal overbemesting met zwavel resulteren in een toenemende sulfaatconcentratie in het grondwater. Regelink & Rietra (2025) schatten dat de sulfaatconcentratie op perceelsniveau kan stijgen met wel 50 mg SO_4 L^{-1}, als wordt aangenomen dat de overmaat aan zwavel gegeven als sulfaat (in dit voorbeeld 50 kg S per ha) volledig uitspoelt. Dit is een betekenisvolle stijging ten opzichte van de huidige concentraties. Om een stijging van de sulfaatconcentratie te voorkomen, dient de zwavelgift met mest en meststoffen passen bij de zwavellevering door de bodem en de gewasbehoefte. Wanneer aangezuurde mest het huidige gebruik van zwavelhoudende kunstmeststoffen vervangt, is er geen sprake van een toename in de sulfaatuitspoeling.

Het effect op de sulfaatconcentratie hangt af van de hoogte van de zwaveldosering en het areaal waarop dit wordt toegepast. In het kader van dit advies is schatting gemaakt wat van een eenduidige bovengrens voor acceptabele overbemesting aan zwavel. Daarnaast is het noodzakelijk om dit in samenhang te bekijken met de mogelijke toename van andere zwavelhoudende meststoffen zoals ammoniumsulfaat uit luchtwassers (overige anorganische meststoffen), mestverwerkingsinstallaties (Renure) en gips.

Op perceelsniveau leidt het overmatig gebruik van zwavelhoudende meststoffen tot een verlies van basische kationen zoals calcium en magnesium. Bij het uitspoelen van sulfaat (SO_4^{2-}) gaan immers ook kationen mee (Ca^{2+}, Mg^{2+}) omdat een oplossing altijd elektroneutraal is. Dit betekent dat een hogere kalkgift nodig is om dit verlies te compenseren wat leidt tot extra kosten. De kosten voor het toepassen van aanzuren zijn daardoor hoger dan louter de kosten voor het zuur. Het is relevant om deze meerkosten voor kalk ook inzichtelijk te maken; in dit advies is geen schatting gemaakt van de kosten van bekalking.

3.3 Zuurdosering per ton drijfmest

De werking van het SyreN systeem berust op het verlagen van de pH-waarde van drijfmest door het toevoegen van geconcentreerd zwavelzuur. De hoeveelheid zuur die daarbij gedoseerd wordt is afhankelijk van de ingestelde pH-waarde en de zuurbuffering van de mest. Voor het behalen van de emissiereductie is het van belang om een voldoende lage pH-waarde te realiseren die ook enige tijd gehandhaafd blijft. Het is bekend dat de pH-waarde na het aanzuren weer kan stijgen door de bufferende werking vanuit drijfmest. Bij aanzuren in het veld wordt meestal een pH-waarde van 6,4 of 6,0 nagestreefd. In documentatie van SyreN wordt aangegeven dat een pH van 6,4 werd aanbevolen door VERA en dat hogere reducties worden verkregen met lagere pH-waarden[4]. Het is niet duidelijk uit de documentatie of SyreN een streeftraject hanteert voor het aanzuren. Met de pH-waarden wordt de pH in het veld bedoeld, dus direct na het toedienen van zuur. De pH-waarde kan na verloop van tijd weer stijgen door de bufferende werking van mest en daarmee leiden tot ammoniakemissie.

[3] https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-effecten-mestbeleid-/over-het-LMM
[4] https://www.biocover.dk/CustomerData/Files/Folders/1017-pdf-uk/4145_syren-brochure-2018-eng.pdf

In Denemarken is het aanzuren van drijfmest in de wet opgenomen als een emissiearme aanwendtechniek en daarbij is een maximale pH-waarde en minimale zuurdosering voorgeschreven[5]. Als de mest tijdens het uitrijden wordt aangezuurd, moet de pH verlaagd worden naar pH 6,4 of lager. De voorgeschreven minimale hoeveelheid geconcentreerd (98%) zwavelzuur bedraagt daarbij 1,7 L (3 kg) per ton rundveedrijfmest of varkensdrijfmest of 6,1 L (11 kg) per ton digestaat of elke andere mestsoort. Digestaat heeft een hogere zuurbuffering ten opzichte van drijfmest en daarom is hiervoor een hogere zuurdosering vereist. In de praktijk werden in Denemarken hogere zuurdoseringen vastgesteld van gemiddeld 3,0 L (5,5 kg) en 2,6 L (4,8 kg) per m^3 runder- en varkensmest (Jensen et al., 2018).

Tabel 2 geeft een overzicht van zuurdoseringen op basis van veldproeven en demoproeven. Er is een grote variatie in zuurdoseringen en de hoogste zuurdoseringen komen voor bij mesten met een hoog gehalte aan ammoniumstikstof. In drijfmest is ammoniumstikstof (NH_4^+) veelal aanwezig in combinatie met bicarbonaat (HCO_3^-) en dit vormt de voornaamste zuurbuffer in drijfmest in het relevante pH-bereik. Drijfmest bevat bicarbonaat door de omzetting van ureum naar ammoniumstikstof waarbij tevens bicarbonaat wordt gevormd. Zodoende bevat dierlijke mest meestal ongeveer 1 mol bicarbonaat per mol ammoniumstikstof. Om deze zuurbuffer volledig te doorbreken, is 1 mol zuur (H^+) per mol ammonium nodig. Theoretisch betekent dit een zuurdosering van 3,5 L zwavelzuur bij een TAN gehalte van 2 kg $N\text{-}NH_4$ ton^{-1} en deze berekende zuurgift komt goed overeen met de gemiddelde zuurdosering in veld- en praktijkproeven (Tabel 2).

Tabel 2 *Overzicht van de benodigde zuurdosering (96% zwavelzuur) om dierlijke mest aan te zuren. De pH is de pH die door de genoemde zuurdosering wordt bereikt.*

	Zuurdosering[1]	**pH**	**Gehalte ammonium-stikstof in mest**	**Referentie**
	(L m^{-3})	(-)	(g $N\text{-}NH_4$ m^{-3})	
Runderdrijfmest	1,6-6,8	5,6 (4,0-6,7)		Veldproeven (n:16) Bij de hoogste zuurdoseringen was de pH lager dan 4,0 en is dus sprake van overdosering
Varkensdrijfmest	3,0	6,3	2,5	SyreN techniek demoproef Estland (Kucinskiene et al., 2018)
Varkensdrijfmest	6,3 3,2	6,4	4,3 2,4	Aanzuring in het veld
Runder- en varkensdrijfmest	2,4 5,1 1,2	6,0 6,0 6,0	1,5 2,3 1,5	Demoproeven Baltische staten (Kucinskiene et al., 2018)
Runderdrijfmest	4,0	6,0-6,5	2,0-2,2	Veldproeven Nederland (Huijsmans et al. 2015)
Drijfmest	5,0	6,4	-	Vuistregel BioCover (Madsen (2025))
Runderdrijfmest	3,0	6,5	-	Praktijkdata Denemarken (Jensen et al., 2018)
Varkensdrijfmest	2,6 3,0	6,5 6,0	-	Praktijkdata Denemarken (Jensen et al., 2018)

[1] Zuurdosering als 96% zwavelzuur tenzij anders aangegeven. De dichtheid van 96% zwavelzuur bedraagt 1,8 kg/L.

[2] De pH-waarde kan na verloop van tijd weer stijgen. Hier is de pH-waarde in het veld weergegeven.

[5] Bekendtgørelse om jordbrugsvirksomheders anvendelse af gødning

3.4 Zwaveldosering bij gebruik van aangezuurde mest

De hoeveelheid zwavel die per hectare wordt toegediend bij gebruik van aangezuurde mest hangt af van de zuurdosering en de mestdosering. In Tabel 3 is de zwaveldosering berekend voor een aantal bemestingsscenario's en bij een lage, middelmatige of hoge zuurdosering van respectievelijk 2, 4 en 6 L m^{-3}. De uiteindelijke pH die hiermee wordt gerealiseerd, is afhankelijk van de mestsamenstelling (buffercapaciteit van de mest). Per 2026 geldt voor alle landbouwgronden de generieke gebruiksnorm van 170 kg N ha^{-1} voor stikstof uit dierlijke mest. Op grasland is het standaard landbouwpraktijk om deze hoeveelheid dierlijke mest te verdelen over meerdere doseringen, bijvoorbeeld drie doseringen van 15 – 25 m^3 drijfmest welke worden uitgereden voor de eerste, tweede en derde snede. Omdat grasland vooral in het voorjaar baat heeft bij extra zwavel, is het aan te raden om aangezuurde mest te gebruiken voor bemesting van de eerste en/of de tweede snede. Daarom is de zwaveldosering berekend wanneer alleen de drijfmestgift voor de eerste snede (85 kg N ha^{-1}) wordt aangezuurd. Op bouwland worden in de regel lagere drijfmestgiften gegeven omdat de fosfaatgebruiksnorm de mestgift beperkt. Bij een hoge fosfaattoestand van de bodem bedraagt de fosfaatgebruiksnorm 40 kg P_2O_5 ha^{-1} wat overeenkomst met een stikstofgift van circa 100 kg N ha^{-1}. Daarnaast kan op bouwland mest worden geïnjecteerd met een bouwlandinjecteur, waarvan de emissiefactor zeer laag is (2,0% van de toegediende TAN). Gebruik van aangezuurde mest op bouwland ligt minder voor de hand dan op grasland.

Tabel 3 toont een groot bereik in zwavelgiften. Op grasland en maisland zijn zwavelgiften tot circa 40 kg S ha^{-1} passend bij de gewasbehoefte met uitzondering van gronden waar van nature voldoende zwavel wordt geleverd, zoals veengronden. Het aanzuren van de volledige jaarlijkse mestgift van 170 kg N ha^{-1} leidt bij een gemiddelde of hoge zuurdosering tot zwavelgiften ver boven de gewasbehoeften. Bij het aanzuren van één mestgift op grasland (65 kg N ha^{-1}) past de zwavelzuurdosering bij een gemiddeld zuurverbruik binnen het bereik van het bemestingsadvies. Bij een hoge zuurdosering is er weliswaar sprake van een zwavelgift boven het advies, maar deze overschrijding is beperkt. Op bouwland is een zwavelgift tot 10 kg S ha^{-1} voor de meeste gewassen al voldoende. Dit betekent dat het gebruik van aangezuurde mest bij een gemiddelde zuurdosering leidt tot een overbemesting van zwavel van circa 50 kg S $ha^{-1.}$

Een aandachtspunt bij de getoonde zwavelgiften is dat het SyreN systeem een pH-gestuurd systeem is, wat betekent dat de werkelijke zuurdosering pas ten tijde van het uitrijden zichtbaar wordt. Hierdoor ontbreekt de mogelijkheid om te sturen op de zwavelgift. Het gebruik van een vaste zuurdosering in plaats van pH-sturing biedt onvoldoende zekerheid over de behaalde emissiereductie, want het is van belang om een voldoende lage pH-waarde te bereiken waarmee de zuurbufferende werking van de mest wordt doorbroken.

Tabel 3 *Mestdosering en zwavelgiften bij gebruik van met zwavelzuur aangezuurde drijfmest met een lage, gemiddelde en hoge zuurdosering[1,2].*

	Mestdosering	**Stikstofgift**	**Zwaveldosering (kg S-SO_4 ha^{-1})**		
	(ton ha^{-1})	**(kg N ha^{-1})**	**2 L m^{-3}**	**4 L m^{-3}**	**6 L m^{-3}**
Drijfmest, 250 kg N ha^{-1} (derogatie)	66	250	76	152	227
Drijfmest, 170 kg N ha^{-1}	45	170	52	103	155
Drijfmest, één mestgift aanzuren	22	65	20	39	59
Drijfmest bouwland, 40 kg P_2O_5 ha^{-1}	27	100	31	61	92

[1] Doseringen zijn berekend voor een drijfmest met een totaal stikstofgehalte van 3,8 kg ton^{-1} en 1,5 kg P_2O_5 ton^{-1}.

[2] De range in zuurdoseringen is afgeleid van literatuurwaarden (Tabel 2). In bemestingsadviezen wordt zowel de eenheid zwavel (S) als zwaveloxide (SO_3) gebruikt. 1 kg S komt overeen met 2,5 kg SO_3

4 Borging van de werking van de techniek

4.1 Hoofdlijnen borging en handhaving

In een CDM-advies uit 2017 is nagegaan wat er nodig is voor de borging en handhaving van de effectiviteit van mesttoedieningstechnieken (CDM, 2017b). Onderstaande tekst is letterlijk afkomstig van dit advies.

"Voor de borging van de effectiviteit van een toediening moet de uitvoeringsmethodiek, essentiële onderdelen van de techniek en het vereiste werkresultaat van de mesttoediening worden beschreven. Voor de handhaving van de juiste uitvoering dient onderscheid gemaakt te worden tussen controlemogelijkheden tijdens de mesttoediening en controlemogelijkheden naderhand, waarbij beoordeeld kan worden of op een perceel de mesttoediening juist is uitgevoerd.

De eisen voor een juiste werking en werkresultaat van de mesttoediening zijn gebaseerd op het werkingsprincipe, de technische specificaties van de toegepaste apparatuur die een relatie hebben met het emissieniveau en randvoorwaarden waarop de emissieresultaten zijn gebaseerd. Bij de borging en handhaving van de juiste uitvoering van de mesttoediening dienen daarom de volgende onderdelen te worden onderscheiden:

1. *Omschrijving van het werkresultaat, de kritische randvoorwaarden in relatie tot de ammoniakemissie en overige specifieke eisen aan de toediening om het werkresultaat te kunnen realiseren.*

2. *Omschrijving van de eisen aan de toediening met betrekking tot controle op een juiste mesttoediening en de handhaafbaarheid daarvan tijdens de mesttoediening en achteraf. Hiervoor zijn nodig:*

    - *Overzicht van eisen aan het toedieningssysteem, zodat een juiste configuratie (en mogelijk ook werking) kan worden beoordeeld. Om zekerheid te creëren dat aan de eisen wordt voldaan wordt voorgesteld toedieningssystemen te keuren en te certificeren. Deze zekerheid is er dan ook voor de loonwerker of gebruiker die het toedieningssysteem aanschaft of toe laat passen. Dit gaat gepaard met een beoordelingssysteem voor toelating van een toedieningssysteem, het keuren van systemen en het verlenen van een type- en/of machinecertificering. Daarop wordt voorgesteld een registratiesysteem op te zetten van gecertificeerde machines, fabrikanten, keuringsinstanties en gebruikers, dat direct toegankelijk is voor handhavingsinstanties.*
    - *Opzetten van een periodiek keuringssysteem waarbij het toedieningssysteem wordt gekeurd op juiste werking van essentiële onderdelen en bij goedkeuring weer voor en periode van een nog nadere te bepalen aantal jaren mag worden toegepast."*

4.2 Borging van toepassing van aanzuren van mest als emissiearme techniek

Het werkingsprincipe van het verminderen van ammoniakemissie door het aanzuren van mest berust op het verlagen van de pH-waarde. De pH van de mest is daarom een cruciale factor voor borging en handhaving. Het is belangrijk om vast te stellen wanneer het aanzuren heeft plaatsgevonden en of de pH stabiel is op het moment van de meting. Kort na het aanzuren kan de pH van de mest namelijk weer stijgen. Zowel de hoeveelheid toegevoegd zuur (de mate van aanzuren) als de bereikte pH-daling op het moment van aanzuren spelen hierbij een rol. Daarnaast is de nauwkeurigheid van de pH-meting van de mest een belangrijke factor voor een betrouwbare borging in de praktijk. De nauwkeurigheid wordt bepaald door de pH-meter (nauwkeurigheid, ijking) en de meting in ruimte en tijd (waar in de mest wordt gemeten en hoe vaak).

In de jaren "90 is veel onderzoek uitgevoerd binnen Nederland naar het aanzuren van mest. Bij het aanzuren waren destijds grote belangen en partijen vertegenwoordigd (Kemira, DSM). Toen werd er aangezuurd met salpeterzuur. Salpeterzuur was goedkoop en een extra bron voor stikstofbemesting mits toegepast ter vervanging van kunstmest. Verschillende toepassingen voor het aanzuren zijn destijds onderzocht:

1. Aanzuren van kleine hoeveelheden rundermest kort voor de toediening op grasland (uitrij-variant);
2. Aanzuren van rundermest in een silo (silo-variant); en
3. Aanzuren van rundermest in de mestkelder onder de stal (keldervariant).

Bij alle varianten speelde de menging van zuur en mest een belangrijke rol. Bij de silo- en keldervariant werd veelal tot een lage pH (< pH 6) aangezuurd om het systeem "stabiel" te houden. Bij het aanzuren met salpeterzuur speelden ook de risico's op denitrificatie en lachgasemissie (Oenema en Velthof, 1993; Velthof en Oenema, 1993). Destijds werd beperkt aandacht besteed aan de hoeveelheid benodigd (salpeter)zuur. Met name bij aanzuren in de mestkelder werd continu goed mixen en zuurtoevoeging toegepast: alle (nieuw toegevoegde) mest moest goed aangezuurd worden, ook om denitrificatie en lachgasemissie te beperken. Mixen en hoeveelheid zuur verdienden aandacht om het systeem stabiel te houden. Veelal werd gestreefd naar een pH 4-5. De uitrij-variant werd ontwikkeld omdat dosering van het zuur en het mixen van de aangezuurde mest dan beter uitgevoerd kon worden.

De pH van de mest op het moment van uitrijden en of deze pH gedurende langere tijd stabiel bleef, waren belangrijke factoren voor de borging. Destijds is de borging/handhaving van aangezuurde mest bij uitrijden beoordeeld door de werkgroep "Richtlijn Emissiearme Mesttoediening (REM") in opdracht van de interdepartementale Stuurgroep Ammoniak- en Mestproblematiek. Belangrijk onderdeel van deze werkgroep was de beoordeling van "controlemogelijkheden" door de inspectie (AID/NVWA). Onderscheid werd hierbij gemaakt tussen "heterdaadcontrole" en "naderhandcontrole". De conclusies over aanzuren van mest waren:

- "De heterdaadcontrole is in principe technisch mogelijk, echter zal in de praktijk nauwelijks uitvoerbaar zijn. Het huidige controle-apparaat is niet ingesteld op deze controles".
- "De naderhandcontrole kan niet worden uitgevoerd".

In het PBL-rapport 'Emissiearme bemesting geëvalueerd' (De Haan et al., 2009) werd aangegeven dat de minister van LNV het advies van de werkgroep REM om aanzuren niet toe te staan als emissiearme techniek had opgevolgd, omdat naderhandcontrole (zichtcontrole achteraf) niet zinvol is en dus uitsluitend controle op heterdaad zou moeten plaatsvinden. In dit rapport werd aangegeven dat zichtcontrole achteraf kan worden gekenschetst als een arbeidsextensieve vorm van controle. Het PBL gaf verder in het rapport aan dat melding vooraf kan leiden tot een betere controleerbaarheid. Zichtcontrole achteraf zou kunnen worden afgeschaft, als boeren die mest willen uitrijden op een manier die niet of moeilijk achteraf valt te controleren, verplicht worden dit vooraf te melden. Na een melding zou de controlerende instantie dan gericht boeren kunnen bezoeken tijdens het bemesten. Het PBL gaf in 2009 aan dat nader onderzoek naar de mogelijkheden om de controle te waarborgen wenselijk is. Voor zover CDM weet, is dit onderzoek niet uitgevoerd.

In 2014 zijn in Nederland emissiemetingen aan het uitrijsysteem (Syren-N) met zwavelzuur uitgevoerd in het veld (Huijsmans et al., 2015). Daarnaast is er een CDM-advies over zwavel uitgebracht (CDM, 2014). Beide studies hadden aandacht voor de hoeveelheid zwavel die met het aanzuren in het landbouwsysteem gebracht wordt. Bij het veldonderzoek was tevoren gekozen voor een bepaalde hoeveelheid zuur per m^3 mest en niet voor een instelling op basis van pH van de mest. Dit was gedaan om rekening te houden met een bepaalde hoeveelheid zwavel die ingebracht werd en om geen discussie te hebben over de nauwkeurigheid van een pH meting of sturing op basis van pH op de machine[6]). Bovendien is onzeker hoeveel zuur benodigd is voor een bepaalde pH; dit is namelijk afhankelijk van de mestsamenstelling. Voorafgaand aan het veldonderzoek waren wel titratiecurven gemaakt (relatie pH en hoeveelheid zuur). Naar aanleiding van het Nederlandse onderzoek en een CDM-advies in 2014 is geen (formele) beleidskeuze gemaakt over toepassen aanzuren met zwavelzuur. Wel zijn toen de risico's op borging/handhaving benoemd en of er met de introductie van zwavelzuur niet een nieuw probleem gecreëerd wordt, namelijk overmatige toediening van zwavel.

[6] In een discussie met Deense onderzoekers bleek dat zij niet naar hoeveelheden zwavelzuur keken en achteraf ook niet wisten hoeveel zuur was gebruikt om een bepaalde pH te bereiken.

De technische mogelijkheden voor het melden dat er aangezuurd wordt en controle van aanzuren en de gerealiseerde pH zijn nu groter dan in de jaren '90. Dit zou nader ontwikkeld moeten worden en dit vraagt mogelijk een flinke investering. Aangezien de pH van de mest na toediening snel kan oplopen is een naderhandcontrole nog steeds lastig en sterk afhankelijk van de tijd die verstreken is na het toedienen. Daarnaast speelt, zie, *"de kritische randvoorwaarden",* dat de hoeveelheid gedoseerd zuur geborgd moet worden.

In 2017 heeft het toenmalige ministerie van EZ de CDM gevraagd een advies op te stellen over de borging van de adequate werking en het gebruik van alternatieve mesttoedieningssystemen voor toediening van verdunde mest met een sleepvoet (CDM, 2017b). In het advies werd aangegeven dat er eisen moeten worden gesteld aan het vaststellen van de hoeveelheden mest en water die worden aangevoerd door middel van metingen (bijvoorbeeld flow- en EC-meters), inclusief de locatie en tijd van toediening. De CDM concludeerde dat borging en controle van een juiste werking op basis van metingen van toediening van verdunde mest met een sleepvoet om een aanzienlijk investering vraagt van de gebruiker (indicatie: meer dan 15.000 Euro per toedieningssysteem). Daarnaast zijn er kosten voor keuring en registratie en kosten voor fabrikanten. Toediening van verdunde drijfmest met een sleepvoet op veen- en kleigrond is sinds 2019 erkend als een emissiearme mesttoedieningstechniek. Voor zover CDM weet, zijn de in het advies uit 2017 aangegeven technische eisen voor borging niet ingevoerd. Boeren moeten één keer per jaar bij RVO melden dat verdunde mest met een sleepvoet wordt toegediend[7]. Dit moet voor de eerste keer mesttoediening gebeuren. RVO geeft aan dat bij een controle moet worden aangetoond dat de juiste hoeveelheid water is toegevoegd aan de drijfmest. Blijkbaar is er niet voor specifieke, continue borgingsmaatregelen van verdunde mest gekozen. Het is de CDM niet duidelijk hoe effectief de handhaving van toediening van verdunde mest met een sleepvoet is en of de beoogde emissiereductie in de praktijk daadwerkelijk wordt gerealiseerd. Geadviseerd wordt dat RVO en NVWA de borging en handhaving van toediening van verdunde mest met een sleepvoet evalueren en dat resultaten van deze evaluatie gebruikt worden om na te gaan of een vergelijkbaar systeem van borging en handhaving ook voor aanzuren van mest kan worden opgezet.

[7] Mest waterverdund uitrijden | RVO.nl

5 Discussie en conclusies

5.1 Ammoniakemissie

De werkgroep was van plan om alle 27 publicaties op basis van het protocol uit Bijlage 3 te toetsen, maar bij evaluatie van de publicaties bleek dat de meeste publicaties niet konden worden beoordeeld met het protocol. In twee wetenschappelijke studies in het buitenland die met het protocol konden worden getoetst (waarvan één met een graangewas), was de ammoniakemissie bij het toedienen met een sleepslangenmachine van mest die vlak voor toediening was aangezuurd tot minimaal een pH van 6,0 vergelijkbaar of lager dan die bij zodenbemesting, maar een andere samenstelling en daardoor buffercapaciteit van mest kan resulteren in een andere emissiereductie door aanzuren. Er is niet nagegaan hoeveel zwavel er werd toegediend in deze studies en of risico's met overdosering van zwavel kunnen optreden.

In onderzoek van Huijsmans et al. (2015) in Nederland, werd de emissie bepaald van aangezuurde mest (pH van 6,3-6,7) toegediend met een sleepvoetenmachine én het SyreN-systeem. Het aanzuren leidde tot een gemiddelde emissiereductie over alle proeven van 7% bij 2 liter zwavelzuur per m^3 mest en 24% bij 4 liter per m^3 mest ten opzichte van niet aangezuurde mest toegediend met een sleepvoetenmachine. In dit onderzoek nam de emissiereductie af van 60% na 12 uur tot 25% na 84 uur na het toedienen van de mest. Uit het verloop van de emissie bleek dat gedurende het eerste etmaal na uitrijden het aanzuren een duidelijke emissiereductie geeft, maar dat deze reductie daarna afneemt ten gevolge van een alsnog later op gang komende emissie. De pH-metingen aan de aangezuurde mest op verschillende tijdstippen tijdens en kort na de mesttoediening gaven een grote spreiding te zien. In het project Bemest op zijn Best werd in onderzoek ook geconstateerd dat de emissiereductie door aanzuren van mest in de loop van de tijd afneemt (Verloop et al., 2025). Sleepvoeten zorgen ervoor dat gewas (gras) minder met mest wordt besmeurd dan bij sleepslangen (zie figuur 1); de sleepvoet toepassing is een ontwikkeling vanuit de praktijk en een praktische toepassing om mesttoediening netjes uit te kunnen voeren. Dit ligt mede ten grondslag bij toelating sleepvoeten en niet sleepslangen in Nederland. In Bemest op z'n Best (Verloop, 2025) is de afgelopen jaren veel aandacht besteed aan "netjes" werken; zo weinig mogelijk besmeuring van het gras met als resultaat betere benutting en verwachte lagere ammoniakemissie. Verwacht mag worden dat toepassing van sleepslangen tot meer besmeuring van het gras zal leiden.

Er zijn geen gegevens van Nederlands onderzoek die aantonen dat toediening van mest via het SyreN-systeem (aanzuren tijdens de toediening met sleepslangen aan grasland) leidt tot een vergelijkbare emissie dan de toegestane emissiearme technieken. Als het ministerie van LVVN overweegt om SyreN met sleepslangen toe te laten als emissiearme mesttoedieningstechniek, dan zal een emissiefactor voor EmissieRegistratie (het model NEMA) moeten worden afgeleid via experimenteel onderzoek. De Taakgroep Landbouwemissie van EmissieRegistratie is verantwoordelijk voor de onderbouwing van NEMA en de maatregelen die emissie reduceren. Er wordt momenteel een afwegingskader voor de onderbouwing van nieuwe maatregelen opgesteld. Hierin wordt aangegeven wat voor een dossier een aanvrager van een bepaalde maatregel moet inleveren om te laten beoordelen door deze Taakgroep. Het gaat hierbij enerzijds om wetenschappelijke onderbouwing van emissiefactoren en anderzijds de beschikbaarheid van data over implementatie en toepassing van de maatregel (activiteitendata). Voor maatregelen die ammoniakemissie na mesttoediening reduceren zal worden aangesloten bij een update van het protocol van het project Bemest op z'n Best: Verloop et al., 2025) In dit protocol wordt uitgegaan van minimaal 3 meetperioden na mesttoediening per jaar, gedurende 2 jaar.

Om het stikstofprobleem op te lossen wordt er beleidsmatig veel inspanning geïnvesteerd om de ammoniakemissie te verlagen ten opzichte van de huidige niveaus. LVVN vraagt advies aan de CDM om een techniek toe te laten die tot een vergelijkbare of lagere emissie leidt dan het huidige emissieniveau. Het toedienen van aangezuurde mest met een zodenbemester aan grasland in plaats van een sleepslangensysteem heeft de potentie om de emissies te reduceren en een bijdrage te leveren aan het oplossen van het stikstofprobleem. Binnen Bemest op z'n Best is uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar aanzuren in combinatie met zodenbemesting).

5.2 Zwavel

Op grasland op veengronden wordt iedere vorm van zwavelbemesting afgeraden, inclusief het gebruik van aangezuurde mest en ammoniumsulfaatmeststoffen. Veengronden bevatten van nature al hoge zwavelgehalten, waardoor aanvullende zwavelaanvoer overbodig is. Extra zwavelbemesting kan leiden tot overschrijding van de advieswaarden voor zwavel in het ruwvoer, met een verhoogd risico op toxische effecten bij herkauwers.

Op zandgronden is zwavelbemesting vanuit landbouwkundig oogpunt gewenst. Tegelijkertijd is het in deze van nature zwavelarme gebieden belangrijk om een toename van de sulfaatuitspoeling te voorkomen. Het gebruik van aangezuurde mest is mogelijk zonder verhoging van de sulfaatuitspoeling, mits aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

i) Het gebruik van aangezuurde mest wordt beperkt tot één drijfmestgift (circa 65 kg N/ha);
ii) De aangezuurde mest wordt in het voorjaar toegediend;
iii) Er worden geen aanvullende zwavelmeststoffen toegepast; en
iv) De toepassing beperkt zich tot grasland.

In dit geval vervangt de aangezuurde mest de gebruikelijke zwavelbemesting op grasland, die momenteel veelal wordt ingevuld met KAS-zwavel of spuiwater. Omdat de zuurdosering afhangt van de mestsamenstelling zal de zwaveldosering wel wat variëren maar valt bij bovenstaande voorwaarden in de range die nu ook gebruikelijk is voor zwavelbemestingen op grasland.

Binnen de kleigebieden bestaan aanzienlijke regionale verschillen. In gebieden met zeeklei zijn de sulfaatconcentraties in het grondwater doorgaans hoog, waardoor bemesting slechts beperkt bijdraagt aan de totale sulfaatconcentratie. Desondanks is het ook op kleigronden vanuit landbouwkundig perspectief wenselijk om het zwaveloverschot te beperken, aangezien sulfaatuitspoeling gepaard gaat met het verlies van calcium en magnesium, wat nadelig is voor de calciumbezetting van de bodem.

Het voorkomen van overmatige zwaveldosering is dus een randvoorwaarde voor toepassing van aangezuurde mest. Het is dus belangrijk om te beoordelen of deze randvoorwaarde gerealiseerd kan worden bij het aanzuren van mest tot een pH waarbij de emissiefactor gelijk of lager is dan die van zodenbemesting. Een aandachtspunt bij het SyreN systeem is dat het een pH-gestuurd systeem is, wat betekent dat de werkelijke zuurdosering pas ten tijde van het uitrijden zichtbaar wordt. Hierdoor ontbreekt de mogelijkheid om te sturen op de zwavelgift. Het gebruik van een vaste zuurdosering in plaats van pH-sturing biedt onvoldoende zekerheid over de behaalde emissiereductie, want het is van belang om een voldoende lage pH-waarde te bereiken waarmee de zuurbufferende werking van de mest wordt doorbroken. Het gebruik van een vaste zuurdosering is alleen mogelijk als alleen mogelijk als door middel van proeven is vastgesteld hoeveel zuur er voor de betreffende mest nodig is om een bepaalde pH te bereiken.

Geconcludeerd wordt dat de toediening van aangezuurde mest op zwavelrijke veengronden wordt afgeraden vanwege de zwavelbelasting. Op zand- en kleigronden dient de extra aanvoer van zwavel via aangezuurde mest beperkt te blijven om negatieve effecten op de water- en bodemkwaliteit te voorkomen.

5.3 Borging

Voor een goede borging en handhaving van emissiearme technieken is het belangrijk om:
i) het werkingsprincipe en de kritische randvoorwaarden te beschrijven die nodig zijn om het gewenste resultaat en de reductie van ammoniakemissie te realiseren; en
ii) de eisen aan de toediening vast te leggen, zodat controle en handhaving tijdens en na de mesttoediening mogelijk zijn.

Het verminderen van ammoniakemissie door aanzuren van mest berust op het verlagen van de pH-waarde. De pH van mest is cruciaal, omdat deze na aanzuren weer kan stijgen. Zowel de hoeveelheid toegevoegd zuur als de bereikte pH-daling zijn bepalend. Nauwkeurige pH-metingen (kwaliteit van de meter, ijking, meetmomenten) zijn essentieel. In de jaren ’90 is veel onderzoek gedaan naar aanzuren met salpeterzuur. Menging en voldoende zuurtoevoeging waren belangrijk om een stabiele pH te behouden. Controle bleek echter lastig: heterdaadcontrole was technisch mogelijk maar praktisch onuitvoerbaar; naderhandcontrole niet haalbaar door pH-veranderingen na toediening. Daarom werd aanzuren destijds niet erkend als emissiearme techniek.

Later onderzoek (2014) naar aanzuren met zwavelzuur richtte zich op ammoniakemissie en zwavelinbreng, maar leidde niet tot beleidskeuzes. Borgingsproblemen bleven bestaan. Controle op aanzuren blijft moeilijk door snelle pH-stijging na toediening. Technische mogelijkheden voor melding en controle zijn nu groter dan in de jaren ’90, maar vereisen verdere ontwikkeling en investeringen. Een geborgde pH-meting van aangezuurde mest is een uitdaging, omdat een pH meting direct bij aanzuren moeilijk is gezien omzettingen en schuimvormig en direct na aanzuren zal de pH stijgen. Een aanzuursysteem is kostbaar en zal naar verwachting alleen door loonwerkers aangeschaft worden. Het controleren van aankoopbonnen voor zwavelzuur zou onderdeel uit kunnen maken bij de borging. Daarnaast zal ook borging van de zuurdosering nodig zijn om overdosering binnen de perken te houden.

Toediening van verdunde drijfmest met een sleepvoet op veen- en kleigrond is sinds 2019 erkend als emissiearme techniek. In 2017 adviseerde CDM dat voor borging en handhaving technische voorzieningen nodig zijn (flow-, EC-meters, GPS), maar deze eisen zijn niet ingevoerd. Boeren moeten wel jaarlijks bij RVO melden dat zij deze techniek toepassen. Bij controle moet worden aangetoond dat de juiste water-mestverhouding is gebruikt. Het is onduidelijk hoe effectief deze handhaving is en of de beoogde emissiereductie wordt gerealiseerd. CDM adviseert LVVN dat RVO en NVWA de borging en handhaving van verdunde mesttoediening met sleepvoet evalueren. De resultaten van deze evaluatie kunnen worden gebruikt om te bepalen of een vergelijkbaar borgingssysteem ook voor aanzuren van mest kan worden opgezet. Een belangrijk aspect hierbij is dat het bij het verdunnen een vaste verhouding mest/water betreft, terwijl bij aanzuren de hoeveelheid zuur geen garantie is voor de gewenste pH-daling.

5.4 Conclusie

Het aanzuren van mest kan de ammoniakemissie verlagen en heeft potentie om vergelijkbare prestaties te halen als bestaande emissiearme technieken, maar voor het specifieke SyreN-systeem ontbreekt overtuigend (Nederlands) bewijs. Onderzoek laat zien dat de emissiereductie deels tijdelijk kan zijn doordat later alsnog emissie optreedt. Eventuele toelating als emissiearme techniek in EmissieRegistratie vereist daarom aanvullend experimenteel onderzoek en een emissiefactor. Bovendien zijn er risico’s verbonden aan extra zwaveltoevoer, vooral op veengronden en in mindere mate op zand- en kleigronden, wat de toepassingsmogelijkheden beperkt. Daarnaast vormen de borging en handhaving van de werking, met name het stabiel houden en controleren van de pH én de benodigde hoeveelheid zuur, een belangrijke uitdaging.

Om het stikstofprobleem aan te pakken, wordt beleidsmatig geïnvesteerd in het verlagen van de ammoniakemissies ten opzichte van de huidige niveaus. LVVN vraagt de CDM om advies over het toelaten van een techniek die een vergelijkbare emissie realiseert dan de huidige emissiearme toedieningstechnieken. Om het stikstofprobleem aan te pakken is het gewenst om technieken die onderzoeken die een lagere emissie realiseren dan de huidige emissiearme toedieningstechnieken.

Het aanzuren van mest die met een zodenbemester op grasland wordt toegediend, heeft mogelijk een groter potentieel om emissies te reduceren dan toediening van aangezuurde mest met een sleepslangensysteem. De CDM adviseert daarom om de effectiviteit van deze combinatie van aanzuren en toediening met een zodenbemester nader te onderbouwen al zijn de beperkingen door aanvoer van zwavel ook daarbij van toepassing.

Referenties

Bussink, D.W., J.F.M. Huijsmans & J.J.M.H. Ketelaars, 1994. Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry, (surface) applied to grassland. Netherlands. Journal of Agricultural Science 42: 293-309.

CDM (2017a) "Beoordeling emissiereductie alternatieve mesttoedieningstechnieken". Commissie Deskundigen Meststoffenwet.

CDM (2014) "Bemesting met zwavelhoudende meststoffen". Commissie Deskundigen Meststoffenwet,

CDM (2017b) "Borging en handhaving alternatieve mesttoedieningstechnieken". Commissie Deskundigen Meststoffenwet.

Commissie Onderzoek Minerale Voeding (2005). Handleiding mineralenvoorziening rundvee, schapen, geiten, CVB, Centraal Veevoederbureau, Lelystad.

Fangueiro, D., M. Hjorth, and F. Gioelli (2015) Acidification of animal slurry– a review, Journal of Environmental Management 149, 46-56,

Fraters, B; de Goffau, A. (2014) Sulfaat in grondwater en oppervlaktewater in Nederland. Overzicht van meetresultaten van nationale meetnetten. RIVM Briefrapport 2014-0120

Haan, de B.J., J.D. van Dam, W.J. Willems, M.W. van Schijndel, S.M. van der Sluis, G.J. van den Born en J.J.M. van Grinsven (2009) Emissiearm bemesten geëvalueerd, PBL-publicatienummer 500155001.

Huijsmans, J.F.M., E.M. Mulder & D.W. Bussink (1994). Acidification of slurry just before field application to reduce ammonia emission. International Conference on Agricultural Engineering, September 1994, p. 4-5.

Huijsmans, J. F. M., Hol, J. M. G., & van Schooten, H. A. (2015). *Toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland: ammoniakemissie en gewasopbrengst*. (Rapport / Plant Research International; No. 629). Plant Research International. https://edepot.wur.nl/357341

Jensen, J., (2018) Potentielle miljøeffekter ved anvendelse af forsuret gylle på landbrugsjord (mogelijke milieugevolgen van het gebruik van verzuurde mest op landbouwgrond). Aarhus Universiteit N257 http://dce2.au.dk/pub/SR257.pdf

Keskinen, R., Termonen, M., Salo, T. *et al.* Slurry acidification outperformed injection as an ammonia emission-reducing technique in boreal grass cultivation. *Nutr Cycl Agroecosyst* **122**, 139–156 (2022). https://doi.org/10.1007/s10705-021-10190-1

Kucinskiene et al., (2018) Baltic Slurry Acidification. Methodology, results collection and partners practical experiences 2016-2018 - WP 4 Field Trials. Report Interreg project.

Madsen, C.T. Scientific assessment on field acidification using the SyreN acidification technology with different slurry application techniques – a theoretical approach – Notitie gepubliceerd vanuit BioCover A/S

Oenema, O., & Velthof, G. L. (1993). Denitrification in nitric-acid-treated cattle slurry during storage. Netherlands Journal of Agricultural Science, 41, 63-80.

Regelink, I. en R. Rietra (2025). Advies over het gebruik van zwavelhoudende meststoffen uit mestverwerkingsinstallaties. Beantwoording van een kennisvraag. Wageningen Research (in voorbereiding).

Seidel, A., A. Pacholski, T. Nyord, A. Vestergaard, I. Pahlmann, A. Herrmann, H. Kage (2017) Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N2O emissions and crop N uptake, Agriculture, Ecosystems & Environment 247, 23-32.

Ten Huf, M., Reinsch, T., Zutz, M., Essich, C., Ruser, R., Buchen-Tschiskale, C., Flessa, H., Olfs, H.-W. (2023) Effects of Liquid Manure Application Techniques on Ammonia Emission and Winter Wheat Yield. Agronomy, 13, 472.

Velthof, G. L., & Oenema, O. (1993). Nitrous-Oxide Flux from Nitric-Acid-Treated Cattle Slurry Applied to Grassland under Semi-Controlled Conditions. Netherlands Journal of Agricultural Science, 41(2), 81-93.

Verloop, K., Verwijs, B. (Ed.), Rinsema, M., Huijsmans, J., van der Vegte, Z., Wichink Kruit, R., Bussink, W., Pijlman, J., & Paes, M. (2025). Bemest op z'n best. Rapport No. WPR-1501. Wageningen Plant Research.

Weerden, van der T. J., Noble, A., de Klein, C. A. M., Hutchings, N., Thorman, R. E., Alfaro, M. A., Amon, B., Beltran, I., Grace, P., Hassouna, M., Krol, D. J., Leytem, A. B., Salazar, F., & Velthof, G. L. (2021). Ammonia and nitrous oxide emission factors for excreta deposited by livestock and land-applied manure. Journal of Environmental Quality, 50(5), 1005-1023.

Zee, van der T. C., Bleeker, A., van Bruggen, C., Bussink, W., van Dooren, H. J. C., Groenestein, C. M., Huijsmans, J. F. M., Kros, H., van der Most, M., Oltmer, K., Ros, M., Schulte-Uebbing, L. F., & Velthof, G. L. (2025). Methodology for the calculation of emissions from agriculture: Calculations for methane, ammonia, nitrous oxide, nitrogen oxides, non-methane volatile organic compounds, fine particles and carbon dioxide emissions using the National Emission Model for Agriculture (NEMA). (RIVM-report; No. 2025-0003).

Bijlage 1 Adviesaanvraag



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur

Directie Strategie, Kennis en Innovatie

Datum
21 juli 2025

bijlage

Adviesvraag beoordeling nieuwe techniek van mesttoediening

Bijlage nummer	
Horend bij kenmerk	99272339
Datum	21 juli 2025

Aanleiding
Bij de toediening van mest op grasland moet dit in principe gebeuren met een techniek waarbij de mest in de grond wordt gebracht zodat de emissie van ammoniak beperkt wordt. Wanneer het echter grasland op klei of veen betreft, dan mag de mest ook op de grond gebracht worden met een sleepvoet mits de mest verdund is met water in een verhouding van 2 : 1 (mest : water).

Aan de uitzondering voor water-verdunde mesttoediening ligt een beoordeling door de Commissie Deskundigen Meststoffenwet uit 2017 ten grondslag waarbij meerdere alternatieve mesttoedieningstechnieken volgens een vast protocol zijn beoordeeld op hun effectiviteit om tenminste eenzelfde ammoniakreductie te realiseren als met een zodenbemester.

Bij het ministerie van LVVN heeft zich een vertegenwoordiger/fabrikant gemeld met het verzoek tot toelating van een alternatieve mesttoedieningstechniek gebaseerd op het (geborgd) aanzuren van de mest met zwavelzuur vlak voor het moment van toediening van de mest met een sleepvoetmachine. Op basis van de uitkomsten van meerdere internationale onderzoeken is deze techniek, met als handelsnaam SyreN, inmiddels toegelaten in onder meer Denemarken en Duitsland.

Verzoek
Het verzoek aan de CDM is om op basis van het protocol (annex 2 van het CDM-advies 2017) en met gebruikmaking van de beschikbaar gestelde informatie de nieuwe toedieningstechniek te beoordelen en het ministerie te adviseren over het verzoek van toelating. Daarbij is het verzoek specifiek in te gaan op de volgende vragen:

- Is met de techniek SyreN gecombinerd met toediening via een sleepvoetmachine emissiereductie mogelijk van 17% of minder en zo ja hoeveel minder?
- Wat zijn daarbij de risico's voor overdosering van S voor verschillende grondsoorten?
- Zijn er praktische zaken voor de borging van de werking van de techniek die bij eventuele toelating van de techniek van belang kunnen zijn?

Bijlage Beschikbare informatie
SyreN is opgenomen op de milieulijst van de MIA/VAMIL-regeling. Ten behoeve van een revisie van de milieulijst is door de Deense uitvinder van SyreN een analyse opgesteld van 27 wetenschappelijke studies in de periode 2010-2024. Dit analyserapport genaamd 'Effect analysis of 27 scientific studies using In Field Acidification' is als bijlage toegevoegd.

Bijlage 2 Samenstelling Commissie Deskundigen Meststoffenwet

Tabel B2.1 *Samenstelling van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet.*

Rol	Expertise	
Leden	Plantaardige productiesystemen	Prof.dr.ir. M.K. van Ittersum Wageningen Universiteit
	Diervoeding	Dr.ir. J. Dijkstra Wageningen Universiteit
	Beleidstransformaties voor duurzame samenleving	Prof.dr. M.A. Wiering Radboud Universiteit Nijmegen
	Milieutechnologie en Resource use	Prof. dr.ir. E. Meers Universiteit Gent
	Precisielandbouw/Smart Farming	Dr.ir. C.G. Kocks AERES Hogeschool
	Regeneratieve graslandsystemen	Prof.dr.ir. N.J.M. van Eekeren Wageningen Universiteit
Voorzitter	Bodem en nutriëntenmanagement	Prof. dr.ir. G.L. Velthof Wageningen Universiteit
Secretaris	Waterkwaliteit	Ir. E.M.P.M. van Boekel Wageningen Universiteit
Adviseur	Planbureau voor de Leefomgeving	Dr. Lena Schulte-Uebbing PBL, Den Haag

Bijlage 3 Protocol

Protocol: Toetsing van emissiearme mesttoedieningstechnieken. Versie november 2025

Het protocol is in 2017 opgesteld voor beoordeling van mesttoedieningstechnieken in het kader van "SBIR Terugdringen ammoniakuitstoot: Uitrijden van mest" (CDM, 2017). Het protocol is in het kader van het advies over beoordeling van het SyreN-systeem geactualiseerd.

1. Is er een wetenschappelijk rapport beschikbaar met een beschrijving van onderzoek (proefopzet, meetmethode, omstandigheden, berekening emissiefactor)? Indien nee, dan kan het systeem niet worden beoordeeld.

2. Voldoet mesttoedieningssysteem aan de eisen voor emissiearme mesttoedieningstechnieken voor grasland vermeld in de Omgevingswet? Indien ja, dan hoeft het systeem niet te worden getoetst.

3. Zijn de veldproeven, grondsoort, toedieningshoeveelheid en mesttoedieningssysteem (ook de referentie van mesttoediening) voldoende beschreven?

4. Is de werking van het nieuwe systeem voldoende beschreven, zodat het werkingsprincipe (waarom leidt de techniek tot reductie van ammoniakemissie) en het verschil met bestaande technieken geduid kan worden?

5. Is de proefopzet wetenschappelijk verantwoord om te toetsen dat de ammoniakemissie van een aanwendingstechniek gelijkwaardig is aan die van zodenbemesting (grasland op zandgrond) of sleepvoetbemesting met verdunde mest (grasland op klei- en veengrond)?

6. Is de meetmethode van ammoniakemissie wetenschappelijk verantwoord en voldoet de meetmethode aan het VERA-protocol? Zijn er minimaal drie proeven uitgevoerd en is een emissiefactor vastgesteld (drie proeven is het minimum, conform het VERA-protocol)?

7. Zijn de aanwendingsmethode en de omstandigheden (weer, bodem, gewas, mestsamenstelling) met voldoende detail beschreven voor een beoordeling van de ammoniakemissie?

8. Zijn er omstandigheden geweest waardoor de meetresultaten niet of beperkt bruikbaar zijn (bijvoorbeeld alleen toepasbaar voor een bepaalde situatie)?

9. Zijn de onzekerheden in de metingen voldoende beschreven?

10. De voorwaarde voor toelating van een nieuwe techniek is dat de emissiefactor van de nieuwe techniek lager of gelijk is aan die van zodenbemesting of sleepvoetbemesting met verdunde mest (emissiefactor 17% van de toegediende ammoniakale N (TAN)).

11. Eindoordeel: Heeft de getoetste aanwendingstechniek een gelijkwaardige ammoniakemissie als zodebemesting/sleepvoet met verdunning van mest.
    - Indien ja, eventueel aangeven of dit voor specifieke condities geldt.
    - Indien nee, heeft de techniek perspectieven?
    - Indien de techniek toch perspectiefvol is, wat zijn de aanbevelingen voor leveren gegevens/uitvoeren onderzoek, die nodig zijn voor een nieuwe beoordeling?