



BEMEST
OP Z'N
BEST

Innovatieprogramma
mesttoediening

Bemest op z'n Best

Ben Verwijs & Jan Huijsmans (eds)

Koos Verloop, Marieke Rinsema, Jan Huijsmans, Zwier van der Vegte, Roy Wichink Kruit,
Wim Bussink, Jeroen Pijlman, Monique Paes



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Bemest op z'n Best

Ben Verwijs & Jan Huijsmans (eds)

Koos Verloop¹, Marieke Rinsema¹, Jan Huijsmans¹, Zwier van der Vegte¹, Roy Wichink Kruit², Wim Bussink³, Jeroen Pijlman⁴, Monique Paes⁵

¹ Wageningen University & Research (WUR)

² Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

³ Nutriënten Management Instituut (NMI)

⁴ Louis Bolk Instituut (LBI)

⁵ Monique Paes Marketing & Interieur

Het onderzoeksprogramma 'Bemest op z'n Best' is in opdracht van LVVN uitgevoerd door een consortium van de Stichting Wageningen Research (WR), Nutriënten Management Instituut (NMI), Stichting Louis Bolk Instituut (LBI), Delphy B.V., TNO, RIVM, EV ILVO in het kader van beleidsondersteunend onderzoeksthema 2D Veerkrachtige dierhouderijsystemen (projectnummer BO-43-209-002).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, november 2025



Rapport WPR-1501



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verloop, Koos, Marieke Rinsema, Jan Huijsmans, Zwier van der Vegte, Roy Wichink Kruit, Wim Bussink, Jeroen Pijlman & Monique Paes (2025). *Bemest op z'n Best* (Ben Verwijs & Jan Huijsmans, eds). Wageningen Research, Rapport WPR-1501. 114 blz.; 2 fig.; 4 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/702950>

Samenvatting:

Dit integraal rapport van het innovatieprogramma 'Bemest op z'n Best' beschrijft geïdentificeerde praktijkinnovaties die ammoniakemissie bij mesttoediening potentieel kunnen verminderen. De doelen zijn het halveren van de ammoniakemissie bij mesttoediening ten opzichte van in gebruik zijnde technieken die aan de regelgeving voldoen en het werken aan draagvlak voor en het vergroten van inzicht in nauwkeurige uitvoering van de bemesting in de praktijk. Het onderzoeksprogramma is gericht op dierlijke mest, in het bijzonder drijfmest met name bij bemesting van grasland, maar ook bouwland.

Trefwoorden: stikstof, bemesten, dierlijke mest, netjes werken, ammoniakemissie, reductie ammoniakemissie, nevenaspecten, melkveehouderij, akkerbouw, toedieningstechnieken, innovatie

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-1501

Foto omslag: Niels van der Boom

Inhoud

Woord vooraf	8
Samenvatting	10
Abstract	12
1 Inleiding	14
1.1 Achtergrond	14
1.2 Probleem	14
1.3 Doelen	14
1.4 Afbakening en accenten	15
1.5 Aanpak	15
1.6 Opbouw van deze rapportage	17
2 Werkwijze	18
2.1 Organisatie van het innovatie- en demospoor	18
2.2 Beoordeling	18
2.3 Innovaties in onderzoek (WIO)	19
2.4 Wetenschap en meten (WWM)	19
2.5 Nevenaspecten	19
2.6 Demo & Praktijk	19
2.7 Communicatie	20
3 Resultaten onderzoeken innovaties	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Nauwkeurigheid mestplaatsing	21
3.2.1 Monitoring "nauwkeurigheid mestplaatsing"	21
3.2.2 Effect snijdiepte op bodembedekking met mest, grasopbrengst en -kwaliteit	22
3.3 Technieken voor bedekken bemestersleuf en mestplaatsing	23
3.3.1 Bedekken bemestersleuf met een toevoegmiddel	23
3.3.2 Bedekken bemestersleuf met gewasresten of grond	24
3.3.3 Mestplaatsing bij schuin insnijden van de zode	25
3.3.4 Mestinjectie grasland	26
3.4 Behandeling	27
3.4.1 Beregenen	27
3.4.2 Plasmolyse	27
3.5 Toevoegmiddelen	29
4 Resultaten Demo & Praktijk	32
5 Overige resultaten	34
5.1 VIP studie	34
5.2 Meetprotocol	34
5.3 Effect op nationale emissie (scenario's)	34
5.4 Notitie aanzuren	34
5.5 De RUIMTE	35
5.6 Mestinjectie	35

5.7	Sleufafstand	36
6	Conclusies	38
6.1	Verbeteren huidige praktijk	38
6.2	Innovaties in mesttoediening	38
6.3	Onderzoekopzet en onzekerheden	38
6.4	Voorwaarden voor brede toepassing	39
6.5	Effect van halvering van toedieningsemissies	39
7	Discussie; lessen en kansen uit 'Bemest op z'n Best'	40
7.1	De innovaties	40
7.2	Reflectie op het onderzoek	40
7.3	Emissiearme mesttoediening en de huidige praktijk; knelpunten en oplossingen	41
7.4	Implementatie vraagt samenwerking	42
7.5	Vervolgstappen	42
	Literatuur	44
Bijlage A	Achtergrond Documentatie BoB	45
Bijlage B	Samenstelling Stuurgroep en Klankbordgroep	46
Bijlage C	Samenstelling 'Bemest op z'n Best' werkgroepen	48
Bijlage D	Uitvraag en werkwijze beoordeling ideeën	50
Bijlage E	Gehanteerd protocol meten emissiereductie van ammoniak bij het toedienen van vloeibare dierlijke mest	56
Bijlage F	Werkwijze Nevenaspecten	68
Bijlage G1	Overzicht activiteiten werkgroep demo en praktijk	70
Bijlage G2	Communicatie	84
Bijlage H	VIP studie	88
Bijlage I	Scenario's effecten op nationale emissie	90
Bijlage J	Aanzuren van drijfmest voor het beperken van ammoniakemissie bij uitrijden	92
Bijlage K	De RUIMTE	96
Bijlage L	Ervaringen met mestinjectie (grasland) in Nederland	100
Bijlage M	Elementafstanden, sleufbreedte en ammoniakemissie bij mesttoediening op grasland	108

Woord vooraf

Met dit rapport presenteren wij de resultaten van het onderzoeksprogramma 'Bemest op z'n Best'. Binnen dit programma is de afgelopen jaren intensief samengewerkt aan technische innovaties en kennisinnovaties met als doel de ammoniakuitstoot bij toediening van dierlijke mest in de Nederlandse landbouw te verlagen. Deze problematiek vraagt om praktische innovaties en een sterke verbinding tussen wetenschap en praktijk.

Het onderzoeksprogramma is gestart op verzoek van het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en is tot stand gekomen dankzij de inzet van vele partijen: onderzoekers, agrarische ondernemers, toeleverend bedrijfsleven, adviseurs, beleidsmakers en maatschappelijke organisaties. Hun gezamenlijke betrokkenheid en bereidheid om kennis te delen en te toetsen in de praktijk, vormen de basis voor de inzichten die in dit rapport worden gepresenteerd.

Wij hopen dat de resultaten van dit programma bijdragen aan verdere verlaging van de ammoniakemissie in de landbouw, maar ook dat zij een impuls geven aan verdere ontwikkeling van duurzame technologieën en structurele aandacht voor vakkundig en zorgvuldig gebruik van technieken in de praktijk.

Wij danken alle betrokkenen voor hun waardevolle bijdrage en inzet. In het bijzonder bedanken we de aanbieders van innovaties, die hun innovaties beschikbaar hebben gesteld voor onderzoek en demonstratie. Zonder hun bereidheid om hun ideeën te onderzoeken en de intensieve samenwerking met onderzoek, was dit programma niet mogelijk geweest.

Namens het projectteam,
Koos Verloop

Samenvatting

In 'Bemest op z'n Best' zijn praktijkinnovaties onderzocht die ammoniakemissie (NH₃-emissie) bij mesttoediening kunnen verlagen met als doel een halvering ten opzichte van de huidige emissiearme methoden: bemesten met een zodenbemester of een sleepvoetenmachine met 2:1 verdunde mest. Van de 61 vanuit de praktijk ingediende innovatievoorstellen zijn er 20 door 'Bemest op z'n Best' als kansrijk beoordeeld. Daarvan zijn 12 innovatievoorstellen onderzocht en gaven 4 voorstellen aanleiding tot eigen onderzoek op basis van zogenoemde kennisvragen. Ook is gekeken naar mogelijke nevenaspecten die van belang zijn bij praktijkimplementatie en doorontwikkeling van de in onderzoek genomen innovaties. Het onderzoek heeft het volgende beeld opgeleverd:

- Real time monitoring kan zorgvuldige uitvoering van zodenbemesting en NH₃-emissieverlagings ten opzichte van de huidige praktijk ondersteunen.
- Injectie van mest in de bodem op grasland resulteert in minimale NH₃-emissie en in minder geur dan zodenbemesting. De uitdaging is echter om de schade aan de graszode zo veel mogelijk te beperken.
- Het afdekken van mest in de zodenbemestersleuf met grond kan de NH₃-emissie op bouwland vrijwel volledig reduceren; het afdekken met gewasresten op grasland biedt onvoldoende perspectief op reductie van de NH₃-emissie en implementatie in de praktijk.
- Een techniek om mest te kunnen bedekken met emissiebeperkende vloeistoffen of suspensies toont potentieel om ammoniakemissie op grasland te verlagen, maar vraagt doorontwikkeling om verstopping en grasbesmeuring te voorkomen. De effectiviteit van de toevoegmiddelen is nog niet goed vastgesteld.
- Plasmolyse verlaagt NH₃-emissie uit de dunne mestfractie. De NH₃-emissie van de dikke fractie, het hoge energieverbruik en mogelijke lachgasemissie vragen aandacht bij verdere ontwikkeling.
- Schuin insnijden van de graszode en daarin mest doseren, verkleint het contactoppervlak van mest met lucht. De effecten hiervan op de NH₃-emissie op grasland en op de graszode zijn nog onbekend, doordat de techniek onvoldoende doorontwikkeld is.
- Gelijktijdige, instantane (kortdurende) beregening bij mesttoediening reduceert de NH₃-emissie nauwelijks; langdurig beregenen zou effectiever kunnen zijn.
- Het aanzuren van mest kan potentieel de NH₃-emissies verlagen. Bij het aanzuren van mest met zwavelzuur kan echter een overmaat aan zwavel in de bodem terecht komen. Bij gebruik van andere zuren kunnen vergelijkbare problemen optreden. Daarnaast moet rekening gehouden worden met extra kosten en veiligheidsrisico's.

Real time monitoring en het afdekken van mest met grond zijn ver genoeg ontwikkeld om in praktijkpilots te worden getest op bedrijfsmatige toepasbaarheid. Dit geldt ook voor het afdekken van mest met toevoegmiddelen en injectie, met als kanttekeningen dat van de toevoegmiddelen de potentiële emissiereductie nog beter moet worden vastgesteld en dat voor ondiepe injectie de effecten op de graszode aandacht vragen. De overige technieken vragen aanvullend onderzoek naar hun potentiële emissiereductie en verdere technische verbetering.

In het onderdeel *Demo & Praktijk* zijn praktijkdemo's en kennissessies georganiseerd ter versterking van bewustwording, draagvlak en gedragsverandering in de praktijk. De centrale thema's waren de reductie van ammoniakemissie met nieuwe technieken en kansen en voordelen van zorgvuldig werken met bestaande technieken. In totaal zijn hiermee ruim 10.000 personen bereikt, afkomstig uit de agrarische praktijk, advisering, onderwijs, onderzoek en overheden. Vastgesteld werd dat met zorgvuldige toepassing van bestaande ammoniakemissiearme technieken, zoals zoden- en sleufkouterbemesting en het afdekken van drijfmest, nog aanzienlijke winst is te behalen door zorgvuldiger te werken. Bewustwording en ondersteuning via bijvoorbeeld monitoringssystemen zijn daarbij essentieel. Producten zoals een 'goed/fout kaart' en 'een veld APK' kunnen dit ondersteunen.

De studie *Verandering in de Praktijk* laat zien dat samenwerking tussen ondernemers, loonwerkers, machinebouwers en overheid cruciaal is om ammoniakemissie bij het uitrijden van mest te verminderen. Innovaties moeten praktisch voordeel opleveren en robuust toepasbaar zijn om marktontwikkeling en

investeringen te stimuleren. De overheid kan dit proces versterken via stimulering, regelgeving, certificering en toezicht.

Op basis van de resultaten van 'Bemest op z'n Best' is aan te bevelen om ook in de toekomst de mogelijkheid te bieden om innovatie-ideeën te onderzoeken op hun effectiviteit om ammoniakemissie bij het uitrijden van mest te verminderen, zodat ook toekomstige innovatiekansen benut kunnen worden. Voor een aantal innovaties met nog teveel onzekerheden, zou het onderzoek voortgezet kunnen worden. Ook nevenaspecten van de technieken verdienen hierbij de aandacht. Voor ver ontwikkelde innovaties is aan te bevelen om praktijkpilots op te zetten om werking, robuustheid en toepasbaarheid onder realistische omstandigheden te toetsen. Inzet op gerichte communicatie en praktijkdemonstratie kan de aandacht voor dit onderwerp ook in de toekomst versterken. Dit is van belang om vakmanschap bij de uitvoering van het mest uitrijden te ondersteunen en draagvlak te creëren voor brede toepassing in de praktijk.

Abstract

The project '*Bemest op z'n Best*' explored innovations aimed at reducing ammonia (NH₃) emissions from field-applied manure, with the ambition to halve emissions compared to current low-emission techniques such as shallow injection or the use of trailing shoe systems with 2:1 diluted slurry. Of the 61 proposals submitted, 20 were identified as promising. Twelve of these were further investigated in collaboration with the respective innovators. Four additional proposals, although promising, did not lead to sustained collaboration and were instead addressed through separate research initiated by the project. The study also examined side aspects relevant to practical implementation and further development of the innovations. As part of the Demo & Praktijk component, demonstrations and knowledge sessions were organized to raise awareness and promote behavioural change.

The outcome of the research showed that techniques such as real-time monitoring of the manure application (check on proper application), manure injection, and covering slurry with soil have potential to reduce NH₃ emissions. Some of these are sufficiently developed for pilot testing under practical conditions, while others require further technical refinement and validation of their emission-reducing potential.

Through demonstrations and knowledge sessions over 10,000 stakeholders from agriculture, advisory services, education, research, and government were reached. The findings indicate that significant emission reductions can still be achieved through more careful use of existing low-emission techniques, supported by tools such as monitoring systems and practical aids.

The study '*Verandering in de Praktijk*' highlights the importance of collaboration between farmers, contractors, machine manufacturers, and government. For innovations to succeed, they must offer practical benefits and must be robust in application. Government support through incentives, regulation, certification, and supervision can help accelerate adoption.

Based on the results, it is recommended to continue facilitating the evaluation of new innovative ideas for their effectiveness in reducing NH₃ emissions. For techniques with remaining uncertainties, further research is warranted. For more mature innovations, pilot trials are advised to assess performance and applicability under real-field conditions. Continued communication and demonstration efforts are essential to support skilled application and foster broad adoption in practice.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Dierlijke mest is nodig voor de voeding van bodem en plant, maar dierlijke mest is ook een bron van emissie van ammoniak (NH_3) naar de atmosfeer. De ammoniakemissie in Nederland is te hoog met nadelige gevolgen voor natuur en de gezondheid van mens en dier (Schulte-Uebbing & H. Westhoek, 2024). De totale NH_3 -emissie uit de Nederlandse landbouw was 111 miljoen kg in 2018 waarvan 98 miljoen kg uit miljoen kg uit dierlijke mest. In 2023 was dit respectievelijk 99 en 85 miljoen kg). Ongeveer een derde van de emissie uit dierlijke mest was afkomstig van mest toegediend op land (Bruggen et al., 2020; Most et al., 2025). Het ammoniakbeleid van de Nederlandse overheid heeft tot doel de emissies van ammoniak naar de atmosfeer te verminderen. Sinds 1990 zijn de NH_3 -emissies al met meer dan 50% verminderd. Maar om de doelen voor de bescherming van Natura 2000 gebieden te bereiken is een verdere vermindering nodig van de NH_3 -emissies ten opzichte van 2018 met 26% in 2030 en 50% in 2035 (LNV, 2020).

1.2 Probleem

Om de problemen die verband houden met NH_3 -emissie op te lossen, zal de emissie uit stallen en de emissie die plaatsvindt bij toedienen van mest op land verlaagd moeten worden. Alle mogelijkheden zullen benut moeten worden om de doelen te kunnen bereiken met de huidige veestapel. Daarom wordt gewerkt aan het breed toepassen van betere voerstrategieën en aan mestverwerking. Maar een grote opgave ligt ook bij toediening van mest op land, in het bijzonder bij toepassing van rundermest op grasland. Mest wordt op grasland in een sleuf in de grond gebracht met een zodenbemester of op veen- en kleigrond tussen het gras gebracht met de sleepvoet waarbij de mest verdund moet worden met water in een mest:water verhouding van 2:1. Bij zorgvuldig toepassen van deze technieken gaat gemiddeld 17% van de ammoniakale N in mest verloren als ammoniak. Deze emissie zal nog aanzienlijk verlaagd moeten worden. Bovendien, als de mesttoediening met deze technieken niet goed wordt uitgevoerd, is een duidelijk hogere emissie te verwachten. De uitvoering van bemesting met bestaande en verbeterde technieken zal dan ook goed uitgevoerd moeten worden. Dit geldt ook voor toediening van mest op bouwland.

1.3 Doelen

Om een verdere NH_3 -emissiereductie bij mesttoediening te onderzoeken en stimuleren is in 2022 een onderzoeksprogramma opgestart: 'Bemest op z'n Best'. 'Bemest op z'n Best' heeft drie hoofddoelstellingen:

1. Dit programma is erop gericht om een verlaging van de NH_3 -emissie bij mesttoediening te bewerkstelligen van tenminste 50% ten opzichte van de emissie die optreedt bij zorgvuldige toepassing van de gangbare technieken. Dat betekent dat voor de innovaties die voortvloeien uit dit programma bij mesttoediening emissiefactoren van toepassing zijn die de helft lager zijn dan nu het geval is bij zorgvuldig werken met de gangbare technieken¹.
2. Het programma onderkent en toetst kansrijke mogelijkheden in samenwerking met de actoren uit de landbouw. Het programma gaat daarbij zo inclusief te werk dat bij afronding van het programma gesteld kan worden dat alle mogelijke innovaties serieus in beschouwing zijn genomen.

¹ De innovaties zijn niet alleen gericht op de mestsoorten die nu beschikbaar zijn, maar ook op 'nieuwe' mestsoorten die in de komende jaren kunnen ontstaan als gevolg van ontwikkelingen in diervoeding, stalinrichting, mestopslag en of mestverwerking. Zie paragraaf 4 voor een nadere afbakening van het deel van de N-keten (voer, dier, mest, mestaanwending, bodem) waarop dit doel betrekking heeft en op de aanpak bij onderzoek naar nieuwe mestsoorten.

-
3. Het programma streeft naar een breed draagvlak voor een brede implementatie van nieuwe of verbeterde technieken. Daarom wordt in het onderzoek nadrukkelijk samengewerkt met de praktijk en de daarin voorkomende netwerken, loonwerkers, machinebouwers en bedrijfsadviseurs. Afstemming vindt plaats met belangenvertegenwoordigers uit de landbouw-, natuur- en milieuwereld. Er is een brede wetenschappelijke insteek door uitvoerige en adequate wetenschappelijke borging en organisatie van wetenschappelijke review.

1.4 Afbakening en accenten

Het programma 'Bemest op z'n Best' richt zich op de ontwikkeling en beoordeling van mesttoedieningstechnieken. Interventies eerder in de stikstofketen op agrarische bedrijven, zoals voerstrategieën, diermanagement, stalaanpassingen en mestbewerking, vallen buiten de scope. Technieken die vlak vóór toediening worden toegepast om de mestsamenstelling te beïnvloeden en ammoniakemissie te verlagen, vallen *wel* binnen de afbakening. Hoewel de interventies eerder in de stikstofketen dus niet tot het werkterrein van 'Bemest op z'n Best' horen, behoort het toedienen van de *producten* van dergelijke interventies in principe *wel* tot het werkterrein. Echter het accent in het onderzoek ligt bij onbewerkte mest. Dus: 'Bemest op z'n Best' gaat over toediening van vooral onbewerkte mest en wanneer dit mogelijk en relevant is, ook van mestproducten zoals dunne fractie en andere mestsoorten.

Voor praktijkdemonstratie en kennissessies met agrarisch ondernemers is het van belang om mesttoediening te presenteren en te bespreken in samenhang met de volledige bedrijfscontext, inclusief interventies in het stikstofmanagement. Daarom worden dit soort bijeenkomsten meer integraal aangepakt, deels door inbreng vanuit andere programma's, zoals Netwerk Praktijk Bedrijven (Netwerk Praktijkbedrijven), Betere stal, Betere mest, Betere Oogst (Betere stal, betere mest, betere oogst - WUR), en communicatietrajecten vanuit het DeltaPlan Agrarisch Waterbeheer (DAW; Deltaplan Agrarisch Waterbeheer - Samen werken aan schoon en voldoende water en een gezonde bodem Deltaplan Agrarisch Waterbeheer - Grip op bodem en water). 'Bemest op z'n Best' ondersteunt de ontwikkeling en onderzoekt technieken vanaf de idee-fase, idealiter, maar niet noodzakelijkerwijs uitgewerkt in een prototype naar het punt waarop ze zoveel mogelijk klaar zijn voor praktijktoepassing en beleidsmatige verankering. Het volledig praktijkrijp maken van technieken (in de techniekontwikkeling spreekt men van het verhogen van het Technical Readiness Level (TRL) tot hoger dan 7), valt buiten het kader van 'Bemest op z'n Best'. Dit geldt ook voor de daadwerkelijke uitrol en beleidsimplementatie.

1.5 Aanpak

Effectieve NH₃-emissiereductie ligt in het toepassen van technieken die onder alle omstandigheden goed werken; inspelen op gunstig weer kan op zichzelf bijdragen aan NH₃-emissiereductie maar staat op gespannen voet met de logistiek, de nauwe tijdsvensters waarbinnen bemesting in de huidige praktijk wordt ingepland en beperkingen in de voorspelling van lokale weersomstandigheden. Daarom is in 'Bemest op z'n Best' gefocust op technische innovaties die een reducerend effect hebben op de NH₃-emissies. Aangezien de mesttoediening op grasland de grootste bijdrage levert aan de totale NH₃-emissie door mesttoediening in Nederland ligt de focus in 'Bemest op z'n Best' vooral (maar niet uitsluitend) op innovaties voor mesttoediening op grasland.

Om de ammoniakemissie bij mesttoediening te kunnen verlagen, is technische innovatie en het goed toepassen van bestaande technieken nodig. Hiervoor is de medewerking en betrokkenheid nodig van verschillende stakeholders, te weten: machinebouwers, industrie en leveranciers, loonwerkers en boeren. Hier is bij de opzet van het programma rekening mee gehouden, door met twee hoofdsporen te werken: een innovatiespoor en een praktijkdemonstratiespoor.

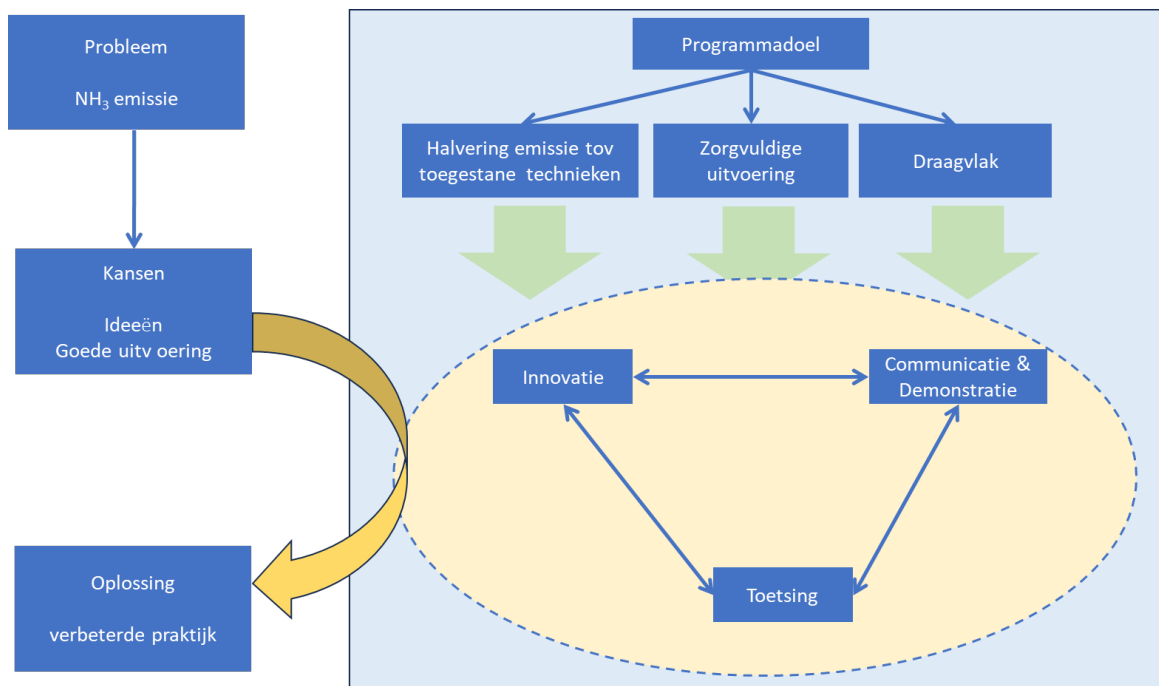
Het innovatiespoor

'Bemest op z'n Best' heeft professionals in de praktijk gevraagd om ideeën voor verbetering van mesttoediening aan te bieden en in te sturen. Aangeboden ideeën zijn beoordeeld op hun potentieel om bij te dragen aan de verlaging van ammoniakemissie. Voor voldoende kansrijke ideeën is met de aanbieder van

een idee een traject gestart waarbij afspraken zijn gemaakt over het onderzoek. Bij de beoordeling van ideeën is in ogenschouw genomen dat situaties dat het voordelen heeft als de idee-indiener een verdere implementatie kan bewerkstelligen, eventueel door samenwerking met een fabrikant. Hierdoor is het belang van vermarkten van innovaties in een vroeg stadium meegenomen.

Het praktijkdemonstratiespoor

Om het draagvlak voor het werken met verbeterde mesttoedieningstechnieken te bevorderen is het spoor Demo & Praktijk uitgerold. De opzet hiervan was om veldbijeenkomsten te organiseren in verschillende regio's en bij te dragen aan netwerkbijeenkomsten, beurzen en congressen die gericht zijn op de praktijk. Vanwege het belang van zorgvuldige uitvoering van bemesting, is 'Netjes werken' als een centraal thema ontwikkeld. De demo's waren ten dele ook bedoeld om nieuwe technieken, voor zover dat mogelijk was gezien de voortgang van het onderzoek, te tonen zodat bezoekers hun mening over verschillende technieken konden vormen. De samenhang van het programmadoel, het innovatiespoor en het praktijkdemonstratiespoor is schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Samenhang van het programmadoel, het innovatiespoor en het praktijkdemonstratiespoor.

Samenwerking

In 'Bemest op z'n Best' werkt een breed consortium van kennisinstellingen en organisaties samen, te weten: Louis Bolk Instituut (LBI), Nutriënten Management Instituut (NMI), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), kennisbedrijf Delphy, adviesbureau en sparringpartner PPP-Agro Advies, Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO, België) met Wageningen University & Research (WUR) als trekker.

Opdrachtverlener, stuurgroep en klankbordgroep

De opdracht voor het programma 'Bemest op z'n Best' is verleend door het Ministerie van LVN (nu LNVN). Op verzoek van de opdrachtverlener is een brede stuurgroep ingesteld waarin LTO, Cumela, Fedecom, PBL en de Groene 11 vertegenwoordigd zijn. Tevens is een klankbordgroep ingesteld om inhoudelijke en strategische discussies voor te leggen. In hoofdstuk 2 zijn deze aspecten meer in detail beschreven. De samenstelling van de Stuurgroep en Klankbordgroep is weergegeven in Bijlage B.

Werkgroepen onderzoeksprogramma 'Bemest op z'n Best'

Het onderzoeksprogramma bestaat uit meerdere werkgroepen, waarvan de werkzaamheden in hoofdstuk 2 verder zullen worden besproken.

1.6 Opbouw van deze rapportage

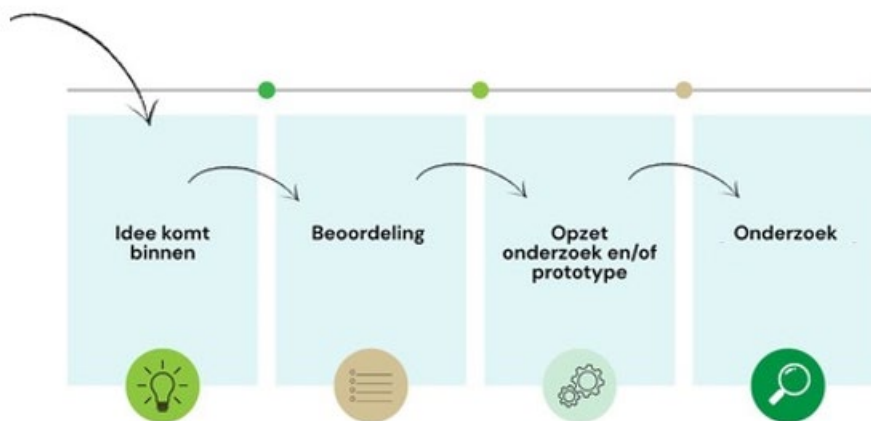
In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze van het 'Bemest op z'n Best' onderzoeksprogramma beschreven. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting gegeven van de uitgevoerde onderzoeken van de ingebrachte ideeën en kennisvragen. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de specifieke aspecten rondom de uitgevoerde demonstraties en kennisbijeenkomsten. Hoofdstuk 5 gaat in op het transitieproces bij veranderingen in de praktijk, het gehanteerde meetprotocol voor NH₃-emissiereductiemetingen, scenarioberekeningen voor het effect van verschillende reducties bij mesttoediening op de nationale NH₃-emissie en bevat een notitie over het aanzuren van mest. Tot slot volgt in hoofdstuk 6 een algemene discussie ("lessons learned").

In deze rapportage wordt op meerdere plaatsen gesproken over emissie of emissiereductie. Tenzij anders is aangegeven, wordt hiermee ammoniak (NH₃)-emissie bedoeld.

2 Werkwijze

2.1 Organisatie van het innovatie- en demospoor

Bij de opzet van 'Bemest op z'n Best' is gekozen voor een duidelijke participatie vanuit stakeholders. Een brede uitvraag is gedaan (aanschrijven/social media) om ideeën aan te leveren die bij kunnen dragen aan de vermindering van de ammoniakemissie bij mesttoediening. Aangedragen ideeën werden beoordeeld door de werkgroep **Beoordeling** en bij een besluit van een "go" werd een samenwerkingsovereenkomst gesloten met de idee-indiener om voorlopige vertrouwelijkheid tijdens de ontwikkeling en uitvoering van het onderzoek te borgen. Vervolgens werd het idee gekoppeld met de **Werkgroep Innovaties in Onderzoek (WIO)** om gezamenlijk met de idee-indiener het onderzoek in uitvoering te nemen. De **Werkgroep Wetenschap en Meten (WWM)** verzorgde de kwaliteitsbewaking van het onderzoek en verdiepte zich in wetenschappelijke achtergronden bij het meten van ammoniakemissie. Parallel aan het innovatiespoor werden door 'Bemest op z'n Best' met grote regelmaat kennis- en demobijeenkomsten georganiseerd door de werkgroep **Demo & Praktijk** om zo stakeholders bij het onderzoek te betrekken, maar ook om boodschappen en voortgang vanuit 'Bemest op z'n Best' te presenteren.



Figuur 2 Fases in het innovatiespoor.

De werkgroep **Communicatie** verzorgde alle communicatie rechtstreeks naar stakeholders via verschillende media en de 'Bemest op z'n Best' website.

In de volgende paragrafen worden kort de werkzaamheden van de verschillende werkgroepen verder toegelicht. De samenstelling van de 'Bemest op z'n Best' werkgroepen staat in Bijlage C.

2.2 Beoordeling

Alle binnengekomen ideeën zijn op volgorde van beoordeling genummerd. In totaal zijn 61 ideeën ontvangen en beoordeeld door de werkgroep Beoordeling. Van dit totaal aantal ideeën zijn 12 ideeën in onderzoek opgenomen. In de eerste jaren van het onderzoeksprogramma zijn op meerdere tijdstippen deadlines gecommuniceerd voor het indienen van ideeën. Ideeën konden via een ingevuld template worden ingediend. De ideeën werden anoniem gemaakt, voordat ze aan de werkgroep beoordeling werden voorgelegd. Met het anonimiseren werd voorkomen dat indieners of ideeën een voorkeursbehandeling kregen. De uitvraag voor indienen van het idee, het template en de gevolgde procedure bij de beoordeling staat beschreven in Bijlage D. Bij de start van het onderzoeksprogramma bleek bij het aanreiken of voorbereiden van ideeën dat

templates soms onvoldoende of onduidelijk waren ingevuld. Daarom is in het verdere verloop van het onderzoeksprogramma steeds contact geweest tussen de indiener en een medewerker binnen 'Bemest op z'n Best' om de vraagstelling helder en eenduidig te beantwoorden. Deze medewerker was niet betrokken bij de beoordeling. Veelal moest bij de beoordeling benadrukt worden dat het onderzoeksprogramma zich richtte op NH₃-emissiereductie bij de mesttoediening en dus niet gericht op stal- en mestopslagmaatregelen. Ondanks een positieve beoordeling hebben een aantal idee-indieners zich daarna toch nog teruggetrokken, bijvoorbeeld omdat ze het voorgestelde idee niet konden realiseren of omdat ze onvoldoende marktperspectief zagen. Een aantal ideeën is door 'Bemest op z'n Best' zelf ter hand genomen of ingebracht om meer inzicht (achtergrond) te krijgen in het proces van ammoniakemissie en een eventuele emissiereductie. Deze onderzoeken zijn als "kennisvragen" betiteld. Bij het in uitvoering nemen van een idee of kennisvraag (nader aangeduid als "innovatie") werd het onderzoek en de verdere communicatie (samenwerking) opgepakt door de werkgroep WIO.

2.3 Innovaties in onderzoek (WIO)

De Werkgroep Innovaties in Onderzoek richtte zich op de opzet en uitvoering van het onderzoek met betrekking tot innovatie-ideeën of kennisvragen en op de afstemming over het onderzoek met de idee-indiener. Voortgang en knelpunten werdenesignaleerd en indien nodig verder ingebracht in een overkoepelend programmateam-overleg. Onderzoeken werden gerapporteerd in een meetrapport dat eerst door de leden van de werkgroep werd gereviewd, waarna het ter review aan de Werkgroep Wetenschap en Meten werd voorgelegd. Samen met de Werkgroep Wetenschap en Meten is een meetprotocol opgezet voor het bepalen van de emissiereductie ten opzichte van standaard zodenbemesten bij de ammoniakemissiemetingen (Bijlage E).

2.4 Wetenschap en meten (WWM)

De Werkgroep Wetenschap en Meten heeft samen met de Werkgroep Innovaties in Onderzoek (WIO) een meetprotocol opgesteld waarmee de emissiereducties kunnen worden bepaald (Bijlage E). Daarnaast zijn door de werkgroep WWM samen met werkgroep WIO doorrekeningen gemaakt met NEMA van de effecten van potentiële emissiereducties bij mesttoediening voor de nationale schaal. Verder heeft de werkgroep de meetplannen van voorgesteld onderzoek beoordeeld en droeg het zorg voor de wetenschappelijke review van de meetrapportages over de onderzoeken naar de ideeën en/of kennisvragen.

2.5 Nevenaspecten

Het doel van het 'Bemest op z'n Best' onderzoek is om zowel de effectiviteit van de innovaties in het reduceren van ammoniakemissie te beoordelen, als de mogelijke neveneffecten in beeld te brengen die mogelijk met deze innovaties gepaard gaan. Binnen de werkgroep Nevenaspecten zijn de verschillende onderzochte ideeën en kennisvragen geëvalueerd op neveneffecten. De gevolgde werkwijze staat beschreven in Bijlage F. Nevenaspecten waarvan de impact beoordeeld is, zijn: i) stikstofwerking, koolstofvastlegging, fosfaat uit- en afspoeling, nitraat uitspoeling, stikstof afspoeling en aanvoer van (extra) nutriënten of hulpstoffen; ii) stank en of geur, lachgas- en methaanemissie; iii) bodemverdichting, schade aan zode, bodemleven en broedende vogels; iv) energieverbruik, kostprijs en waterverbruik. Bij de analyse van nevenaspecten zijn de kennisvragen 'Instantaan beregenen bij toediening van mest' (paragraaf 3.7.1) en 'Effect Sleufafstand' (paragraaf 5.7) buiten beschouwing gebleven.

2.6 Demo & Praktijk

De werkgroep Demo & Praktijk verzorgde gedurende de looptijd van het onderzoeksprogramma, demonstraties in het veld en kennisbijeenkomsten of presentaties. In deze bijeenkomsten werd steeds

aandacht gevraagd en/of gedemonstreerd hoe de mesttoediening goed/netjes uitgevoerd kan worden. De bijeenkomsten gaven gelegenheid om in discussie te gaan met eindgebruikers en stakeholders, over hoe tot een reductie van de ammoniakemissie bij mesttoediening te komen. In aanloop en gedurende het onderzoeksprogramma werd bij de bijeenkomsten ook steeds een oproep gedaan om ideeën in te dienen. In samenwerking met communicatie zijn diverse kennisproducten ontwikkeld die acceptatie en toepassing in de praktijk ondersteunen. In Bijlage G1 is een opsomming gegeven van alle uitgevoerde demoactiviteiten.

2.7 Communicatie

Tijdens het onderzoeksprogramma verzorgde de werkgroep Communicatie de interne en externe communicatie via onder meer berichten op de website <http://www.bemestopznbest.nl> tijdschriften en nieuwsbladen van stakeholders. De externe communicatie richtte zich op het bekendmaken van het programma en het stimuleren van betrokkenheid en actieve deelname door het aanleveren van ideeën en het meewerken aan onderzoek en ontwikkeling (bijvoorbeeld demo's) door het ontwikkelen van praktische (communicatie)middelen. Daarnaast volgde de werkgroep nieuws en ontwikkelingen rondom het programma, droeg ze bij aan kennisvermeerdering (door het delen van kennis en ervaringen) en was de werkgroep betrokken bij analyse van de bereidheid om met de innovaties aan de slag te gaan. In Bijlage G2 wordt een breed overzicht van de werkzaamheden weergegeven.

3 Resultaten onderzoeken innovaties

3.1 Inleiding

Het meten en vaststellen van ammoniakemissie gaat gepaard met onzekerheden. Deze hebben te maken met de opzet van de metingen, de toegepaste meettechnieken en de heersende omstandigheden (voornamelijk weer en veld/bodem) waaronder de metingen plaatsvinden. Ammoniakemissie is afhankelijk van een groot aantal factoren die niet altijd kwantitatief te duiden zijn. Het is daarom van belang om metingen in de tijd te herhalen onder wisselende omstandigheden. Binnen 'Bemest op z'n Best' is een meetprotocol opgezet om de (potentiële) emissiereductie van innovaties te onderzoeken (Bijlage E). Uitgevoerde metingen zijn zo uitvoerig mogelijk beschreven en binnen de Werkgroep Wetenschap en Meten heeft een wetenschappelijke review plaatsgevonden die uitgewisseld is met de betreffende onderzoekers van de innovaties. In Bijlage A (Achtergrond documentatie BoB) zijn de verschillende onderzoeken beschreven en is ook de review/beoordeling opgenomen. In de navolgende samenvattende teksten (weergave achtergrond idee, onderzoek én beoordeling) zijn de bevindingen beschreven per idee/per onderzochte toepassing.

De onderzoeken zijn vooral uitgevoerd om te screenen of een innovatie de potentie heeft om tot emissiereductie te leiden. In de onderstaande samenvattingen worden geen reducties vermeld, maar waar mogelijk een kwalitatieve beoordeling van de potentiële emissiereductie gegeven. Van sommige innovaties is binnen 'Bemest op z'n Best' enkel onderzoek gedaan naar agronomische of technische uitvoeringsaspecten, omdat dit nodig werd geacht vóórdat effecten op ammoniakemissie werden gemeten. Nader onderzoek zal moeten worden uitgevoerd om de emissiereductiepotentie vast te stellen.

Voor de onderzochte innovaties is ook nagegaan welke nevenaspecten - dat wil zeggen effecten op andere aspecten dan op NH₃ emissie - mogelijk optreden in vergelijking met referentietechnieken. In Bijlage A (Achtergrond Documentatie BoB) zijn de mogelijke nevenaspecten per innovatie gerapporteerd.

3.2 Nauwkeurigheid mestplaatsing

3.2.1 Monitoring "nauwkeurigheid mestplaatsing"

De nauwkeurigheid van de uitvoering van de mesttoediening heeft invloed op de uiteindelijke ammoniakemissie. Bij zodenbemesting moet alle mest in de sleuf worden geplaatst, waarbij een goede afstemming tussen mestgift en sleufvolume noodzakelijk is.

Vanuit het bedrijfsleven (Vredo Dodewaard BV) is het idee ontstaan om samen met WUR nader onderzoek te doen naar mogelijkheden voor een nauwkeurige en controleerbare mesttoediening. Hierbij werd het resultaat gemonitord en geregistreerd (inclusief GPS data; as-applied kaarten). Het werkresultaat werd tijdens de mesttoediening direct zichtbaar gemaakt voor de chauffeur, zodat de afstelling van de bemester direct kon worden aangepast.

In het onderzoek is, afhankelijk van de gemeten werkdiepte, het sleufvolume bepaald om zo een goede afstelling te verkrijgen tussen de mestgift en de werkdiepte. De werkdiepte werd realtime gemeten op de bemester. Daarnaast zijn met behulp van realtime camerabeelden beoordelingen gemaakt om te beoordelen of 'alle mest netjes in de sleuf gedoseerd wordt bij een vooraf ingestelde sleufbreedte'. Zowel monitoring van de werkdiepte als de realtime camerabeelden leidden tot een nauwkeurigere mestplaatsing.

Nevenaspecten

Toepassing van deze innovatie borgt dat de uitvoering van zodenbemesting in praktijksituaties meer overeenkomt met correct uitgevoerde zodenbemesting. De analyse van nevenaspecten brengt hierbij geen aandachtspunten aan het licht, omdat de innovatie overeenkomt met de referentie die is gebruikt in de analyse. In de praktijk zal nauwkeurige mestplaatsing met behulp van goed uitgevoerde zodenbemesting vergeleken met situaties waarin de mest niet nauwkeurig geplaatst wordt wel tot neveneffecten kunnen

leiden. Naast een verlaging van de ammoniakemissie is minder geuroverlast te verwachten en een iets hogere benutting van stikstof in mest. Brandstofgebruik kan zowel hoger als lager zijn. Voorkomen van besmeuring van gras met mest kan een gunstig effecten hebben op zodekwaliteit.

Evaluatie en beoordeling

De resultaten zijn dusdanig positief dat de monitoringapparatuur bij een loonwerker op de bemester is gemonteerd voor duur-testen, waarbij het systeem de chauffeur ondersteunt bij een goede afstelling zodat het 'common practice' wordt om de mestplaatsing nauwkeurig uit te voeren.

3.2.2 Effect snijdiepte op bodembedekking met mest, grasopbrengst en -kwaliteit

De nauwkeurigheid van de uitvoering van de mesttoediening heeft invloed op de uiteindelijke ammoniakemissie. Bij zodenbemesting moet alle mest in de sleuf worden geplaatst, waarbij een goede afstemming tussen mestgift en sleufvolume noodzakelijk is. Vanuit 'Bemest op z'n Best' is een kennisvraag geformuleerd om effecten van verschillend werkresultaat te onderzoeken. In 2024 is veldonderzoek uitgevoerd naar zodenbemesting met verschillende snijdiepten gedurende twee sneden op grasland op kleigrond. Het onderzoek beoogde inzicht te krijgen in effecten op het werkresultaat en de grasopbrengst en -kwaliteit.

Bij *netjes* (ca. 3,5 – 6 cm sleufdiepte) en *ondiep bemesten* (ca. 2,5 cm sleufdiepte) was de bodembedekking met mest significant lager dan bij *op de grond bemesten*. *Netjes* en *ondiep bemesten* verschilden niet qua bodembedekking met mest. Bij de eerste bemestingsronde waren er geen verschillen in grasopbrengst of -kwaliteit tussen de behandelingen *netjes*, *ondiep* of *op de grond bemesten*. In de tweede bemestingsronde, met nattere bodem- en weersomstandigheden waarbij de sleuven volledig dichttrokken gedurende de groeiperiode, resulteerde *netjes bemesten* (ca. 6 cm sleufdiepte) in een 353 kg/ha (22%) hogere drogestofopbrengst met gelijke voederwaarden ten opzichte van *op de grond bemesten*.

Ondanks het relatief kleine verschil in sleufdiepte in de eerste bemestingsronde tussen *netjes bemesten* en *ondiep bemesten*, resulteerde *netjes bemesten* in diepere en bredere sleuven op het moment van maaien dan *ondiep bemesten*. Dit was na een periode van droog en warm weer. Bij het maaien liepen bij *netjes bemesten* op veel plaatsen droogtescheuren samen op met de door de bemester gemaakte sleuven, wat de indicatie gaf dat dieper snijden de scheurvorming van de kleigrond bevorderde. Onder de vochtige omstandigheden in de tweede bemestingsronde was scheurvorming op het moment van maaien niet aan de orde.

De resultaten benadrukken het belang van het aanpassen van de snijdiepte van de zodenbemester aan bodem- en weersomstandigheden, en eventueel het bemestingsmoment, naast de mestgift, voor een minimaal contactoppervlak tussen mest en atmosfeer en een goede benutting van de mest. Op kleigrond lijkt bemesten onder vochtige bodem- en weersomstandigheden op circa 5 cm diepte met een zodenbemester de efficiëntie van bemesting en de grasopbrengst te verbeteren ten opzichte van *op de grond bemesten*.

Evaluatie en beoordeling

Uit deze veldproef op kleigrond blijkt dat snijden in de graszode bij drijfmesttoediening kan leiden tot minder emitterend mestoppervlak en potentieel tot betere gewasopbrengsten vergeleken met bovengrondse drijfmesttoediening met een zodenbemester zonder in de bodem te snijden. Het effect van de diepte van snijden in de graszode op kleibodems op de gewasopbrengst en -kwaliteit is echter afhankelijk van de weersomstandigheden. Deze proef bevestigt het belang van het aanpassen van de afstelling van machine en mestgift aan de bodem- en weersomstandigheden.

3.3 Technieken voor bedekken bemestersleuf en mestplaatsing

3.3.1 Bedekken bemestersleuf met een toevoegmiddel

Het bedekken of mengen van mest in de bemestersleuf met een middel is een potentiële maatregel om de ammoniakemissie te verlagen (zie ook paragraaf "3.8 Toevoegmiddelen"). Vanuit het bedrijfsleven (Slootsmid) is een idee geformuleerd om de technische mogelijkheden voor het doseren van een toevoegmiddel te onderzoeken.

In het onderzoek lag de focus op de ontwikkeling van een doseerunit voor vloeistoffen en suspensies. Hierbij werden diverse verdunningen van de middelen toegepast met daarmee overeenkomende, verschillende doseringen. Toediening dicht op de mest kan het werkresultaat verbeteren en de invloed van wind beperken. Verschillende doseerunits zijn ontwikkeld en getest op het vermogen om toevoegmiddelen nauwkeurig te doseren en verstoppingen te voorkomen door bijvoorbeeld:

- Vloeistoffen te verspuiten/vernevelen op de bemestersleuf: veldspuitpomp met membraanklep kort voor de kunststof nozzle die het middel over de bemestersleuf spuit.
- Suspensies te doseren via een slangenpomp met membraanklep kort voor het metalen uitlooppunt. Dit voorkomt lekken en zorgt ervoor dat de leiding gevuld blijft en niet kan leeglopen.

Beide varianten doseerden op enkele centimeters boven het mestoppervlak (de bemeste sleuf). De technische constructie was zo geregeld dat de nozzle of metalen uitloop niet met de mest in contact kon komen. De volgende waarnemingen werden gedaan:

- Het werkresultaat ziet eruit als een vrije uitloop. Het sproeien van vloeistoffen in hoeveelheden van 500 liter per ha op enkele centimeters boven het mestoppervlak verliep op een enkele uitzondering na zonder problemen.
- Schade aan de grasmat doordat naast de sleuf werd gesproeid, is niet waargenomen.
- Suspensies gaven verstoppingsproblemen.
- Verdere (technische) verbeteringen van het doseren van vloeistoffen en suspensies en het bewerkstelligen van een homogene bedekking zijn denkbaar.

Nevenaspecten

Bij verdere ontwikkeling zou naast de robuustheid van de techniek aandacht besteed kunnen worden aan beperken van de kostprijs van de techniek en het voorkomen van schade aan de graszode indien gras wordt besmeurd met toevoegmiddel.

Evaluatie en beoordeling

De onderzoeken brengen de volgende aandachtspunten naar voren die van belang zijn voor brede toepassing in de praktijk en die vragen om verfijning van de technieken/toepassingen:

- Exacte dosering en plaatsing (om verbranding van gras te voorkomen).
- Gegarandeerde goede menging of bedekking.
- Optimaliseren van benodigde volumes (vanwege de logistiek en kosten).
- Goed afgestelde machines en nauwkeurige plaatsing van mest en het afdekmiddel.

3.3.2 Bedekken bemestersleuf met gewasresten of grond

Een generieke mogelijkheid om ammoniakemissie bij mesttoediening te reduceren, is het verkleining van het contactoppervlak tussen mest en buitenlucht. Een mogelijke aanpak hiervoor is het afdekken van een zodenbemestingssleuf met grond en/of gewasresten zoals gras. Vanuit het bedrijfsleven (Vredo Dodewaard BV) is een idee geformuleerd en aangeboden voor nader onderzoek.

In het verlengde hiervan zijn experimenten uitgevoerd om de effecten te bepalen van het afdekken van de zodenbemestersleuf:

- a. voor bouwland met grond;
- b. voor grasland met gewasresten.

Het afdekken richtte zich op het mechanisch afdekken met beschikbaar organisch materiaal zoals gewasresten en/of losse grond.

Resultaten bouwland

Voor bouwland blijkt dat bedekken veelal leidt tot een reductie van de ammoniakemissie. Volledige afdekking heeft het grootste effect, en dit is vergelijkbaar met reducties die gemeten zijn bij injectie en volledig bedekken door direct inwerken (onderploegen) van bovengronds verspreide mest. Ook het gedeeltelijk afdekken leidt veelal tot een reductie; de reductie neemt toe naarmate de bedekking vollediger is. Dit resultaat wordt bereikt op zandgrond en op kleigrond.

Op basis van de resultaten bouwland is een doorkijk gemaakt wat het afdekken van de sleuf op bouwland kan betekenen voor de nationale emissie (voor 2023; berekeningen uitgevoerd met NEMA). Deze berekeningen laten zien dat de nationale emissie gereduceerd kan worden met ca. 1,3 miljoen kg NH₃ bij 1/3 bedekken tot ca. 6,1 miljoen kg NH₃ bij volledig bedekken.

Resultaten grasland

De resultaten voor het bedekken van zodenbemestersleuven met gras zijn niet consistent. Op basis van de resultaten is de verwachting dat hiermee geen eenduidige emissiereductie kan worden bereikt. Bovendien zijn de experimenten uitgevoerd met relatief grote hoeveelheden gras, om een mogelijk effect duidelijk te kunnen vaststellen. In de praktijk is het onwaarschijnlijk dat zulke hoeveelheden egaal over een graslandperceel beschikbaar zijn.

Nevenaspecten

Bij de analyse van neveneffecten is uitgegaan van toepassing op bouwland. Een gunstig nevenaspect betreft de stikstofwerking. Daarnaast zijn er aanwijzingen voor een mogelijk verminderde afspoeling van stikstof en fosfaat. De overige neveneffecten lijken marginaal en betreffen geringe potentiële effecten op bodemverdichting, het bodemleven en weidevogels.

Evaluatie en beoordeling

Het onderzoek geeft aan dat het afdekken van sleufjes met gras niet eenduidig is en weinig perspectief heeft en dat afdekken met grond op bouwland potentie heeft.

3.3.3 Mestplaatsing bij schuin insnijden van de zode

Een generieke mogelijkheid om ammoniakemissie bij mesttoediening te reduceren is het verkleinen van het contactoppervlak tussen mest en buitenlucht. Een mogelijke aanpak hiervoor is het afdekken van een zodenbemestingsleuf met de doorgesneden zode. Principe is dat de zode schuin wordt ingesneden, mest in de snede wordt gedoseerd en de zode deels wordt teruggedrukt. Vanuit het bedrijfsleven (Duport BV) is een idee geformuleerd en aangeboden voor nader onderzoek.

Zodenbemesten in schuin gesneden sleuven werd onderzocht op agronomische geschiktheid en potentie in verkennende veldproeven. Hiertoe werd een prototype met één bemestingselement gebruikt. Dit prototype was (nog) niet bodemvolgend, maar de werkdiepte werd afgesteld met loopwielen. Op een testdag werd onder andere de minimale sleufdiepte bij verschillende mestgiftten bepaald, en verschillende methoden om de sleuf dicht te drukken werden getest, in verschillende bodemsoorten. Op basis van de testresultaten werden veldproeven opgezet en uitgevoerd met twee snijdieptes, drie mestdoseringen en twee aandrukgewichten op drie locaties (twee zand, één klei). Hierbij zijn metingen verricht zoals vlakheid van de bodem, mestbedekking en bodemvocht. De proeven vonden plaats bij verschillende weers- en bodemomstandigheden.

De resultaten laten zien dat het contactoppervlak van mest met de atmosfeer toenam bij een grotere mestgift, ongeacht de snijdiepte. Dieper snijden zorgde op slechts één locatie voor een lagere mestbedekking. Het aandrukgewicht had geen significant effect op de mestbedekking van de bodem. Volledig afdekken van de mest in de sleuf werd niet bereikt. Dieper snijden veroorzaakte op twee van de vijf situaties meer bodemvervorming. Zwaarder aandrukken gaf in één situatie minder bodemvervorming. Het effect van de behandelingen op verdroging verschilde per situatie en behandeling; Een zwaarder aandrukgewicht resulteerde in droge situaties in een hoger bodemvocht in de toplaag (0-5 cm-mv), terwijl mestgift en snijdiepte een wisselend effect hadden op het bodemvochtgehalte. In enkele gevallen leidde diep snijden tot een hogere bodemvochtigheid, en leidde het toevoegen van water aan de mest tot meer verdroging van de bodem. Mogelijk zijn de effecten op bodemvocht deels te verklaren uit verschillen in grasgroei en waterverdamping, maar in de proeven is niet aan grasgroei gemeten.

Samenvattend lijkt schuin insnijden de potentie te hebben om tot een werkresultaat met een relatief laag contactoppervlak van mest met lucht te komen, met name bij wat kleinere mestgiftten. Ook komt uit de proeven het beeld naar voren dat doorontwikkeling van onderdelen van de machine mogelijk kan zorgen voor een beter werkresultaat, en dat de optimale afstelling van de machine per situatie verschilt.

Nevenaspecten

Licht gunstige nevenaspecten zijn mogelijk stikstofwerking, stank & geur. Licht ongunstige nevenaspecten zijn schade aan zode, mogelijk bodemverdichting, bodemleven, weidevogels.

Evaluatie en beoordeling

Schuin insnijden van de sleuf bij zodenbemesting op grasland lijkt een significant effect op het contactoppervlak van de mest te hebben en zou daarmee tot een reductie van de ammoniakemissie kunnen leiden. Helaas is in de proefopzet geen rekening gehouden met een goede referentie (het verticaal insnijden). Er zijn op dit moment dus nog geen proeven uitgevoerd waarin het verticaal insnijden en het schuin insnijden direct met elkaar zijn vergeleken bij dezelfde mestgift en onder dezelfde omstandigheden.

3.3.4 Mestinjectie grasland

Een generieke mogelijkheid om ammoniakemissie bij mesttoediening te reduceren is het verkleinen van het contactoppervlak tussen mest en buitenlucht door middel van injectie. Vanuit het bedrijfsleven (Pelgreen Products) is een mestinjecteur voor grasland aangeboden voor nader onderzoek.

De mestinjectie werd in 2025 onderzocht op agronomische geschiktheid en potentie in een verkennende veldproef op zandgrond met permanent grasland. Hiertoe werd de injecteur gebruikt met elementen op 50 cm afstand die de mest ca. 12 cm onder het maaiveld plaatsen om het contact tussen mest en atmosfeer te minimaliseren. In dezelfde proef werd een vergelijking aangelegd met een reguliere zodenbemester.

Het principe van mestinjectie staat beschreven in paragraaf 5.6. Gekozen is om maximaal éénmaal met de injecteur te bemesten, omdat met mestinjectie grotere giften makkelijker goed kunnen worden geplaatst en om snijeffecten aan de zode en bodem te beperken. In de proef is daarom een vergelijking gemaakt tussen drie behandelingen:

- Injecteur, eenmalige gift 30 m³ per ha vóór de eerste snede
- Zodenbemester, eenmalig 30 m³ per ha vóór de eerste snede
- Zodenbemester, gift 20 m³ per ha vóór de eerste snede en 10 m³ per ha vóór de tweede snede

Daarnaast zijn er behandelingen met kunstmest aangelegd als controleobjecten.

Tijdens de proef is er gemeten aan de bodembedekking met mest na bemesten, de vlakheid van het land na bemesten, het bodemvochtverloop, de indringingsweerstand van de bodem, de grasopbrengst en -kwaliteit gedurende vier sneden en het nitraatresidu op verschillende bodemdiepten. Uitgewerkte resultaten van het onderzoek volgen later.

Evaluatie en beoordeling

Omdat het onderzoek nog niet is afgerond hebben er nog geen evaluatie en beoordeling van de techniek en het onderzoek plaatsgevonden.

3.4 Behandeling

3.4.1 Beregenen

Het inregenen van mest met water gelijktijdig met de toediening kan een methode zijn om de ammoniakemissie te verlagen. Dit effect kan optreden doordat mest sneller in de bodem wordt opgenomen (verkleining van het contactoppervlak met de omringende lucht) en door verlaging van ammoniumconcentraties in de mest als gevolg van verdunning. Het water (en de verdunning) kan echter ook leiden tot een volumevergroting (en oppervlaktevergroting), waardoor de emissie juist kan toenemen. Het effect van instantaan beregenen op de ammoniakemissie is tot op heden onbekend. Vanuit 'Bemest op z'n Best' is een kennisvraag geformuleerd om hier nader onderzoek naar te doen bij instantaan (direct) beregenen tijdens zodenbemesting op grasland en hoe dit bijdraagt aan reductie van ammoniakemissie. In een reeks proeven is onderzocht welke beregeningsdoseringen een mogelijk effect hebben op de NH_3 -emissie bij zodenbemesting op grasland. Het onderzoek richtte zich op instantane beregening, het in één keer toedienen van de volledige watergift, gelijktijdig met de mesttoediening. Dit verschilt wezenlijk van natuurlijke neerslag of een beregening gedurende een langere periode na de toediening. Bij de keuze van de verschillende hoeveelheden (2, 4 en 6 mm) beregening is rekening gehouden met de praktische haalbaarheid. In de praktijk zal de dosering van water veelal beperkt worden door de hoeveelheid beschikbaar oppervlaktewater en de benodigde pompcapaciteit. Het emissiereducerende effect van de instantane beregening bleek klein tot niet aantoonbaar. Op basis van dit onderzoek kon geen eenduidige emissiereductie worden vastgesteld.

Evaluatie en beoordeling

Hoewel instantaan beregenen op de onderzochte wijze niet effectief blijkt te zijn, is het niet uitgesloten dat een vorm van beregenen die 'natuurlijke regen' beter benadert wel effectief is; het is immers bekend dat natuurlijke regen de emissie wel degelijk verlaagt.

3.4.2 Plasmolyse

Het wijzigen van de mestsamenstelling kan bijdragen aan de reductie van ammoniakemissie. Zo kan het verlagen van de zuurgraad van de mest bijdragen aan emissiebeperking. Binnen het proces van plasmolyse daalt de pH van de mest. Voorafgaand aan een behandeling wordt de mest gescheiden om verstoppingen binnen de behandelingsapparatuur te voorkomen; de dunne fractie wordt behandeld. Tijdens de behandeling wordt de dunne fractie verrijkt met stikstof.

Vanuit het bedrijfsleven (N2-Applied) is een idee geformuleerd om nader onderzoek te doen naar de ammoniakemissie bij toediening van dunne en dikke fractie na een plasmolysebehandeling.

Het onderzoek werd uitgevoerd in dynamische fluxkamers waarin toediening van de dunne fractie op grasland en van de dikke fractie, oppervlakkig toegediend op grasland en ingewerkt op bouwland, zijn onderzocht. De N2-Applied producten werden in twee doseringen toegepast en bij twee zuurgraden (pH 5 en 5,5). De producten gaven een reductie van de emissie. De verschillende doseringen en de verschillende zuurgraden bleken nauwelijks van invloed te zijn op de emissiereductie. De emissie van de vaste fractie (van de scheiding) werd ook meegenomen in het onderzoek. Voor een goede inschatting van het effect op de ammoniakemissie moet een integrale analyse gemaakt worden, waarbij de emissies van de behandelde mest (dunne fractie) én vaste mest meegenomen worden. Hiertoe is het belangrijk een balans op te stellen met de aandelen dunne én vaste mest na de toegepaste mestscheiding.

Nevenaspecten

Gunstige nevenaspecten zijn een verhoogde stikstofwerking en een mogelijke reductie van stank en geur. Aandachtspunten voor verdere ontwikkeling zijn het energiegebruik, de kostprijs en de emissie van lachgas, veroorzaakt door de aanwezigheid van nitraat in mest. Omdat bij deze techniek mestscheiding als voorbehandeling plaatsvindt, is ook de plaatsing van de organische stofrijke dikke fractie van mest van belang. Afvoer van de dikke fractie betekent een lagere aanvoer van organische stof naar de bodem. Dit brengt mogelijk indirecte effecten met zich mee, namelijk het gehalte aan organische stof in de bodem (m.u.v. veengronden), bodemleven en weidevogels.

Evaluatie en beoordeling

Geadviseerd wordt om een integrale analyse (balans) op te zetten in een vervolgonderzoek, waarbij tevens de mestsamenvestelling meervoudig wordt vastgesteld (voorafgaand en na behandeling) om zo meer zicht te hebben op veranderingen in de mestsamenvestelling gedurende het behandelingsproces. Als het proces invloed heeft op het ammoniumgehalte van de mest dan heeft dit direct invloed op de emissiefactor (% emissie).

3.5 Toevoegmiddelen

Toevoegmiddelen aan mest kunnen bijdragen aan reductie van ammoniakemissies doordat ze een chemische of fysische barrière vormen waardoorheen ammoniak moet diffunderen of doordat ze de chemische samenstelling van de mest beïnvloeden waardoor minder ammoniak gevormd wordt.

In 'Bemest op z'n Best' is het effect van verschillende toevoegmiddelen op de ammoniakemissie onderzocht bij verschillende doseringen en toedieningswijzen. Het ging om Zeoliet en Bioliet (Poortershaven), Polyhaliet (ICL), krijt (SilomixBV), $\text{MgCl}_2/\text{CaCl}_2$ (NedMag) en zwavelzuur. Zwavelzuur is onderzocht als kennisvraag op initiatief van 'Bemest op z'n Best' zelf.

Afhankelijk van het toegepaste middel gaat het bij de chemische barrière om de volgende mechanismen:

- **Adsorptie** van ammonium aan vaste deeltjes.
- **pH-verlaging** waardoor de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ verhouding in de mest laag blijft.
- **Vormen van neerslagen** met ammonium.
- **Verhoging van de ionsterkte** wat leidt tot een verlaging van de dampdruk van NH_3 .

Bij producten die een fysische barrière vormen, gaat het om de volgende mechanismen:

- **Zeoliet:** Dit kleimineraal adsorbeert ammonium uit de mest aan het negatief geladen oppervlak. Dit verlaagt de concentratie van opgelost ammonium.
- **Bioliet:** Dit mineraal dat fijn gemalen is tot deeltjes met een groot specifiek oppervlak kan ammoniak binden door fysisorptie.
- **Polyhaliet** (Polysulfaat, PolyS): Dit is een natuurlijke meststof met kalium, calcium, magnesium en zwavel dat ammoniak bindt/adsorbeert.
- **Krijtsuspensie:** Dit bevat poreuze calciumcarbonaatdeeltjes met een groot specifiek oppervlak. Hieraan kunnen ammoniakmoleculen adsorberen; mogelijk daalt ook de pH iets bij vermenging met mest.
- **Magnesiumchloride (MgCl_2) en calciumchloride (CaCl_2):** Door lokale pH-daling aan het oppervlak blijft de ammoniak/ammonium-verhouding laag. De verhoogde zoutsterkte verlaagt bovendien de ion-activiteit van ammonium. Bij MgCl_2 kan mogelijk ook enige **struvietvorming** optreden, waarbij ammonium wordt vastgelegd.

Het onderzoek was gericht op effecten van de middelen bij volledig mengen met mest en/of op de effecten van toepassing als bedekking van de mestsleuf. De producten/middelen zeoliet en bioliet zijn enkel in een labopstelling getoetst als een eerste screening van effecten op ammoniakemissie. De producten/middelen polyhaliet, magnesiumchloride, calciumchloride en zwavelzuur zijn vervolgens ook in veldexperimenten getest. Bij menging met mest zijn de verandering van chemische samenstelling en de ammoniakemissie onderzocht. Bij toepassing als afdekmiddel zijn alleen metingen aan de ammoniakemissie gedaan. Visueel is vastgesteld of de bedekking goed verliep en of er (verstoppings)problemen optraden (zie paragraaf 3.3 Technieken voor bedekken bemestersleuf met een toevoegmiddel).

Het onderzoek gaf voor alle middelen onvoldoende uitsluitsel over het effect op de ammoniakemissie.

- **Zeoliet en Bioliet:** Het onderzoek lijkt aan te geven dat het mengen van dunne mest met (klei)mineralen weinig perspectief biedt voor het verminderen van ammoniakemissies. Hoge doseringen resulteren mogelijk in een substantieel effect. Dit zal echter leiden tot een hoge kostprijs en onduidelijk is of de mest dan nog goed mixbaar is.
- **Polyhaliet:** Het afdekken van de meststrook met polyhaliet had in het labonderzoek een significant verlagend effect op de ammoniakemissie waarbij afdekken effectiever leek dan door de mest mengen, maar dit werd niet bevestigd in vervolgonderzoek in het veld.
- **Krijtsuspensie:** Het onderzoek liet geen tot lage emissiereducties zien. Verschillende onderzoeken gaven geen consistent beeld in tegenstelling tot eerder onderzoek met hogere giften.
- **MgCl_2 en CaCl_2 :** De resultaten gaven een variabel beeld: van emissiereductie tot emissietoename. Het beperkte onderzoek naar besproeien van de mestsleuf met een oplossing van CaCl_2 leek meer potentie voor emissiereductie te hebben dan MgCl_2 .
- **Zwavelzuur:** De effecten van mengen van mest met zwavelzuur en afdekken van mest met aangezuurde mest werd in twee parallele proeven volgens verschillende meetmethoden onderzocht, te weten: gesloten fluxkamers en dynamische fluxkamers. Metingen in de gesloten fluxkamers duiden op emissiereductie door het aanzuren van mest bij

zodenbemesting en bij sleepvoetentoepassing, waarbij de reductie groter was bij zodenbemesting ten opzichte van bemesting met de sleepvoet. De emissiereductie nam toe naarmate meer zwavelzuur per m³ mest werden gebruikt. Verder bleek dat alleen de bovenlaag aanzuren (zuur gemengd door de mest) een effectieve manier was om de hoeveelheid benodigd zuur te beperken. Het sproeien van zwavelzuur over de bemestersleuf gaf alleen na één dag vergelijkbare emissiereducties ten opzichte van door de mest mengen van zuur of toepassen van aangezuurde mest als afdekmiddel bovenop onbewerkte mest die onderling de bemestersleuf is gebracht.

In het onderzoek met dynamische fluxkamers gaf het aanzuren van rundveedrijfmest met 4 liter zwavelzuur (98%) per m³ rundveedrijfmest een significant verschil en een lagere emissie dan alle andere objecten. Tussen de verschillende lagere hoeveelheden zwavelzuur, het besproeien met verschillende concentraties zwavelzuur en de wijze van vullen van de sleuf was veelal geen significant verschil. De behandelingen met een lagere hoeveelheid zuur leidden in dit onderzoek tot een emissiereductie ten opzichte van niet-aanzuren, maar de verschillen zijn kleiner dan het aanzuren met 4 liter zwavelzuur 98% per m³ rundveedrijfmest. De emissies zijn geanalyseerd op de cumulatieve gemeten eindemissies (na 10 dagen). Uit de metingen volgt dat de emissiereductie veelal afneemt na het moment van toedienen en stabiel wordt op 72-144 uur na de mesttoediening.

Nevenaspecten

Bij analyse van nevenaspecten en evaluatie van praktische uitvoerbaarheid is gekeken naar de varianten waarbij de middelen als afdekmiddel van mest zijn toegepast. Nevenaspecten waarvoor mogelijk aandacht nodig is bij doorontwikkeling zijn de kostprijs van de middelen en het energieverbruik dat nodig is voor het winnen en transporteren van de middelen en mogelijke schade aan de zode als deze besmeurd wordt door het afdekmiddel. Afhankelijk van de hoeveelheid die gebruikt wordt, kunnen ook ophoping van stoffen in de bodem en eventuele indirecte effecten daarvan op het bodemleven aandacht vragen. Bij toepassing van zwavelzuur kan voor grasland een hogere aanvoer van zwavel plaatsvinden dan de gewasbehoefte met mogelijke risico's voor milieu en voer kwaliteit (met name voor jongvee).

Evaluatie en beoordeling

Het onderzoek geeft voor de middelen onvoldoende uitsluitsel over het effect op de ammoniakemissie. Een belangrijke discussie bij het aanzuren is dat de pH-daling van de mest bepalender is dan de toegediende hoeveelheid zuur, dat de benodigde hoeveelheid zuur voor een bepaalde pH daling sterk afhankelijk kan zijn van de mestsamenstelling en dat de emissiereductie veelal afneemt gedurende de dagen na het moment van bemesting.

4 Resultaten Demo & Praktijk

In de periode 2022 tot 2025 zijn diverse activiteiten georganiseerd ter versterking van bewustwording, draagvlak en gedragsverandering in de praktijk. De centrale thema's waren de reductie van ammoniakemissie met nieuwe technieken en door zorgvuldig werken met bestaande technieken. Het belang van een hoge stikstofbenutting voor milieu en de kwaliteit van voer en bodem. In totaal zijn hiermee meer dan 10.000 personen bereikt, afkomstig uit de agrarische praktijk, advisering, het onderwijs, onderzoek en overheden.

Activiteiten en bereik

De activiteiten zijn onder te verdelen in vier categorieën (zie ook Tabel 1):

1) Demonstraties in de praktijk:

Op meerdere grondsoorten en verspreid over het land zijn 16 veld demonstraties georganiseerd op gras- en bouwland, vaak in samenwerking met (lokale) partners en partijen. Hier werd zichtbaar gemaakt wat het verschil is tussen optimale en suboptimale toepassing van bestaande en innovatieve technieken. Ook is aandacht besteed aan het belang van een goede afstelling en onderhoud van de bemestingsmachine.

2) Beurzen en evenementen:

Op 13 beurzen en symposia is 'Bemest op z'n Best' gepresenteerd via stands, workshops en gesprekken. Deelnemers konden hier kennismaken met de doelstellingen en inzichten van het programma. Er is daarbij samengewerkt met diverse brancheorganisaties.

3) Inleidingen en lezingen:

Op 24 bijeenkomsten zijn presentaties verzorgd voor diverse groepen. Deze richtten zich op het inzichtelijk maken van het belang van ammoniakreductie, de onderliggende principes en de landbouwkundige voordelen van emissiearme bemesting. Praktijkvoorbeelden en beeldmateriaal van machines en technieken maakten deze sessies toegankelijk en concreet.

4) Kennissessies:

In 42 verdiepende bijeenkomsten is praktijkgerichte kennis gedeeld over onder meer keuze van de te gebruiken techniek, wetgeving, financiële voordelen en praktische uitvoering van bemesting. Deze sessies waren sterk interactief van opzet, en gericht op melkveehouders, loonwerkers en studenten. Ook actuele beleidsontwikkelingen zoals de afbouw van derogatie en de stikstofkorting in NV-gebieden kwamen aan bod. Verbeteren van de stikstofbenutting was hierbij de 'rode draad'. Onderwerpen die aan de orde kwamen, zijn het planmatig inzetten van dierlijke mest op bedrijfsniveau: mest analyseren, verdeling over de gewassen en het groeiseizoen, inzet van de juiste techniek op de juiste wijze en aanvulling met de juiste kunstmest in de juiste hoeveelheid.

Tabel 1 *Overzicht activiteiten 'Bemest op z'n Best' (2022–2025).*

Activiteit	Aantal bijeenkomsten	Bereikte personen	Voornaamste doelgroepen
Praktijkdemonstraties	16	ca. 4.700	Veehouders, akkerbouwers, loonwerkers, publiek algemeen
Beurzen en evenementen	13	ca. 2.500	Brede agrarische doelgroep en sectorpartijen
Inleidingen en lezingen	24	ca. 900	Agrariërs, loonwerkers, adviseurs, studenten, overheid
Kennissessies	42	ca. 900	Melkveehouders, loonwerkers, agrarisch onderwijs
Totaal	95	>10.000	

Bijlage G1 geeft een overzicht van de onderwerpen die behandeld zijn in demo's en kennisbijeenkomsten en van bevindingen die uit de bijeenkomsten zijn voortgekomen. De belangrijkste bevindingen zijn:

-
- 1) Niet-optimale uitvoering van bestaande technieken:
Veel veehouders en loonwerkers passen emissiearme mesttechnieken, zoals zoden- en sleufkouterbemesting, niet optimaal toe. Hierdoor is het verwachte effect op ammoniakreductie beperkt. Er is onvoldoende bewustzijn over de impact van een gebrekkige uitvoering op stikstofverlies, kuil kwaliteit en grasopname. Ook op akkerbouwpercelen gebeurt mesttoediening regelmatig onvoldoende-emissiearm. Het inwerken en afdekken van drijfmest is vaak onvoldoende, wat leidt tot extra ammoniakemissie.
 - 2) Gebrek aan praktische en meetbare hulpmiddelen:
Boeren missen praktische methoden en vergelijkingsmateriaal om het effect van juist de praktische uitvoering van mesttoediening op stikstofbenutting te meten.
 - 3) Betere toepassing van bestaande technieken biedt direct winst:
Er is veel winst te behalen met de bestaande emissiearme technieken, mits deze correct worden toegepast. Bewustwording, scholing en technische ondersteuning (paragraaf 3.2.1 Monitoring "nauwkeurigheid mestplaatsing") zijn daarbij cruciaal.
 - 4) Optimalisatie verdient zichzelf terug:
De economische voordelen van een nette, emissiearme mesttoediening zijn overtuigend genoeg om een iets hoger loonwerkstarief te verantwoorden. Dit vraagt wel om transparante communicatie en onderbouwing richting de klant.
 - 5) Praktijkgerichte voorlichting werkt effectief:
Het benaderen van boeren, loonwerkers en studenten via praktijkdemo's, kennissessies en toegankelijke hulpmiddelen blijkt een succesvolle methode om gedragsverandering en draagvlak te realiseren.
 - 6) Een integrale ketenaanpak is bevorderend:
Maximale emissiereductie kan pas bereikt worden als deze plaatsvindt binnen de gehele mestketen: van voeding en stal tot opslag, verwerking en toediening. Techniek alleen is niet genoeg; de inzet, kennis en motivatie van mensen is doorslaggevend.

5 Overige resultaten

5.1 VIP studie

Binnen 'Bemest op z'n Best' heeft een werkgroep zich gericht op welke factoren uit de sociale, economische en fysieke omgeving van invloed zijn op het gewenste doelgedrag van boeren, loonwerkers en machinebouwers om verder te komen met emissiearme bemesting. Het doel was om inzicht te krijgen in het gedrag en op basis daarvan praktische en strategische aanbevelingen te doen, gericht op ontwikkeling en zorgvuldige toepassing van beschikbare bemestingstechnieken. Dit heeft geleid tot praktische en strategische aanbevelingen voor boeren, loonwerkers en machine ontwikkelaars (Bijlage H). Een uitgebreide rapportage is opgenomen in Bijlage A.

5.2 Meetprotocol

Bij de start van het onderzoeksprogramma is uitvoerig gediscussieerd over de te volgen meetprocedure bij de ammoniakemissie metingen. Het programma en de opdrachtgever richten zich op de potentiële emissiereductie van een idee of kennisvraag en dus niet op het bepalen van een absolute emissie. Er is een meetprotocol opgesteld voor het vaststellen van de ammoniakreductie van een innovatie ten opzichte van een standaard (Bijlage E). Ammoniakemissie is zeer variabel, dus herhalingen van metingen onder verschillende omstandigheden zijn noodzakelijk. Veldmetingen geven een representatieve momentopname van een emissie(reductie) echter zijn beperkt in het aantal objecten en herhalingen dat gelijktijdig bemeten kan worden. Semi lab/veldexperimenten geven wel de mogelijkheid tot het opnemen van gelijktijdig onder dezelfde omstandigheden meer herhalingen en meerdere objecten, echter ze geven niet een absolute emissie. Beide meetopzetten voor emissiereductiemetingen zijn opgenomen in het meetprotocol.

5.3 Effect op nationale emissie (scenario's)

Verschillende scenario's zijn doorgerekend om een beeld te krijgen van wat een emissiereductie bij mesttoediening betekent voor de nationale emissie. In Bijlage I worden deze scenario's met hun resultaten besproken. Bij halvering van de emissie bij mesttoediening op grasland (behalve voor bovengronds verspreiden) wordt de nationale emissie bij mesttoediening met 26% gereduceerd. Indien bovengronds verspreiden niet meer wordt toegelaten dan wordt deze reductie 30%. Indien ook de emissie bij mesttoediening op onbeteeld bouwland wordt gehalveerd dan wordt deze reductie 34%.

5.4 Notitie aanzuren

Het 'klassieke' aanzuren van mest waarbij zwavelzuur volledig door de mest wordt gemengd, kent randvoorwaarden, met daaraan verbonden borgingsaspecten, rondom een minimale en maximale hoeveelheid te gebruiken zuur.

- Ten eerste is er voldoende toevoeging van zuur nodig voor het borgen van een voldoende grote pH verlaging om een sterke ammoniakemissiereductie te bewerkstelligen. De benodigde hoeveelheid zuur voor het bereiken van een voldoende lage pH (5,0 – 5,5) is sterk afhankelijk van de mestsamenstelling, en is in sommige gevallen zelfs zeer hoog (> 6 liter zwavelzuur per m³ mest).
- Ten tweede, wanneer zwavelzuur voor alle toe te dienen mest in een groeiseizoen wordt toegepast, leidt dit tot een overdosering van zwavel waardoor dit af te raden is. Dit is gebaseerd op 1) het CDM-advies (2014) omtrent zwavelbemesting en 2) de waterkwaliteitsdoelstellingen. Daar komt bij dat 1) extra

zwavelaanvoer op veengronden en sommige kleigronden sowieso ongewenst is vanwege o.a. al aanwezige relatief hogere zwavelgehalten in de bodem, en 2) het feit dat een hoge zwavelgift de spoorelementbenutting van rundvee uit gras kan onderdrukken.

Aanzuren kent belangrijke veiligheidsaspecten voor de gebruikers en omgeving en waarvoor uitgebreide veiligheidsmaatregelen en regelgeving is opgesteld. Mogelijke 'alternatieve' aanpakken, waarbij slechts een gedeelte van de mest wordt aangezuurd, bijvoorbeeld door enkel het aanzuren van het gedeelte van de mest welke het meest in contact komt met de atmosfeer na mest uitrijden, zijn in een later stadium onderzocht (zie paragraaf 3.8), maar kunnen in potentie tot veel kleinere hoeveelheden (zwavel)zuur gebruik leiden dan 'klassiek' aanzuren. Daarmee is de aanvoer van zwavel naar percelen sterk te beperken. Ook het gebruik van niet zwavel bevattende zuren zoals organische zuren zou verder kunnen worden verkend.

5.5 De RUIMTE

In het programma ontstond het inzicht dat een ruimte die specifiek is ingericht voor het stimuleren van creatieve en onverwachte oplossingen een toegevoegde waarde zou kunnen hebben. Daarom is het initiatief genomen om te experimenteren met dit proces door het organiseren van 'De RUIMTE'. Met een klein team van betrokken (praktijk)deskundigen en een ontwerper zijn op een specifieke, bewust gekozen plaats drie sessies gehouden die gericht waren op het oplossen van een van tevoren opgestelde ontwerp vraag (Bijlage K). De RUIMTE heeft zich gericht op de vraag: "Hoe kunnen boeren en loonwerkers elkaar stimuleren om netjes te werken bij het toedienen van mest?". Hieruit zijn twee ideeën naar voren gekomen:

- (On)uitgesproken: Een 'gespreksgeleide' (checklist) die ondernemers en loonwerkers ondersteunt bij het maken van afspraken over (de uitvoering van) de bemesting en bij het aangeven van aandachtspunten en wensen. Dit idee is uitgewerkt in de werkgroep Demo & Praktijk.
- De flight simulator: Een training of wedstrijd op praktische opleidingen waarin studenten worden uitgedaagd om het beste bemestingsresultaat te bereiken in (moeilijke) praktijksituaties.

5.6 Mestinjectie

Van mestinjectie is bekend dat de emissie van ammoniak minimaal is, echter dat er ook nevenaspecten aan verbonden zijn. Het is een techniek die in één keer de beschikbare mesthoeveelheid op grasland kan toedienen voor de 1^e snede.

Vanuit 'Bemest op z'n Best' is een kennisvraag geformuleerd om de verschillende aspecten van mestinjectie uit het verleden op een rij te zetten (Bijlage L).

In een verkennende studie zijn de verschillende aspecten van de toepassing van mestinjectie op grasland in Nederland op een rij gezet. Dit betroffen met name studies rond de jaren '80 van de vorige eeuw.

In de jaren '80 is een mestinjecteur ontwikkeld specifiek voor toepassing op grasland. Met deze mestinjecteur is destijds uitgebreid bemestingsonderzoek uitgevoerd en gedemonstreerd in de praktijk. Eind jaren '80 zijn alle onderzoeken en ervaringen met mestinjectie op grasland geëvalueerd. Een belangrijke bevinding was dat van het Nederlandse graslandareaal naar verwachting ca. een derde deel goed tot redelijk geschikt is voor het toepassen van de toenmalige techniek van mestinjectie (deze schatting varieert van 17 tot 40%, al naar gelang een krappere of ruimere interpretatie van de ontwateringstoestand per bodemkundige kaarteenheden).

Gunstige nevenaspecten zijn een hogere stikstofwerking en minder stank en geur bij toediening. Licht gunstige nevenaspecten zijn afspoeling van stikstof en fosfor. Licht ongunstige nevenaspecten zijn meer lachgas en hogere kostprijs, en mogelijk organische stof. Ongunstige nevenaspecten zijn mogelijk schade aan zode, bodemleven, weidevogels, nitraatuitspoeling en een hoger energieverbruik. Afhankelijk van de doorontwikkeling en omstandigheden waarbij injectie wordt toegepast, is de verwachting dat injectie gepaard kan gaan met zowel minder als meer bodemverdichting.

5.7 Sleufafstand

In een deskstudie is gekeken naar sleufafstand en sleufbreedte in relatie tot het emitterend oppervlak van de mest (Bijlage M). Theoretisch kan het vergroten van sleufafstanden, het emitterend oppervlak laten dalen mits de sleufbreedte niet verandert. Ook vermindert, bij een theoretische benadering, een verkleining van een halve cm sleufbreedte het contactoppervlak tussen mest en atmosfeer met ongeveer een vijfde bij een sleufafstand van 18 cm. Vanuit literatuur is een experiment bekend met twee verschillende sleufafstanden. In dit experiment werd een eventueel lagere ammoniakemissie bij een grotere sleufafstand niet aangetoond. Bij een grotere sleufafstand spelen ook de vorm van de sleuf, de mestgift (vulling) en de sleufdiepte een rol bij de ammoniakemissie en opname van nutriënten door het gras.

Er zijn aanwijzingen uit andere literatuur dat een elementafstand van 25 cm of wat meer, in grasland toegepast zou kunnen worden. Echter uit deze literatuur is niet goed af te leiden wat op korte en lange termijn de effecten hiervan zijn op de ammoniakemissie, de mestbenutting, de grasgroei en -kwaliteit. Een andere sleufafstand (of vorm) kan aanleiding zijn tot een verandering van de grasgroei, maar ook een verandering van benodigde trekkracht en eventuele zodebeschadiging.

6 Conclusies

6.1 Verbeteren huidige praktijk

Met zorgvuldige toepassing van bestaande NH₃-emissiearme technieken, zoals zoden- en sleufkouterbemesting en het afdekken van drijfmest, is nog aanzienlijke winst te behalen. Bewustwording en ondersteuning via bijvoorbeeld monitoringssystemen zijn daarbij essentieel.

Ondernemers hebben vaak te weinig inzicht in de gevolgen van onzorgvuldige bemesting voor ammoniakemissie en andere vormen van stikstofverlies, kuil kwaliteit en grasopname, mede door het ontbreken van praktisch referentiemateriaal dat inzicht geeft in deze gevolgen. Terwijl het zorgvuldig toedienen van mest economische voordelen op kan leveren. Het onderzoek heeft handreikingen gedaan waarmee ondernemers zelf kunnen toezien op een net werkresultaat. Met veldonderzoek is het nut van zorgvuldige mesttoediening aangetoond.

6.2 Innovaties in mesttoediening

- Monitoring van nauwkeurige mesttoediening kan bijdragen aan een zorgvuldiger uitvoering van zodenbemesting en daarmee aan lagere NH₃-emissies; praktijktesten zijn de volgende stap.
- Injectie van mest in de bodem op grasland resulteert in minimale ammoniakemissie en in minder geur dan zodenbemesting, maar varianten die zodeschade beperken vragen nog verdere ontwikkeling.
- Het afdekken van mest in de zodenbemestersleuf met grond kan de emissie op bouwland vrijwel volledig reduceren; afdekking met grasresten op grasland levert echter weinig perspectief op NH₃-emissiereductie.
- Een techniek om mest te kunnen bedekken met vloeistoffen of suspensies toont potentieel om NH₃-emissie op grasland te verlagen, maar vraagt doorontwikkeling om verstopping en grasbesmeuring te voorkomen.
- Er zijn nog teveel onzekerheden over de effectiviteit van de verschillende middelen die kunnen worden ingezet om de mest te bedekken.
- Of de potentiële NH₃-emissiebeperking van schuin insnijden -door een kleiner contactoppervlak van mest en lucht- gerealiseerd wordt, is nog niet goed vast te stellen doordat de techniek onvoldoende doorontwikkeld is.
- Gelijktijdige, kortdurende beregening bij mesttoediening reduceert de NH₃-emissie nauwelijks; langduriger beregenen zou effectiever kunnen zijn.
- Plasmolyse vermindert NH₃-emissie uit de dunne mestfractie, maar vereist mestscheiding. De hoge NH₃-emissie van de dikke fractie, het hoge energieverbruik en mogelijke lachgasemissie beperken het netto-milieueffect en vragen aandacht bij verdere ontwikkeling.
- NH₃-emissiereductie door aanzuren van mest met zwavelzuur heeft het risico dat een overmaat zwavel in de bodem terechtkomt bij toepassing op alle mest van een bedrijf. Bij gebruik van andere zuren moet rekening gehouden worden met kosten en veiligheidsrisico's. Ook moet rekening gehouden met een vermindering van de emissiereductie door nalevering van ammoniak in de dagen na toediening.

6.3 Onderzoekopzet en onzekerheden

Een referentietechniek is voor onderzoek van de ammoniakemissie onmisbaar om binnen afzienbare tijd uitspraken te kunnen doen over het NH₃-emissiereducerend effect van innovatieve technieken.

Het blijft belangrijk om in het innovatiegericht onderzoek de discussie voort te zetten over hoe omgegaan moet worden met onzekerheden die inherent zijn aan NH₃-emissiemetingen.

Bij het indienen van innovatieve ideeën wordt aan de aanbieders gevraagd het onderliggende, NH₃-emissie reducerend werkingsmechanisme aan te geven. Voor een goede beoordeling en onderzoekopzet is het cruciaal dat de veronderstelde werkingsmechanismen van innovaties zo duidelijk mogelijk geëxpliciteerd worden.

6.4 Voorwaarden voor brede toepassing

Voor machinebouwers is een helder marktperspectief bepalend bij investeringsbeslissingen en daarmee voor het beschikbaar komen van innovaties. Een consistente koers van de overheid, gericht op brede implementatie, biedt hiervoor zekerheid. Succesvolle, brede toepassing van innovatieve mesttechnieken vraagt om gezamenlijke inzet van agrarisch ondernemers, loonwerkers en machinebouwers. De overheid kan dit proces ondersteunen via stimulering, regelgeving, certificering en toezicht.

6.5 Effect van halvering van toedieningsemissies

Scenarioberekeningen geven aan dat halvering van de NH_3 -emissie bij mesttoediening op grasland de nationale NH_3 -emissie bij mesttoediening met 26% kan verminderen. Bij het volledig verbieden van bovengrondse verspreiding loopt deze reductie op tot 30%, en wanneer ook de NH_3 -emissie bij bemesting van onbeteeld bouwland wordt gehalveerd tot 34%.

7 Discussie; lessen en kansen uit 'Bemest op z'n Best'

7.1 De innovaties

Doelbereik

Het programma 'Bemest op z'n Best' onderzocht praktijkinnovaties die ammoniakemissie bij mesttoediening kunnen verminderen, met een focus op drijfmestbemesting op grasland. Doel was het halveren van de NH₃-emissie bij mesttoediening ten opzichte van in gebruik zijnde emissiebeperkende technieken. Daarom zijn voorstellen geselecteerd waarvan ingeschat is dat ze dit potentieel zouden kunnen hebben. Het onderzoek bepaalde de potentiële reductie van de ammoniakemissie bij innovaties ten opzichte van bemesten via de zodenbemester of de sleepvoet waarbij 2:1 water verdunde mest is gebruikt. Deze aanpak leidde tot vooruitgang in technische innovaties met perspectief op lagere ammoniakemissie en meer inzicht in de emissiemechanismen. De onderzoeksresultaten geven potentie aan en een aantal innovaties verdient verdere uitwerking waarbij het gaat om geschikt maken voor praktische toepassing (hoger TRL).

Praktische toepasbaarheid

De onderzochte technieken vergen over het algemeen nog verdere technische doorontwikkeling en robuustheidsverbetering voordat ze breed toepasbaar zijn. Ook zal in de praktijk voor nieuwe technieken verder verkend moeten worden waar bij de uitvoering rekening mee gehouden moet worden om goede resultaten te boeken (goede implementatie). Bovendien is het voor enkele technieken belangrijk om scherper in beeld te brengen onder welke omstandigheden ze wel of niet geschikt zijn. Dit kan in praktijkpilots onderzocht worden.

Kansen voor verdere techniekontwikkeling

Enkele positief beoordeelde innovaties zijn niet onderzocht omdat indieners zich terugtrokken, vaak vanwege zorgen over intellectueel eigendom, vertrouwelijkheid, een onduidelijk marktperspectief, onzekerheid over het terugverdienen van ontwikkelkosten of over toekomstige regelgeving. Daarnaast werden nog nieuwe ideeën aangedragen toen 'Bemest op z'n Best' al in de afrondende fase zat; de kansrijkheid daarvan, kon niet meer worden onderzocht. Dit laat zien dat techniekontwikkeling doorgaat, ook na afronding van de huidige onderzoeksfase van 'Bemest op z'n Best'. Voortzetting van de onderzoek infrastructuur is essentieel om deze nieuwe innovatiekansen te benutten. Daarbij is het belangrijk aan te sluiten bij de investeringsmotieven van machinebouwers en loonwerkers, die voor een groot deel worden gedreven door marktpotentieel en duidelijkheid en stabiliteit van beleid. Het stimuleren van aanschaffing en toepassing van betere machines door actieve inzet van overheid en sector zijn daarbij cruciaal (zie ook Paragraaf 3).

7.2 Reflectie op het onderzoek

Fasen in innovatiegericht onderzoek: van idee tot toetsing

Innovatiegericht onderzoek verloopt in meerdere stappen. Na een brede inventarisatie worden kansrijke ideeën geselecteerd op basis van potentie en uitwerkingsniveau. Vaak is er dan nog geen prototype beschikbaar voor toetsing en is nadere formulering van het technisch concept nodig (Technical Readiness level, TRL < 4). In sommige gevallen werken onderzoekers en machinebouwers in deze fase samen en ondersteunen met eenvoudige, snel uitvoerbare tests de doorontwikkeling. Daarna volgt de wetenschappelijke toetsing onder gecontroleerde omstandigheden (TRL 5). Uiteindelijk moet deze gevolgd worden door praktijkonderzoek in praktijkomstandigheden (TRL 7). Samenwerking tussen onderzoekers en idee-aanbieders in de verkennende fase is bijzonder waardevol en vraagt om flexibiliteit, technische creativiteit en korte terugkoppellingslijnen. Toetsing stelt weer andere eisen aan het onderzoek.

Werkingsmechanismes van innovaties

Bij een aantal ingediende ideeën was het onderliggende werkingsmechanisme onvoldoende onderbouwd in de beschikbare documentatie. Hoewel 'Bemest op z'n Best' niet primair is opgezet om deze mechanismen te

onderzoeken, is het wel van belang om hier in een vroeg stadium van het innovatieonderzoek aandacht aan te besteden. Inzicht in de werkingsmechanismen maakt het mogelijk om een passend proefontwerp te kiezen, resultaten beter te interpreteren en een realistische inschatting te maken van het reductiepotentieel in de praktijk.

Meetprotocol

In 'Bemest op z'n Best' is een meetprotocol opgesteld om emissiereducties vast te stellen. Het verdient aanbeveling om dit protocol bij een vervolgproject te evalueren en uit te breiden met een leidraad voor het kwantificeren van onzekerheden in emissiemetingen en in emissiereductie metingen.

Meetmethode en meetstrategie

Tijdens het onderzoek zijn gesloten fluxkamers en dynamische fluxkamers toegepast. Meten in een fluxkamer heeft altijd invloed op het emissieproces, gesloten fluxkamers worden afgeraden. Dynamische fluxkamers geven een betere simulatie van de emissies in de praktijk en kunnen gebruikt worden om het reductiepotentieel in te schatten. Bovendien zijn veldmetingen gedaan. Tot nog toe worden de emissiefactoren afgeleid uit veldmetingen die gebaseerd zijn op de IHF (Integrated Horizontal Flux) methode. In 'Bemest op z'n Best' is uiteindelijk alleen de bLS (backward Lagrangian Stochastic) methode een aantal keer toegepast. Deze methode dient nog onder Nederlandse omstandigheden verder te worden gevalideerd met behulp van vergelijkingsexperimenten met de verschillende methodes (inclusief de IHF methode als referentie). Hierbij vraagt de frequentie waarmee de concentratiemetingen worden uitgevoerd bijzondere aandacht. Voor zowel veldmetingen als voor flux kamers dient rekening gehouden te worden met voorwaarden waaraan voldaan moet worden om een reductiepotentieel te kunnen schatten.

Voor het vaststellen van de NH₃-emissiereducties heeft 'Bemest op z'n Best' de emissies van innovaties vergeleken met emissies van een reguliere emissiearme toediening (veelal zodenbemesting) die gelijktijdig zijn bepaald als referentie. Er zijn echter technische ontwikkelingen, zoals nieuwe mestproducten en innovaties in mestbehandeling, die mogelijk lastig integraal met deze aanpak onderzocht kunnen worden. Daarom kan het nuttig zijn om te bezien of NH₃-emissies bepaald kunnen worden in praktijkssystemen via een combinatie van nieuwe meetmethoden en fysisch-chemische modellering, zodat innovaties meer integraal in praktijkomstandigheden kunnen worden onderzocht.

7.3 Emissiearme mesttoediening en de huidige praktijk; knelpunten en oplossingen

De praktijkdemo's binnen 'Bemest op z'n Best' bevestigen dat succesvolle (zorgvuldige) bemesting - om ammoniakemissies bij bemesting te verminderen - berust op drie factoren: de vaardigheid en aandacht van de chauffeur, het gebruik van een geschikte machine, en de juiste timing (weers- en veldomstandigheden). Als deze elementen op orde zijn, is een goed werkresultaat haalbaar. Bewustzijn is hierbij een belangrijke factor. Tegelijkertijd is duidelijk dat op elk van deze punten nog verbetering mogelijk is.

Kennis en vaardigheid

Kwaliteit in de uitvoering vraagt scholing en erkenning van de waarde van goede zorgvuldige bemesting. Die waarde is tastbaar: goede bemesting verdient zichzelf terug door een goed gewas, goede kwaliteit voer en een goede bodemkwaliteit; het is dan ook kostenefficiënt om voor goede bemesting te betalen.

De juiste machine

Uit de demo's blijkt dat bemesting regelmatig wordt uitgevoerd met machines die minder of niet geschikt zijn voor de specifieke omstandigheden. Praktijkdeskundigen herkennen dit probleem, maar er ontbreekt een structureel kader om deze kennis te delen. Vermoedelijk ontbreekt het aan directe belangen om elkaar hierover te informeren. Vanuit het belang van ammoniakreductie is het echter wenselijk dat deze kennis actief wordt uitgewisseld en benut.

Oplossen van moeilijke omstandigheden

Goede bemesting is niet altijd uitvoerbaar, bijvoorbeeld op droge graspercelen waar het lastig is om mestsleuven te maken. Veel machines bieden onvoldoende bodemdruk, waardoor bemesting onder deze

omstandigheden soms beter achterwege kan blijven. Een alternatief is om de volledige bemesting in 2 keer, in het voorjaar voorafgaand aan de eerste en de tweede grassnede toe te dienen, wanneer de bodem veelal nog vochtig is. Dit vraagt om zorgvuldige toepassing. Daarbij is het belangrijk om niet te bemesten op onvoldoende draagkrachtige grond, en om schade aan de graszode te voorkomen - een aandachtspunt voor verdere ontwikkelingen.

Voorjaarsbemesting in akkerbouwpercelen op kleigrond, op zodanige wijze dat mest in de grond wordt gebracht (mestinjectie), is lastig omdat het insnijden in kleigrond structuurbederf kan veroorzaken. Daarom wordt mest ook op bouwland vaak toegediend met een zodenbemester. Dit verhoogt de ammoniakemissie op bouwland aanzienlijk ten opzichte van onderwerken van mest middels mestinjectie, dat juist een lage emissie heeft. Om deze verhoging van de emissie tegen te gaan, moet het contactoppervlak van de mest met lucht minimaal zijn. Onderzoek in 'Bemest op z'n Best' toont aan dat het afdekken van mestsleuven met grond effectief is. Dit vraagt een aanpassing van bestaande machines die ook al in de praktijk wordt toegepast. Bij veel reliëf in het te bemesten (stoppel)land is voorbewerking van de grond aan te raden (Huijsmans *et al.*, 2014). Dit aandachtspunt wordt mogelijk relevanter omdat mestplaatsing in de akkerbouw kan toenemen door een hoger afvoer vanuit veebedrijven.

Bemesten bij gunstig emissiebeperkend weer biedt beperkte praktijkkansen

Hoewel weer- en bodemgesteldheid invloed hebben op ammoniakemissie, biedt het afstemmen van bemesting op gunstige weersomstandigheden weinig perspectief op structurele verlaging van de emissie. Voorspellingen zijn onzeker en planning is lastig. Effectievere emissiereductie ligt in het toepassen van technieken die onder alle omstandigheden goed werken. Door zorgvuldige uitvoering en strategische timing kan structureel resultaat worden geboekt.

'Bemest op z'n Best' richt zich op innovaties uit de praktijk. Deze benadering garandeert niet dat alle praktijkproblemen worden aangepakt. Voor een vervolg op technische innovatie kan het daarom zinvol zijn om ook uit te gaan van een knelpuntenanalyse, waarbij gerichte oplossingen worden ontwikkeld voor concrete praktijkproblemen.

7.4 Implementatie vraagt samenwerking

Brede toepassing van innovatieve bemestingstechnieken vraagt om samenwerking tussen agrarisch ondernemers, loonwerkers, machinebouwers en overheid (ze zijn onderling afhankelijk). Ondernemers moeten het voordeel zien van betere bemestingstechnieken en loonwerkers de ruimte geven om innovaties toe te passen. Loonwerkers kunnen nieuwe machines onder de aandacht brengen van de boer en moeten kunnen vertrouwen op de werking en toepasbaarheid van de techniek. Machinebouwers staan op hun beurt voor de keuze te investeren in techniek- en marktontwikkeling. Beweging in dit krachtenveld vraagt gezamenlijke inzet. Het is voor alle partijen van belang dat de gerealiseerde reductie zichtbaar wordt.

De overheid kan dit proces ondersteunen via stimulering, regelgeving, certificering en toezicht. In 'Bemest op z'n Best' bleek dat onduidelijkheid (onzekerheid) over het beleid, de bereidheid te investeren in de weg kan staan. Een gezamenlijke aanpak, met duidelijke afspraken vormt de basis voor succesvolle implementatie. Pilots waarin technieken in bedrijfsverband worden getest zijn daarbij onmisbaar. Daarnaast blijft het belangrijk om innovaties te demonstreren en te bespreken in kennissessies, zodat draagvlak en praktijkervaring groeien.

7.5 Vervolgstappen

Op basis van de resultaten van 'Bemest op z'n Best' zijn de volgende vervolgstappen te overwegen:

- *Ketenafspraken stimuleren:* Bevorder samenwerking tussen agrarisch ondernemers, loonwerkers en machinebouwers om innovaties breder toe te passen en zorgvuldig werken te belonen. Denk aan afspraken over toepassing, ondersteuning en investeringen. Ook de overheid heeft hierin een rol.
- *Vervolgonderzoek:* Voor de verschillende typen innovaties zijn gerichte vervolgonderzoeken nodig:

-
- **Doorontwikkelen van gestarte innovaties:** opzetten van praktijkpilots om werking, robuustheid en toepasbaarheid onder praktijk omstandigheden te toetsen. Dit geldt bijvoorbeeld voor technieken als afdekken met gronddeeltjes en verbeterde zodenbemesting.
 - **Kansrijke nog onvoldoende onderzochte innovaties en nieuwe innovaties:** voortzetten van technisch en emissiegericht onderzoek, zoals bij plasmabehandeling en afdekken met toevoegmiddelen.
 - **Innovaties met mogelijke neveneffecten:** verdiepend onderzoek naar effecten op bodemleven, zodeschade, lachgasemissie en weidevogels.
 - *Een helderder kader voor onderzoeksmethodes:* Investeer in een duidelijk kader voor het bepalen van ammoniakemissie inclusief het omgaan met meetonzekerheden en het vertalen van resultaten die verkregen zijn in onderzoekstellingen naar de praktijk.
 - *Gerichte communicatie en demonstratie:* Stimuleer toepassing van de juiste techniek op de juiste plek via kennissessies, demonstraties en praktijkgerichte voorlichting. Dit vergroot het vertrouwen en de bereidheid tot investeren.
 - *Gerealiseerde reductie zichtbaar maken:* Ontwikkel een methode waarmee ammoniakemissie in beeld gebracht kan worden. Kritische Prestatie Indicatoren (KPI's) kunnen daarbij bruikbaar zijn.
 - *Onderzoeksinfrastructuur behouden:* Zorg voor een blijvende structuur waarin nieuwe ideeën kunnen worden opgepakt, getest en doorontwikkeld. Techniekontwikkeling stopt niet bij het einde van een project.

Literatuur

Achtergrond Documentatie BoB, 2025.

Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof & J. Vonk (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 178. 224 p.; 25 tab.; 8 figs.; 74 ref.; 32 bijl.

Most, M. van der, & C. van Bruggen, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, K. Oltmer, M.B.H. Ros, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2025). *Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2023*, WOT-technical report 283

Schulte-Uebbing, L. & H. Westhoek, 2024. Toelichting op de geraamde ontwikkeling van de ammoniakemissie uit de landbouw tot 2030/2035. Oplegnotitie bij het WUR-achtergrondrapport bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024 en de Emissieraming Luchtverontreinigende Stoffen 2025. Planbureau voor de Leefomgeving. https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-12/pbl-2024-toelichting-geraamde-ontwikkeling-ammoniakemissie-landbouw-5671_0.pdf

Bijlage A Achtergrond Documentatie BoB

Titel	Edepotnummer
Verandering in de Praktijk	
Bemest op z'n Best: Nevenaspecten innovatieve mest toedieningstechnieken. <i>Potentiële neveneffecten van toepassen van innovatieve technieken voor mesttoediening met lagere ammoniakemissie</i>	
Zodenbemesting op kleigrond. <i>Onderzoek naar snijdiepte, bodembedekking met mest, scheurvorming, grasopbrengst en -kwaliteit</i>	
Effect toevoegingmiddelen op het mestoppervlak voor emissiereductie van ammoniakemissie: labproeven	
Afdekken sleuf met gewasresten of grond. <i>Ammoniakemissie bij het afdekken van een zodenbemestersleuf met grond op bouwland of gewasresten op grasland</i>	
Schuin insnijden bij zodenbemesten	
Direct beregenen bij zodenbemesting. <i>Ammoniakemissie bij het direct beregenen van een zodenbemestersleuf</i>	
Plasmolyse (N2 Applied)	
Effect toevoeging kleimineralen aan mest ter emissiereductie van NH ₃ : oriënterende metingen	
Effect addition of polysulphate suspensions at the slurry surface on NH ₃ emission: lab trials	
Effect PolyS suspensie op meststroken ter reductie NH ₃ -emissie: veldmetingen	
Effect afdekking mest met krijtsuspensie ter emissiereductie van ammoniak: labproeven	
Effect van toevoeging van MgCl ₂ - en CaCl ₂ -oplossingen aan het mestoppervlak op de ammoniakemissie: labtesten	
Effect van CaCl ₂ - en een mix van CaCl ₂ - en MgCl ₂ -oplossingen op meststroken ter reductie NH ₃ -emissie: veldmetingen	
Emissiereductie bij zodenbemesten van aangezuurde mest. <i>Reductie ammoniakemissie bij het aanzuren van mest bij verschillende toedieningsmethoden gemeten met dynamische fluxkamers</i>	
Effect van toevoeging zwavelzuur aan mest op de ammoniakemissie: labtesten	

Bijlage B Samenstelling Stuurgroep en Klankbordgroep

Stuurgroep (samenstelling 2025)

Naam	Organisatie
Oene Oenema (vz)	Wageningen University & Research
Koos Verloop (secr)	Wageningen University & Research
Han Kuunders	Cumela (brancheorganisatie voor ondernemers in groen, grond en infra)
Erwin Maathuis	Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur
Lena Schulte-Uebbing (2025)	Planbureau voor de Leefomgeving
Femke Dingemans	Stichting Brabantse Milieufederatie
Harm Albring (vanaf 2024)	Land- en Tuinbouw Organisatie

Klankbordgroep (samenstelling 2025)

Naam	Organisatie
Han Swinkels (vz)	HS Consultancy
Koos Verloop (secr)	Wageningen University & Research
Maurice Steinbusch	Cumela (brancheorganisatie voor ondernemers in groen, grond en infra)
Ron Houweling	Fedecom (Brancheorganisatie voor fabrikanten, importeurs en dealers in de agrotechniek, veehouderijtechniek, groentechniek, industrie GWW en intern transport)
Ruud Pleune	Natuur en Milieu Overijssel
Jan Roefs	Nederlands Centrum voor Mestverwaarding
Wilco Brouwer de Koning	Land- en Tuinbouw Organisatie)
Koos Kasper	Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit
Paul Blokker	DLV advies & resultaat
Frank Verhoeven	Boerenverstand

Bijlage C Samenstelling 'Bemest op z'n Best' werkgroepen

Programmateam (PT)

Naam	Organisatie
Koos Verloop (vz)	Wageningen University & Research
Marieke Rinsema	
Jan Huijsmans	
Zwier van der Vegte (De Marke)	
Roy Wichink Kruit	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Wim Bussink	Nutriënten Management Instituut
Jeroen Pijlman	Louis Bolk Instituut
Monique Paes	Monique Paes Marketing & Interieur

Beoordeling

Naam	Organisatie:
Jeroen Pijlman (vz)	Louis Bolk Instituut
Roy Wichink Kruit	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Zwier van der Vegte (De Marke)	Wageningen University & Research
Jan Huijsmans	
Wim Bussink	Nutriënten Management Instituut
Peter Demeyer	Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (Vlaamse Overheid)

Innovaties in onderzoek (WIO)

Naam	Organisatie:
Jan Huijsmans (vz)	Wageningen University & Research
Marieke Rinsema	
Wim Bussink	Nutriënten Management Instituut
Jeroen Pijlman	Louis Bolk Instituut

Wetenschap en meten (WWM)

Naam	RIVM:
Roy Wichink Kruit (vz)	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Tim van der Zee	
Julio Mosquera	Wageningen University & Research
Joachim Deru	Louis Bolk Instituut
Arjan Hensen	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
Peter Demeyer	Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (Vlaamse Overheid)

Nevenaspecten

Naam	Organisatie
Sander Gerritsen (vz)	Wageningen University & Research
Koos verloop	
Herman van Schooten	
Derk van Balen	
Jeroen Pijlman	Louis Bolk Instituut

Experts geraadpleegd bij Nevenaspecten

Naam	Organisatie
Wim van Dijk	Wageningen University & Research
Piet Groenendijk	
Gerard Velthof	
Co Daatselaar	
Joachim Deru	Louis Bolk Instituut
Nick van Eekeren	
Lennard de Jong	
Ellen Geerlings	
Nyncke Hoekstra	

Demo

Naam	Organisatie
Zwier van der Vegte (vz)	Wageningen University & Research; De Marke
Sjon de Leeuw	PPP Agro advies
Herman Krebbers	
Koos Verloop	Wageningen University & Research
Desiree van Steenveldt	Peppercom communicatieadvies
Remon te Velde (vanaf eind 2024)	Delphy
Niek Vedelaar (2023, 2024)	
Stefanie Bos (2023, 2024)	

Communicatie

Naam	Organisatie
Koos Verloop	Wageningen University & Research
Marieke Rinsema	
Monique Paes	Monique Paes Marketing & Interieur
Desiree van Steenveldt	Peppercom communicatieadvies

Bijlage D Uitvraag en werkwijze beoordeling ideeën

Opsteller: werkgroep Beoordeling

Uitvraag:

Formulier innovatie-idee 'Bemest op z'n Best'

Algemene gegevens indiener innovatie

Naam bedrijf *:

Naam contactpersoon *:

Adres *:

Postcode *:

Woonplaats *:

Telefoonnummer *:

E-mailadres *:

Omschrijving/duiding techniek *:

Ideenummer *:

Wat zie je als belangrijkste voordeel/voordelen van het systeem (zowel in techniek als voor de bedrijfsmatige toepassing)? *

Onderwerp

1. Gekozen oplossingsrichting (geef aan wat het meest van toepassing is) *

- ☐ Inbrengen in de grond
- ☐ Verkleinen contactoppervlak
- ☐ Afdekken strookjes mest
- ☐ Veranderen mestsamenstelling
- ☐ Inregenen/inspoelen mest
- ☐ Weersafhankelijk aanwenden
- ☐ Verbeteren werking huidige techniek
- ☐ Anders, namelijk:

Eventuele toelichting/opmerking op de gekozen oplossingsrichting

2. Hoeveel emissiereductie verwacht je met de innovatie te bereiken t.o.v. zodenbemesten (grasland) of breedwerpig gevolgd door onderwerken (bouwland) (geef aan wat het meest van toepassing is) *

- ☐ 50%
- ☐ 25-50%
- ☐ <25%
- ☐ Anders:

Beschrijf waarop jou verwachting van de emissiereductie gebaseerd is *

-
3. Voor welk soort mest kan jou innovatie ingezet worden? (geef aan wat van toepassing is; er zijn meerdere antwoorden mogelijk) *
- Drijfmest
 - Stalmest (evt. met stroresten)
 - Dunne fractie na scheiding
 - Dikke fractie na scheiding
 - Digestaat
 - Anders:

Eventuele toelichting/opmerking over de inzet van jou innovatie op de gekozen soort mest

4. Beschik je over binnenlands- of buitenlands onderzoek met betrekking tot deze innovatie? Zo ja, dan ontvangen wij hier graag meer informatie over.
5. Wordt de innovatie in het buitenland al toegepast? Zo ja, dan ontvangen wij hier graag meer informatie over.
6. Wat zijn belangrijke argumenten die aan kunnen geven dat de innovatie goede potentie heeft in het verlagen van de ammoniakemissie?

Robuustheid techniek

7. Geef aan wat jouw verwachting is t.a.v. de storingsgevoeligheid *
8. Geef aan wat jouw verwachting is t.a.v. de garantie voor goede werking *
9. Voor welke grondsoort en gebruik is uw innovatie geschikt? (geef aan wat van toepassing is en geef eventueel een toelichting; er zijn meerdere antwoorden mogelijk) *
- Zand grasland
 - Zand bouwland
 - Klei grasland
 - Klei bouwland
 - Veen grasland
 - Veen bouwland
 - Löss

Neveneffecten

10. Zijn er neveneffecten (positief of negatief) aan jouw innovatie verbonden? (geef aan wat het meest van toepassing is) *
- Ja
 - Nee

Marktperspectief

11. Kun je de innovatie zelf naar de markt brengen? (geef aan wat het meest van toepassing is en geef eventueel een toelichting) *

- ☐ Ja
- ☐ Nee
- ☐ Weet niet

Eventuele toelichting:

12. Heeft de innovatie kansen op de buitenlandse markt? (geef aan wat het meest van toepassing is en geef eventueel een toelichting) *

- ☐ Ja
- ☐ Nee
- ☐ Weet niet

Eventuele toelichting:

Draagvlak

13. Wat is jouw verwachting van het draagvlak van uw innovatie in de agrarische sector? (geef aan wat het meest van toepassing is en geef eventueel een toelichting) *

- ☐ Hoog
- ☐ Gemiddeld
- ☐ Laag
- ☐ Onbekend

Eventuele toelichting:

14. Wat is uw verwachting van het draagvlak van uw innovatie in de maatschappij? (geef aan wat het meest van toepassing is en geef eventueel een toelichting) *

- ☐ Hoog
- ☐ Gemiddeld
- ☐ Laag
- ☐ Onbekend

Eventuele toelichting:

15. Is het idee strijdig met bestaande patenten voor zover uw weet? (geef aan wat van toepassing is en geef eventueel een toelichting) *

- ☐ Ja
- ☐ Nee
- ☐ Weet niet

Eventuele toelichting:

Privacy *

☒ Ik stem in met de verwerking van mijn persoonsgegevens voor bovenstaand doel. Op deze verwerking is de privacyverklaring van WUR van toepassing. Lees de privacyverklaring

Werkwijze beoordeling ideeën:

Procedure screening ingezonden voorstellen 'Bemest op z'n Best'

Werkgroep Beoordeling (november 2021, met aanvullingen in maart 2022)

Ideeën worden aangereikt middels een template (zie voorgaande tekst "uitvraag").

Voorafgaand aan de screening

- Vooraf aan de screening van voorstellen vindt er een check plaats op correctheid en compleetheid van de invulling van de template. Er wordt gekeken of door de aanbieder de essentie van het voorstel (hoe werkt het, wat is het werkingsmechanisme?) zodanig beschreven is dat een goede screening mogelijk lijkt. Deze check wordt gedaan door een persoon buiten de werkgroep beoordeling. Als dat niet het geval is, vraagt deze persoon de aanbieder om een aanvullende beschrijving.
- Daarnaast kijkt deze persoon buiten de werkgroep beoordeling of voorstellen mogelijk duidelijk buiten de afbakening van het programma vallen, waardoor ze niet het verdere screeningsproces in hoeven. Het niet compleet zijn van een inzending wordt niet als reden beschouwd om een inzending niet mee te nemen in het screeningsproces (al kan het wel betekenen dat de beoordelaars minder mogelijkheden hebben tot een zo juist mogelijke beoordeling te komen).

De screening van voorstellen

- De screening vindt vervolgens anoniem plaats. De voorstellen worden genummerd, en de bedrijfsgegevens (incl. het type bedrijf, bijv. loonwerker, machinebouwer, agrariër, etc.) van de inzender worden onzichtbaar gemaakt (geanonimiseerd).
- Bij de screening van voorstellen worden punten toegekend. De beoordelaars komen tot een prioritering (op basis van punten) van ideeën aan de hand van de som van de scores op verschillende onderwerpen (o.a. verwachte effect ammoniakemissie en toepasbaarheid). Tevens geven de beoordelaars aan of er belangrijke nevenaspecten worden verwacht om rekening mee te houden. Daarnaast geven ze een advies, met een korte onderbouwing waarom ze tot dit advies zijn gekomen. De geschreven onderbouwing wordt niet gedeeld met de inzenders, alleen met het programmteam. De mogelijke adviesopties zijn:
 - A. Advies om de inzending buiten de kaders van programma te beschouwen;
 - B. Advies om de inzending in aanmerking te laten komen voor vervolg (volgende stap is verkennend gesprek);
 - C. Inzending betreft idee waarin gewerkt wordt met een geconcentreerd zuur. Advies om het idee voorlopig te parkeren totdat er een keuze is gemaakt over het gebruik van zuren bij mest uitrijden (deze adviesoptie komt te vervallen mits er in de stuurgroep een keuze is gemaakt over het gebruik van zuren bij mest uitrijden);
 - D. Advies om de inzending te beschouwen als een idee met onvoldoende potentie NH₃-emissie reductie;
 - E. Advies om extra informatie aan de indiener te vragen, want er is onvoldoende informatie om tot een beoordeling te komen. De beoordelaars geven hierbij aan welke informatie ontbreekt om tot een beoordeling te komen.
- De werkgroep bestaat uit zes mensen, welke zijn opgedeeld in twee groepjes van drie. De drie beoordelaars binnen de twee groepjes screenen de ideeën eerst, en zoeken vervolgens consensus over de beoordeling binnen het groepje middels een overleg.
- Na de afstemming binnen de beoordelingsgroepjes, wordt een afstemming gemaakt tussen de twee beoordelingsgroepjes en een advies voor het programmteam afgestemd.
- Na de screening van inzendingen kan een afweging worden gemaakt welke inzendingen wel/niet verder in het programma worden meegenomen. De afweging en het besluit hierover ligt bij het programmteam.
- Inzenders van ideeën ontvangen een reactie met daarin een toelichting waarom hun inzending wel/niet is geselecteerd, met een korte onderbouwing. Wanneer een idee is geselecteerd voor deelname aan het programma volgt een kennismakingsgesprek om verdere (onderzoeks)opties door te spreken.
- De informatie die de inzenders van ideeën hebben gestuurd wordt als strikt vertrouwelijk behandeld door de beoordelaars en het programmteam. Anderzijds wordt aan de inzenders van ideeën geen inzicht verschaft in de screeningsbeoordeling door de beoordelaars en het programmteam, anders dan een korte schriftelijke toelichting.

-
- De controle op compleetheid/correctheid en het anonimiseren van voorstellen wordt gedaan/georganiseerd door een persoon buiten de werkgroep beoordeling.
 - De screening vindt plaats in twee afzonderlijke groepjes van drie personen. Om het vertrouwelijk omgaan met de informatie zo goed mogelijk te waarborgen, is er daarom voor gekozen de beoordelaars zoveel mogelijk uit het programmteam afkomstig te laten zijn.
 - Indien de beoordelingsgroepjes tot een verschillende prioritering komen, wordt gevraagd om te proberen tot consensus te komen. De werkgroep beoordeling zet vervolgens de resultaten door naar het programmteam. Indien de groepjes geen consensus bereiken dan wordt dit besproken met de trekkers van de beoordelingscommissies en de trekker van het Programmteam om alsnog consensus te bereiken. Als dat niet lukt, dan wordt het oordeel van de screening besloten op basis van stemming.
 - In het programmteam wordt per voorstel besloten of de beoordeling van de beoordelaars wordt overgenomen. De terugkoppeling van de beoordeling aan de deelnemers wordt gedaan vanuit het programmteam.
 - Er wordt naar gestreefd de screening van de voorstellen binnen 2 weken na de sluitingsdatum van het indienen van ideeën te doen.

Naar aanleiding van de eerste screeningsronde zijn er drie aanpassingen gemaakt in de screeningsprocedure (maart 2022):

- Er worden **intakegesprekken** gehouden voorafgaand aan de screening met idee indieners, waarin zij worden geholpen om informatie zo compleet en helder mogelijk in het intakeformulier (template) op te nemen. De indiener dient een idee wel zelf ondertekend in.
- Voorstellen zijn gescreend op passendheid binnen de afbakening van het programma, aan de hand van een duidelijkere afbakening. De **afbakening** waarmee wordt gewerkt is zoals vastgesteld in het programmteam overleg.
- Per idee levert de werkgroep beoordeling een korte **onderbouwing** aan ter toelichting waarom tot een bepaald advies is gekomen.

Bijlage E Gehanteerd protocol meten emissiereductie van ammoniak bij het toedienen van vloeibare dierlijke mest

Opstellers: werkgroep WIO en WWM

1 Achtergrond/Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen 'Bemest op z'n Best' worden bestaande technieken voor toediening van mest verbeterd en worden er nieuwe technieken² ontwikkeld. Het programma streeft naar een totale reductie van de toedieningsemissies van 50% ten opzichte van de huidige praktijk. De emissie van nieuwe technieken dient daarom in ieder geval lager te zijn dan die van de referentietechniek, dit is zodenbemesting op zand- en lössgrond en zodenbemesting of verdunning van mest met water (1:0,5) met sleepvoet/sleufkouter uitgereden op klei- en veengrond.

Het afleiden van een emissiefactor voor een nieuwe techniek kan gebeuren op 2 manieren:

- 1) Direct, door een groot aantal emissiemetingen uit te voeren onder verschillende omgevingscondities.
- 2) Indirect, door te vergelijken met een referentietechniek waarvoor een emissiefactor reeds is afgeleid (in dit geval zodenbemesting of verdunning met water).

Voor de 2^e manier zijn beduidend minder (veld)metingen nodig. Voorwaarde is wel dat de verschillen met de referentiemethode groot genoeg zijn. Voor het vaststellen van een emissiereductiefactor ten opzichte van de referentietechniek zijn nog steeds meerdere metingen onder verschillende omgevingscondities nodig. De onzekerheden in de gemeten emissies en in de reductie t.o.v. de referentiemethode zullen kleiner worden naarmate er meer metingen worden uitgevoerd.

Er zijn een aantal onderzoeken uitgevoerd die de vergelijkbaarheid van verschillende meetmethoden onder de loep hebben genomen (o.a. Kamp *et al.*, 2024). Deze onderzoeken laten zien dat de emissies sterk afhangen van de meetmethode en soms wel een factor 2 van elkaar kunnen verschillen. Van fluxkamers en windtunnels is bekend dat deze sterk afhankelijk zijn van de verversingssnelheid van de lucht in de fluxkamer/windtunnels. Hierdoor zijn de resultaten van deze meetmethodes niet direct te gebruiken voor de bepaling van emissiefactoren. Dit komt mede doordat de meetmethodes zijn afgesloten en dus niet dezelfde atmosferische turbulentie ervaren als de metingen met de micro-meteorologische meetmethodes (IHF en bLS). Toch is de verwachting dat (als deze meetmethodes goed 'gekalibreerd'³ zijn aan de micro-meteorologische meetmethode) ze een realistische inschatting kunnen geven van de emissiereductie.

Dit meetprotocol zal zich vooral richten op het bepalen van emissiereducties t.o.v. de referentietechniek. Dit stelt net iets lagere eisen aan de te gebruiken meetmethodes, omdat er relatief wordt gemeten en een emissiereductie wordt afgeleid t.o.v. de referentie, waar al een emissiefactor voor bestaat. Het blijft echter wel relevant om de praktijksituatie zo goed mogelijk te benaderen.

² Onder techniek wordt hier niet alleen de mechaniek verstaan, maar ook andere denkbare innovatieve (b.v. chemische) oplossingen.

³ Onder gekalibreerd verstaan we hier dat de verversingssnelheid van de lucht in de fluxkamers zodanig is afgesteld dat de verkregen emissiefactor ongeveer overeenstemt met de gemiddelde emissiefactor verkregen met de IHF-methode.

1.2 Doel protocol

Doel van dit protocol is om tot een aanpak te komen en daarbij de randvoorwaarden voor uitvoering vast te leggen. Het protocol beschrijft dus de vereisten voor het uitvoeren van emissiereductiemetingen bij mesttoediening, waarbij een nieuwe techniek wordt vergeleken met de referentietechniek. Emissiemetingen in het veld geven een beeld van het effect van de nieuwe techniek in de praktijk, maar zijn niet altijd mogelijk. Vandaar dat er ook verschilmetingen onder (semi)lab condities uitgevoerd kunnen worden. Het voordeel van metingen in een (semi)lab is dat er veel herhalingen kunnen worden uitgevoerd en tegelijkertijd meerdere objecten onderling kunnen worden vergeleken hetgeen in veldonderzoek vaak niet mogelijk is. De herhalingen leiden tot een kleinere onzekerheid. Maar het nadeel is dus dat het effect van de nieuwe techniek in de praktijk anders kan zijn. Hier moet rekening mee worden gehouden bij de beoordeling van de nieuwe techniek.

1.3 Beperkingen en Afbakening

Voor emissiereductiemetingen is het vereist dat op één locatie vrijwel gelijktijdig gemeten wordt aan minimaal twee objecten (referentie en één of meerdere te onderzoeken kandidaten). Dit beperkt de inzet van een aantal geavanceerde meettechnieken.

Op dit moment zijn er meerdere meetmethoden die voor het hierboven beschreven doel kunnen worden ingezet: de Integrated Horizontal Flux (IHF) methode, de Backwards Lagrangian Stochastics (bLS) methode, (dynamische) fluxkamers en windtunnels. Deze methodes worden in verschillende artikelen uitgebreid beschreven (zie een aantal referenties aan het eind van dit document).

Meetmethoden zijn continu in ontwikkeling. Mogelijk komen er dus in de looptijd van het programma nog nieuwe meetmethoden beschikbaar en kan het protocol hierop worden aangepast. Eerst zal dan wel gelijkwaardigheid aan bovenstaande methodes moeten worden aangetoond.

Het protocol specificeert een aantal vereisten voor het uitvoeren van de emissiemetingen, zoals de:

- beschrijving van de nieuwe toedieningstechniek
- meetmethode
- meetopzet (locatie, frequentie, etc.)
- gegevensverzameling en -verwerking
 - o mestgift en mestsamenstelling
 - o omstandigheden
 - o meetgegevens
- rapportage

De planning van een meetcampagne valt grotendeels buiten de afbakening van dit protocol. In dit protocol wordt nu (nog) niet ingegaan op het vereiste aantal metingen en/of het vereiste aantal omstandigheden waaronder de emissiemetingen moeten worden uitgevoerd.

1.4 Leeswijzer

Eerst is in algemene zin beschreven wat van belang is bij de proefuitvoering. Aansluitend is in tabellen gespecificeerd welke parameters gemeten dienen te worden en hoe bepaalde zaken dienen te worden uitgevoerd.

2 Protocol

2.1 Beschrijving van de nieuwe toedieningstechniek

Allereerst zal er een beschrijving moeten komen van de nieuwe toedieningstechniek. Wat is het werkingsprincipe van de te onderzoeken nieuwe toedieningstechniek? Hoe ziet de nieuwe techniek eruit? Er zal een beschrijving moeten worden gemaakt van het systeem (o.a. werkafstand, sleufdiepte, sleufafstand, toevoeg-/afdekmiddel, verdunningsverhouding, etc.). Zijn er essentiële bedieningsparameters voor de toedieningstechniek, methode, mest of additieven? Is er een gebruikershandleiding? Zijn er al veiligheidsrisico's bekend? Kan er eventueel schade aan het gewas of bodem ontstaan? Is er al nagedacht over de borging van de werking? Een aantal van dit soort zaken komt al naar voor bij de beoordeling van een potentieel te onderzoeken idee of komt specifiek aan de orde bij een beoordeling van nevenaspecten.

2.2 De meetmethode

Voor het vaststellen van een ammoniakemissiereductie kunnen verschillende meetmethoden toegepast worden: de IHF, de bLS methode, (dynamische) fluxkamers en windtunnels. De toepassing van de meetmethoden is gericht op een relatieve vergelijking tussen een "nieuwe toedieningstechniek" en de "referentie toedieningstechniek". Hiervoor zijn heel veel metingen nodig onder verschillende omstandigheden om zo een idee te krijgen van de spreiding in de emissiereductiefactoren. Voor dit programma is het van belang dat onderling vergelijkende experimenten gelijktijdig onder dezelfde omstandigheden plaatsvinden (weer, mest, gewas, bodem etc.) en dat herhalingen in de tijd en onder verschillende condities worden uitgevoerd (onder de dan geldende omstandigheden).

In de volgende paragrafen worden verschillende toepassingen behorend bij de meetmethoden nader toegelicht. Bij alle meetmethoden vinden concentratiemetingen plaats. Dit kan plaatsvinden met passieve samplers en impingers, waarbij een cumulatief beeld verkregen kan worden gedurende een bepaalde periode. Ook kunnen continumetingen van concentraties plaatsvinden.

2.2.1 IHF en bLS

Vorbereiding

De uitvoering van de feitelijke emissiemeting bij toepassing van de IHF en bLS meetmethoden kan pas starten nadat de mestdoseringshoeveelheid met de mesttoedieningstechniek goed is. Hiervoor worden eerst een aantal teststroken gemaakt om een correcte werking te controleren. De afstelling van de mestdosering en het uitrijden van teststroken dient te worden gedaan onder onafhankelijk toezicht, om te waarborgen dat er conform goede praktijk wordt bemest met zowel de nieuwe techniek als ook de referentietechniek. Bij de metingen (IHF en bLS) dienen de nieuwe techniek en de referentietechniek een vergelijkbare werkbreedte te hebben, om (bij benadering) vergelijkbare cirkels te kunnen bemesten met gelijke hoeveelheden werkbanen en rijsporen per vierkante meter uitgereden mest. Idealiter hebben de beide plots vergelijkbare trekker+tank+bemester gewichten en vergelijkbare band- en spoorbreedte.

Locatie van de plots en de achtergrondmast

Belangrijke randvoorwaarde bij het kiezen van de locatie van de testplotjes is de onderlinge beïnvloeding en de beïnvloeding van de metingen door bronnen in de omgeving (tot 500 - 1000 m afstand). Plotjes/testlocatie moeten zo worden aangelegd dat het geëmitteerde gas van de ene plot zo min mogelijk over de andere plots en/of over de achtergrond mast heen komt. Ook dienen eventueel aanwezige bronnen in de omgeving geen directe invloed op de plots te hebben. Er dient dus van te voren een inschatting gemaakt te worden van de windrichting en eventuele wijzigingen in de windrichting in de komende 4 dagen. Verstoringen tijdens de meetcampagne kunnen altijd optreden door activiteiten op omliggende percelen (landbewerking of aanwezigheid van dieren) of door onverwachte windrichtingsveranderingen. Dit moet zo goed mogelijk gedocumenteerd worden (locatie en tijd van de verstoring), zodat hier later bij de analyse van de metingen eventueel rekening mee kan worden gehouden. Achtergrondmasten (achtergrondconcentraties) dienen zo opgesteld te worden dat werkelijke achtergronden (bij iedere plot) goed gemeten worden; indien er invloedbronnen op enige afstand zijn dan altijd een check of achtergrond bij ieder plot een vergelijkbare invloed meet.

Idealiter wordt een zo homogeen mogelijk perceel gebruikt qua bodemsamenstelling, bodem hoogteverloop, afstand van sloten en greppels en qua graslandgebruik. Bijvoorbeeld geen percelen waar een verloop in grashoogte is tussen de plot met de nieuwe techniek en de referentietechniek, veenpercelen met een kleirug, etc. Er worden maaipercelen gebruikt waar al geruime tijd (sinds vorige snede) niet op is bemest, met een niet te grote grashoogte (maximaal ongeveer 10 cm). Er wordt een karakterisering van de grondsoort gegeven (klei, veen, zand, löss, etc.) en er wordt kwalitatief beschreven wat de omstandigheden van de bodem (droog, nat, etc.) en het gras (hoogte) zijn.

Bij de paarsgewijze vergelijking moet er zo goed mogelijk op worden toegezien dat er dus echt maar één variabele is: de nieuwe toedieningstechniek/behandeling t.o.v. de referentie toedieningstechniek.

Plotgrootte

De mest moet worden uitgereden in parallelle stroken van wisselende lengte zodanig dat een cirkelvorm wordt benaderd. De diameter van een veld kan variëren tussen 20 en 50 m, wat mede bepaald wordt door de werkbreedte van de te gebruiken machine. Met een bij benadering cirkelvormig perceel wordt een constante aanstroamlengte gecreëerd ongeacht de windrichting. Mest die buiten het cirkelvormige perceel terecht komt (b.v. door nalekken), moet zo snel mogelijk worden afgedekt (bijvoorbeeld met zand). Kort na het uitrijden van de mest op de eerste helft van het perceel (te beginnen vanaf de wind), wordt de centrale mast in het midden van het perceel geplaatst. Na plaatsing van de centrale mast in het midden van het perceel worden ammoniakmetingen gestart bij zowel de achtergrondmast als de centrale mast, halverwege de bemesting van de plot.

Duur van een meting

Ammoniakemissies bij toediening van mest vinden veelal plaats binnen 96 uur na toediening. Daarna vinden er geen substantiele emissies meer plaats. Metingen behoren dan ook direct bij de mesttoediening te starten. De hoogste emissies worden vaak in de eerste uren na toediening gemeten, waarna de emissies geleidelijk afnemen. Daarom wordt idealiter een meetfrequentie van 2x 1,5 uur, 2x 3 uur, 1x 15 uur en 3x 24 uur (of 6x 12 uur) voorgeschreven. Een hogere frequentie mag en zal waarschijnlijk tot een kleinere onzekerheid leiden. Echter, een hogere frequentie kan ook tot meer handelingen (tussentijdse metingen) met bijbehorende afwijkingen leiden. Veelal kan pas achteraf (tenzij er continue concentratiemetingen plaatsvinden) gezien worden of het emissieproces uitgedoofd is. Om achteraf bijzonderheden in de emissiemetingen te kunnen verklaren is het van belang om de meteorologische omstandigheden ten tijde van de emissiemetingen goed vast te leggen, e.g. windsnelheid, windrichting, temperatuur, relatieve vochtigheid en regenval.

2.2.2 (Dynamische) fluxkamers

Bij de (dynamische) fluxkamers (meetoppervlak ongeveer 0,05 m²) worden veelal een aantal blanco's (geen mesttoediening, maar ook geen snede) meegenomen om een beeld te hebben van achtergronden en eventuele verstoringen. Grond en zoden worden uit een zo veel mogelijk uniform deel van een perceel genomen. Grashoogten worden voorafgaand aan de mesttoediening op een vastgestelde gelijke hoogte geknipt. De te maken sleuf is qua dimensionering zo goed mogelijk in overeenstemming met de dimensionering van zodenbemesting. Bij voldoende (minimaal 4) herhalingen (op hetzelfde moment) kan een randomized opzet voor de objectenverdeling over de fluxkamers gekozen worden en/of een blockdesign worden opgezet. Bij de toepassing van fluxkamers wordt veelal langer gemeten (ca. 10 dagen). Mesttoediening vindt handmatig plaats, waarbij afgewogen doseringen worden gebruikt. Bij toepassing van fluxkamers wordt alle geëmitteerde ammoniak opgevangen door gebruik te maken van impingers. Op basis van deze opgevangen ammoniak wordt de emissie bepaald. Impingers worden regelmatig vervangen om zo (achteraf) het verloop van de emissie te bepalen. Een concentratiemeting van de uitgaande lucht kan ook continu plaatsvinden.

2.2.3 Windtunnels

Bij windtunnelmetingen zijn grotere oppervlakten aan zoden nodig. Het oppervlak in een windtunnel is in de regel een factor 5-10 groter dan het oppervlak in een dynamische fluxkamer meting afhankelijk van welke type windtunnel gekozen wordt (ca. 0,25-0,5 m²) en hoe de meting in de windtunnel is ingericht. De te maken sleuf is qua dimensionering zo goed mogelijk in overeenstemming met de dimensionering van

zodenbemesting. Het verschil tussen de gemeten waarde bij de uitgang van de windtunnel en de meting van de achtergrondlucht die de windtunnel ingaat, wordt gebruikt in combinatie met het debiet door de tunnel om de emissie te berekenen.

2.3 Gegevensverzameling en -verwerking

Mestgift en mestsamenvestelling

De mestgift en -samenstelling bepalen de bronsterkte voor hoeveel ammoniakemissie maximaal kan optreden. Een emissie wordt dan ook meestal uitgedrukt als percentage van deze bronsterkte. Dit betekent dat een fout in de meting van de mestgift of mestsamenvestelling lineair doorwerkt in een fout in de emissie. Bij de IHF en BLS-metingen moet de methoeveelheid per proefveld gemeten worden. Dit kan door weging van de bemester voor en na de mesttoediening. Bij de fluxkamers en windtunnels wordt de mest veelal handmatig toegediend (de hoeveelheid wordt gebaseerd op oppervlak en weging). De mestsamenvestelling wordt bepaald aan de hand van een mestmonster. Het mestmonster moet genomen worden aan de uitrijmachine of beschikbare voorraad. De mest moet goed gemengd zijn. Het mestmonster wordt dus niet tevoren genomen uit een mestput op de boerderij. Veelal volstaat een mestmonster genomen aan de bemestertank of uit een voorraadkamer (bij windtunnel/fluxkamer). Mest wordt geanalyseerd op $\text{NH}_4\text{-N}$, N_{tot} , drogestof-gehalte en pH. Het $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte wordt gebruikt voor de berekening van de bronsterkte (mestgift* $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte); de emissie wordt uitgedrukt als % van deze $\text{NH}_4\text{-N}$ gift; N_{tot} en drogestof-gehalte geven een beeld van de soort mest. Bij IHF/BLS wordt na de mesttoediening de grootte van het veld bepaald om zo samen met de methoeveelheid de mestgift per ha te berekenen. Fluxkamers en windtunnels hebben vaste afmetingen en de methoeveelheid wordt afgestemd op de gewenste dosering.

Omstandigheden

Ammoniakemissie is variabel en kan sterk afhankelijk zijn van de omstandigheden (bodem, gewas, weer, etc.). Daarom moeten die zo goed mogelijk worden vastgelegd. Gedurende een seizoen zullen er wisselende omstandigheden optreden. Als voorbeeld: op grasland wordt bemest in het voorjaar, na een 1^e maaisnede (mei), 2^e maaisnede (juni) en eventueel na een 3^e maaisnede (juli) of vlak voordat het uitrijverbod op 1 september ingaat. Deze tijdstippen gaan gepaard met andere weers- en bodemomstandigheden, maar ook een bijbehorende variatie in mestgiften en soms -samenstelling. Om een emissiereductie (nieuwe toedieningstechniek t.o.v. referentie toedieningstechniek) te bepalen volstaat het niet om slechts één meting te doen. Metingen zullen herhaald moeten worden in de tijd om zo onder wisselende omstandigheden een representatiever beeld te krijgen van een eventuele reductie van emissie. Dit geldt voor alle toegepaste meetmethoden.

Meetgegevens

Alle concentratie- en windmetingen op de verschillende hoogtes van de masten (achtergrondmast + 2 plotmasten), fluxgrootten etc. worden verzameld en gerapporteerd. Daarnaast worden de meteogegevens tijdens de meetcampagne bijgehouden en gerapporteerd (bij voorkeur op 10 minutenbasis, maar minstens op uurbasis).

2.4 Rapportage

Onderstaande tabellen geven een overzicht van alle aspecten waar rekening mee moet worden gehouden (handvatten) en die moeten worden gerapporteerd.

Tabel 1 Belangrijke aspecten/handvatten bij emissiemetingen bij toepassing IHF- of bLS-methode.

Beschrijving van de nieuwe toedieningstechniek	
- Werkingsprincipe. - Foto van nieuwe techniek. - Beschrijving van het systeem (o.a. werkafstand, sleufdiepte, sleufafstand, evt. toevoeg-/afdekmiddel, verdunningsverhouding, essentiële bedieningsparameters, gebruikershandleiding, veiligheidsrisico's, mogelijke schade aan het gewas of bodem, borging van de werking).	
Meetmethode	
- Korte beschrijving van de gebruikte meetmethode en de meetopzet. - Eventuele afwijkingen van de beschrijving in de literatuur.	
<i>IHF:</i>	
- 5 NH₃ samplers (impingers) of passieve samplers op de centrale mast. - 3 NH₃ samplers (impingers) of passieve samplers aan de rand voor achtergrondmeting.	
<i>bLS:</i>	
- 3 NH₃ samplers (impingers) of passieve samplers op één meethoogte in het centrum. - 3 NH₃ samplers (impingers) of passieve samplers aan de rand van het veld.	
Meetopzet	
Veldselectie	Homogeen Het veld dient vlak en zo homogeen mogelijk te zijn qua bodem en gewas. Graslengte moet minimaal 5 en maximaal 10 cm bedragen. Lokale bronnen De afstand tot lokale bronnen (aan de windzijde) is zo groot mogelijk, minimaal 500 meter. Obstakels Een proefveldje ligt op een minimale afstand van 10x de hoogte van een nabijgelegen houtwal, woning of ander object (aan de windzijde). Onderlinge afstand De toedieningsveldjes zelf liggen circa 2x de diameter van het veldje uit elkaar.
Variatie in meetlocaties	Afhankelijk van de onderzochte techniek kan het van belang zijn om de metingen uit te voeren op verschillende grondsoorten (zand, klei, veen) of in verschillende type graslanden (bijvoorbeeld: maaipercelen of percelen met zowel maaien als weiden).
Teststroken	Voor de start worden teststroken uitgereden om te testen of de werking en ingestelde dosering is als verwacht. Dit gebeurt benedenwinds zover mogelijk van de testplots.
Plotgrootte	Tussen 20 en 50 meter diameter afhankelijk van: - de werkbreedte van de mesttoedieningsapparatuur - de toegepaste meetmethode Binnen een meetreeks aan de techniek blijft deze constant.
Meetperiodes	De metingen worden op verschillende tijdstippen gedurende het groeiseizoen uitgevoerd in de periode maart-september.
Aantal herhalingen in de tijd	De verwachting is minimaal 3 keer per jaar en gedurende 2 meetseizoenen. De mate van reductie met de nieuwe toedieningstechniek is echter van invloed op het aantal benodigde herhalingen (bij een grotere reductie zijn mogelijk minder herhalingen nodig). De gewenste betrouwbaarheid in de te verkrijgen emissiereductiefactor is eveneens van invloed op het aantal herhalingen.
Meetduur	Minimaal 4 dagen (>96 uur) voor vloeibare mest. Gemeten wordt onder omstandigheden waarbij op de eerste meetdag geen regen valt en bij voldoende wind. Metingen starten in de ochtend.
Meetfrequentie bepaling concentraties	Bij voorkeur 2x 1,5 uur, 2x 3 uur, 1x 15 uur (minimaal 3x op de eerste dag) en 3x 24 uur (of 6 x 12 uur).
Gegevensverzameling en -verwerking	
Mestsoort	Beschrijving van de gebruikte mestsoort
Giftgrootte	Deze wordt uitgedrukt in kg of m³ per ha. De mestgift wordt vastgesteld door: 1) weging (tank + trekker) voor en na toedienen, 2) toepassen van gekalibreerde flowmeter, 3) het bemeste oppervlak wordt opgemeten om de gift per ha te berekenen. De mestgift bedraagt 15-25 m³ per ha voor drijfmest op grasland en 25-35 m³ per ha op bouwland.

Mestsamenstelling	Per veldje wordt een mestmonster genomen uit de tank voor en na toediening van de mest. De toe te dienen mest is van tevoren gemixt. De mest wordt geanalyseerd op drogestof, N_{tot} , $NH_4\text{-N}$ en pH (en eventueel organisch stof, P, K, S, Mg en Na).
Gewasbeschrijving	Per veldje wordt de gewashoogte gemeten met een grashoogte meter. Om het meetobject zo min mogelijk te verstoren vinden deze metingen plaats aan de rand van het proefveldje. De dichtheid van het gras wordt kwalitatief beschreven: dicht (bodem niet zichtbaar), halfopen (bodem is half zichtbaar), open graszode (bodem bijna volledig zichtbaar) en er wordt een foto gemaakt (onder een hoek van ca. 45 graden naar beneden).
Grondbeschrijving	Het bodemtype wordt geclassificeerd (als klei, zand of veen). Algemene beschrijving van de bodemtoestand (dichtheid van de bodem, bodemvochtgehalte kwalitatief bepaald (droog, vochtig, nat).
Mesttoediening	Begin- en eindtijdstip van mesttoediening voor zowel de nieuwe toedieningstechniek als de referentie toedieningstechniek.
Verdeling mest	Een basisvereiste is homogeen verdelen van mest over de plot. Kwalitatief: - Is de mest netjes toegediend, zijn alle sleuven/stroken gevuld met mest etc. - Foto's onder een hoek van 45 graden naar beneden. Kwantitatief: - De veldgeometrie wordt gemeten, zowel de lengte en breedte van de individuele meststroken als de afmetingen van het veld waaraan mest is toegediend (deze data dienen ook voor de berekening van het bemeste oppervlak). - De werkdiepte, de afstand tussen de meststrookjes en de breedte van de meststrookjes van de referentietechniek (indien zodenbemester) worden vastgesteld. - De werkdiepte, de afstand tussen de meststrookjes en de breedte van de meststrookjes van de nieuwe toedieningstechniek (indien zodenbemester of vergelijkbaar) worden vastgesteld. - De belangrijkste eigenschappen van een nieuwe toedieningstechniek worden vastgesteld, zoals het oppervlak van mest op de bodem, werkdiepte, dosering van additief, etc.
Registratie	Alle veldjes worden gefotografeerd en de locatie wordt goed beschreven (foto van Google Earth of GPS-locatie; ook eventuele verplaatsingen van b.v. de achtergrondmast en eventuele bronnen in de omgeving). In verband met AVG kan het nodig zijn om deze gegevens in de rapportage te anonimiseren. Meteorologische gegevens (relatieve vochtigheid, temperatuur, straling, en liefst ook de neerslaghoeveelheid, bodemtemperatuur en voelbare warmteflux, worden op één locatie (bijvoorbeeld de achtergrondmast) op uurbasis gemeten (bij uitzondering/problemen kan eventueel de meteo van het dichtstbijzijnde KNMI-metstation worden genomen, maar de voorkeur heeft het om dit ter plaatse te meten). Windsnelheid en -richting worden ook op uurbasis, maar liefst op een hogere tijdsresolutie (van 1 minuut) vastgelegd. Deze moeten sowieso ter plaatse worden gemeten. Deze data zijn beschikbaar. Kwalitatieve beschrijving van het weer voorafgaand aan de proef (ca. 1 week).
Registratie schade en zichtbare verschillen in omstandigheden tussen nieuwe en referentietechniek	Eventuele zichtbare schade aan de zode wordt beschreven en op foto's vastgelegd. Ook als er zichtbaar een verschil is in de omstandigheden tussen de nieuwe en referentietechniek, b.v. doordat de bemester een ander gewicht had, wordt dit beschreven en op foto's vastgelegd. Ook eventuele positieve verschillen worden zoveel mogelijk op foto's vastgelegd.
Registratie bijzonderheden	Aanwezigheid van dieren/bemestingsactiviteiten/andere graaf of dreg activiteiten op omliggende percelen in ieder geval registreren bij elk bezoek, liefst met 360 timelaps op de achtergrond mast.
Registratie mogelijke neveneffecten	Lijst met neveneffecten doornemen of dit wel of niet van toepassing zou kunnen zijn (signaleren).
Borging van de techniek	Hoe kan de techniek in de praktijk zo goed mogelijk geborgd worden (signaleren)?

Tabel 2 Belangrijke aspecten/handvatten bij emissiemetingen bij toepassing dynamische fluxkamers en windtunnels

Beschrijving van de nieuwe toedieningstechniek	
- Werkingsprincipe. - Foto van nieuwe techniek. - Beschrijving van het systeem (o.a. werkafstand, sleufdiepte, sleufafstand, evt. toevoeg-/afdekmiddel, verdunningsverhouding, essentiële bedieningsparameters, gebruikershandleiding, veiligheidsrisico's, mogelijke schade aan het gewas of bodem, borging van de werking).	
Meetmethode	
- Korte beschrijving van de gebruikte meetmethode en de meetopzet. - Eventuele afwijkingen van de beschrijving in de literatuur. - Eén sampler (impinger) per fluxkamer/windtunnel.	
Meetopzet	
Veldselectie	Homogeen Grond- of zodekolommen worden genomen op een zo homogeen mogelijk veld qua bodem en gewas. Bij aanvang proefaanleg wordt voor alle fluxkamers het gras op gelijke hoogte geknipt (minimaal 5 en maximaal 10 cm). Windtunnels kunnen evt. in het veld geplaatst worden.
Variatie in meetlocaties	Afhankelijk van de te onderzoeken techniek kan het van belang zijn om de metingen uit te voeren met verschillende grondsoorten (zand, klei, veen) of met verschillende type graslanden (bijvoorbeeld: maaipercelen of percelen met zowel maaien als weiden).
Teststroken	Voor de start worden eventueel een aantal teststroken geprobeerd (o.a. dosering, sleuf).
Plotgrootte	Plotgrootte is gelijk aan gesimuleerde mesttoediening in fluxkamer/windtunnel.
Meetperioden	De metingen worden op verschillende tijdstippen gedurende het jaar uitgevoerd (dit kan buiten het bemesting seizoen zijn mits vergelijkbare omstandigheden als tijdens bemesting seizoen).
Aantal herhalingen in de tijd	De verwachting is minimaal 3 keer per jaar en gedurende 2 meetseizoenen. De mate van reductie met de nieuwe toedieningstechniek is echter van invloed op het aantal benodigde herhalingen (bij een grotere reductie zijn mogelijk minder herhalingen nodig). De gewenste betrouwbaarheid in de te verkrijgen emissiereductiefactor is eveneens van invloed op het aantal herhalingen.
Meetduur	Momenteel minimaal 10 dagen (vloeibare, behandelde en vaste mest). Metingen starten in de ochtend.
Meetfrequentie bepaling concentraties	Momenteel cumulatief 0-4 uur, 4-8, 8-24, 24-48, 48-72, 72-144, 144-192, 192-216, 216-240 uur na toediening.
Specifiek voor fluxkamer opzet	Per meetcyclus minimaal 3 herhalingen per object voor de: - referentie (nagebootste zodenbemester), - de te testen techniek of technieken. Twee fluxkamers met een blanco (geen mesttoediening, maar ook geen snede) lopen mee met de metingen om te corrigeren voor eventuele achtergrondeffecten.
Gegevensverzameling en -verwerking	
Mestsoort	Beschrijving van de gebruikte mestsoort.
Giftgrootte	Deze wordt uitgedrukt in kg of m ³ per ha. De mestgift wordt vastgesteld door: - weging voor en na toedienen en dosering op basis van bemestingsoppervlak binnen fluxkamer/windtunnel. De mestgift bedraagt 15-25 m ³ per ha voor drijfmest op grasland en 25-35 m ³ per ha op bouwland.
Mestsamenstelling	Een mestmonster (per (behandelde) mestsoort) wordt genomen uit een voorraademmer bij aanleg van de proef. De toe te dienen mest is van tevoren gemixt. De mest wordt geanalyseerd op drogestof, N _{tot} , NH ₄ -N en pH.
Gewasbeschrijving	De grond of de graszode wordt kwalitatief (of aan de hand van foto's) beschreven: dicht (bodem niet zichtbaar), halfopen (bodem is half zichtbaar), open graszode (bodem bijna volledig zichtbaar).
Grondbeschrijving	Het bodemtype wordt geclassificeerd (als klei, zand of veen). Algemene beschrijving van de bodemtoestand (dichtheid van de bodem, bodemvochtgehalte kwalitatief bepaald (droog, vochtig, nat).
Mesttoediening	Begin- en eindtijdstip van mesttoediening voor zowel de nieuwe toedieningstechniek als de referentie toedieningstechniek.

	Start- en eindsituatie worden vastgelegd met een foto per fluxkamer (foto's recht boven bemesting).
Verdeling mest	Een basisvereiste is homogeen verdelen van mest in de fluxkamer/windtunnel (foto's recht boven bemesting).
Registratie	Alle bemeste oppervlakken binnen fluxkamer/windtunnel worden gefotografeerd. Meteorologische gegevens (relatieve vochtigheid, temperatuur, straling, en liefst ook de neerslaghoeveelheid, bodemtemperatuur en voelbare warmteflux) worden verkregen van nabijgelegen weerstation. De grootte van de luchtflow door de fluxkamer/windtunnel wordt gecheckt voor en na iedere volledige meetcyclus.
Registratie schade en zichtbare verschillen in omstandigheden tussen nieuwe en referentietechniek	Eventuele zichtbare schade aan de zode wordt beschreven en op foto's vastgelegd. Ook als er zichtbaar een verschil is in de omstandigheden tussen de nieuwe en referentietechniek, wordt dit beschreven en op foto's vastgelegd. Ook eventuele positieve verschillen worden zoveel mogelijk op foto's vastgelegd.
Registratie bijzonderheden	Eventuele afwijkingen of veranderingen tijdens een meetcyclus worden vastgelegd.
Registratie mogelijke neveneffecten	Lijst met neveneffecten doornemen of dit wel of niet van toepassing zou kunnen zijn (signaleren).
Borging van de techniek	Hoe kan de techniek in de praktijk zo goed mogelijk geborgd worden (signaleren)?

2.5 Literatuur

2.5.1 *De IHF methode*

- Denmead, O. T. (1983). Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In: J. R. Freney & J. R. Simpson (Eds.), *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems* (Vol. 9, pp. 133-157). Dordrecht, The Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1662-8_5
- Goedhart, P. W., Mosquera, J. & Huijsmans, J. F. M., Apr 2020, Estimating ammonia emission after field application of manure by the integrated horizontal flux method: a comparison of concentration and wind speed profiles. In: *Soil Use and Management* 36, 2, p.338-350. <https://doi.org/10.1111/sum.12564>
- Harper, L.A., 2005. Ammonia: Measurement Issues. In: Hatfield, J.L., Baker, J.M. (eds.). *Micrometeorological Measurements in Agricultural Systems*. Agron. Monogr. 47. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA, pp. 345-379.
- Ryden, J. C., & McNeill, J. E. (1984). Application of the micrometeorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35, 1297-1310.
- Wilson, J. D., Thurtell, G. W., Kidd, G. E., & Beauchamp, E. G.(1982). Estimation of the rate of gaseous mass transfer from a surface source plot to the atmosphere. *Atmos. Environ.*, 16(8), 1861-1867. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(82\)90374-2](https://doi.org/10.1016/0004-6981(82)90374-2)

2.5.2 *De bLS methode*

- Flesch TK, Wilson JD, & Yee E (1995). Backward-time Lagrangian stochastic dispersion models and their application to estimate gaseous emissions. *J. Appl. Meteorol.*, 34(6), 1320- 1332. [https://doi.org/10.1175/15200450\(1995\)034<1320:BTLSDM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200450(1995)034<1320:BTLSDM>2.0.CO;2)
- Flesch TK, Wilson JD, Harper LA, Crenna BP & Sharpe RR.(2004). Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: A field trial. *J. Appl. Meteorol.*, 43(3), 487-502. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043%3C0487:DGEFOT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043%3C0487:DGEFOT%3E2.0.CO;2)
- Häni C, Sintermann J, Kupper T, Jocher M, & Neftel A (2016). Ammonia emission after slurry application to grassland in Switzerland. *Atmos. Environ.*, 125(part A), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.069>
- Herrero E, Sanz-Cobena A, Guido V, ´ Guill ´ M, Dauden A, Rodríguez R, Provolo G & Quílez D (2021). Towards robust on-site ammonia emission measuring techniques based on inverse dispersion modeling *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 307, 108517
- Kure JL, Krabben J, Pedersen SV, Carozzi M & Sommer SG (2018). An Assessment of Low-Cost Techniques to Measure Ammonia Emission from Multi-Plots: A Case Study with Urea Fertilization. *Agronomy* 2018, 8, 245; <https://doi.org/10.3390/agronomy8110245>
- Pedersen VS, Scotto di Perta E, Hafner S, Pacholski AS & Sommer SG. (2018). Evaluation of a simple, small-plot meteorological technique for measurement of ammonia emission: Feasibility, costs, and recommendations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers. Transactions*, 61(1), 103-115. <https://doi.org/10.13031/trans.12445>
- Tang YS, Cape JN & Sutton MA (2001). Development and types of passive samplers for monitoring atmospheric NO₂ and NH₃ concentrations. *Sci. World J.* 2001, 1, 513-529.
- Twigg MM, Berkhout AJC , Cowan N, Crunaire S, Dammers E, Ebert V, Gaudion V, Haaima M, Häni C, John L, Jones MR, Kamps B, Kentisbeer J, Kupper T, Leeson SR, Leuenberger D, Lüttschwager NOB, Makkonen U, Martin NA, Missler D, Mounsor D, Neftel A, Nelson C, Nemitz E, Oudwater R, Pascale C, Petit J, Pogany J, Redon N, Sintermann J, Stephens A, Sutton MA, Tang YS, Zijlmans R, Braban CF, & Niederhauser B (2022). Intercomparison of in situ measurements of ambient NH₃: instrument performance and application under field conditions. *Atmos. Meas. Tech.*, 15, 6755-6787,

2.5.3 *Tunnels*

- Scotto di Perta, E., Fiorentino, N., Carozzi, M., Cervelli, E. & Pindozi, S. (2000). A Review of Chamber and Micrometeorological Methods to Quantify NH₃ Emissions from Fertilisers Field Application. *International Journal of Agronomy* Volume 2020, Article ID 8909784, 16 pages <https://doi.org/10.1155/2020/8909784>

2.6 Flux chamber

De Ruijter, F. J., Huijsmans, J. F. M. & Rutgers, B. (2010). Ammonia volatilization from crop residues and frozen green manure crops. In: Atmospheric Environment. 44, 28, p. 3362-3368.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.019>

2.7 Vergelijkende studie

Kamp, J. N., Hafner, S. D., Huijsmans, J., van Boheemen, K., Götze, H., Pacholski, A. & Pedersen, J. (2024). Comparison of two micrometeorological and three enclosure methods for measuring ammonia emission after slurry application in two field experiments. Agricultural and Forest Meteorology. 354, 110077.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110077>

Bijlage F Werkwijze Nevenaspecten

Opsteller: werkgroep Nevenaspecten

1. Onderzoeksopzet & methode

Het onderzoek naar de nevenaspecten van innovaties die ammoniakemissie verminderen maakt deel uit van de samenwerking binnen 'Bemest op z'n Best'. Het doel van dit onderzoek is niet alleen te kijken naar de effectiviteit van de innovaties in het reduceren van ammoniakemissie, maar ook naar de mogelijke nevenaspecten die deze innovaties met zich mee kunnen brengen.

2. Onderzoeksdoel en -context

De innovaties die worden onderzocht, zijn aangemeld. De taak van dit onderzoeksteam is om de innovaties in onderzoek te evalueren op nevenaspecten, naast de primaire reductie van ammoniakemissie. Binnen het project is een lijst met nevenaspecten meegegeven die onderzocht moeten worden. Deze lijst vormt de basis van het onderzoek, en voor elk nevenaspect wordt specifiek gekeken naar de mogelijke impact van de innovaties. De onderzochte nevenaspecten zijn:

- Stikstofwerking
- Koolstofvastlegging
- Bodemverdichting
- Schade aan zode
- Bodemleven
- Broedende vogels
- Fosfaat uit- en afspoeling
- Nitraat uitspoeling
- Stikstof afspoeling
- Stank en of geur
- Lachgas emissie
- Methaan emissie
- Energieverbruik
- Kostprijs
- Waterverbruik
- Aanvoer van (extra) nutriënten of hulpstoffen

3. Expertise en referentiekader

Om de nevenaspecten goed te kunnen beoordelen, is er voor elk nevenaspect geprobeerd een expert te vinden die wetenschappelijk onderlegd is in het betreffende vakgebied. De experts hebben waardevolle inzichten geleverd die helpen bij het beter begrijpen van de aspecten van de innovaties in de praktijk. Daarnaast is er een referentie opgesteld op basis van bestaande bemestingstechnieken, namelijk zodenbemesten en sleepvoet/sleufkouter. Deze referentie wordt gebruikt als vergelijking om de prestaties van de nieuwe innovaties te kunnen beoordelen. Het doel van deze referentie is om een solide basis te creëren, zodat de nevenaspecten van de innovaties objectief kunnen worden vergeleken met de gangbare technieken.

4. Scoring en evaluatie van innovaties

Na het opstellen van de referentie is het onderzoek verder gegaan met het scoren van de innovaties op basis van hun nevenaspecten ten opzichte van de referentie. Aangezien het moeilijk bleek om de aspecten kwantitatief te meten, is er gekozen voor een kwalitatief scoresysteem waarbij de aspecten worden geclassificeerd met een schaal van -- (negatief aspect) tot ++ (positief aspect). De score 0 betekent een

neutraal aspect, terwijl + en - respectievelijk een licht positief of licht negatief aspect aangeven ten opzichte van de referentie.

De nevenaspecten zijn geanalyseerd aan de hand van verschillende indicatoren, die per nevenaspect zijn vastgesteld. Dit houdt in dat eerst duidelijk gedefinieerd is wat er gemeten wordt, vervolgens is gekeken naar hoe een aspect kan optreden, en tenslotte is het verwachte effect beschreven. Dit resulteerde in een overzichtelijke tabel, waarin voor elk nevenaspect de score wordt aangegeven, inclusief toelichting op de verwachte impact.

5. Stikstofeffecten en berekeningen

Voor de nevenaspecten met betrekking tot stikstof zijn aanvullende stikstofberekeningen uitgevoerd met behulp van het WOGWOD model (Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen – Werkgroep Onderbouwing Derogatie). Deze berekeningen zijn van belang om te begrijpen wat er gebeurt met de stikstof als de ammoniakemissie wordt verminderd. Er is specifiek gekeken naar de verdeling van stikstof tussen de stikstofopname, lachgasuitstoot, en uitspoeling. Deze berekeningen geven inzicht in de bredere impact van de innovaties op de stikstofkringloop in de landbouw, wat belangrijk is voor de totale milieu-impact van de technologieën.

6. Conclusie en volgende stappen

De analyse van de innovaties in termen van nevenaspecten en stikstofberekeningen biedt waardevolle inzichten voor de implementatie van ammoniakemissie-reducerende technieken in de praktijk. Het gebruik van een gestructureerd scoresysteem en het vergelijken van de innovaties met bestaande referentietechnieken maakt het mogelijk om de effectiviteit van de innovaties niet alleen op ammoniakemissie, maar ook op bredere milieu-impact te beoordelen.

Bijlage G1 Overzicht activiteiten werkgroep demo en praktijk

Opsteller: werkgroep Demo en Praktijk

De 'Bemest op z'n Best' werkgroep 'Demo en praktijk' zette zich in voor het op praktisch wijze onder de aandacht brengen van vermindering van de ammoniakemissie bij mesttoediening. Bij de daarvoor ontwikkelde activiteiten besteedde de werkgroep aandacht aan de volgende thema's:

- A. Mesttoedieningstechniek
Welke bemestingstechniek is toegestaan en geschikt bij welke grondsoort, mesttype of de (weers-) omstandigheden?
- B. Risico's van niet-optimale mesttoediening
Wat zijn risico's bij mesttoediening en hoe kun je deze risico's verlagen?
- C. Financiële voordelen optimale mesttoediening
Betaalt een optimale bemesting zich uit voor de boer en voor de loonwerker?
- D. Mesttoediening in de praktijk: hoe voer je het goed uit?
Waar let je in de praktijk op bij het uitrijden van mest? Hoe stel je de juiste sleufdiepte in bij wisselende veldomstandigheden? Wat zijn de afstel mogelijkheden van verschillende bemesting machines? Welke problemen kom je in de praktijk tegen?
- E. Optimaal verdelen en doseren van mest op grasland
- F. Voorkomen van stikstofverliezen
Wat zijn de verschillen in ammoniakemissie tussen bemestingstechnieken?
- G. Wettelijke voorschriften
Wat mag op welke grondsoort? Waarom zijn de regels er? Praktische knelpunten van voorschriften.
- H. Juiste machineafstelling in de praktijk
Instructie van machineleveranciers over de juiste afstelling van bemestingsmachines. Oefenen met het aanpassen van de instellingen en vergelijken van het werkresultaat in de praktijk.

Producten

De volgende vrij beschikbare kennisproducten zijn ontwikkeld en verstrekt aan de doelgroepen om beter inzicht te krijgen in de mogelijkheden voor het verminderen van ammoniakemissie bij mesttoediening:

- 1. De goed/fout kaart
Dit zijn overzichtskaarten die beschrijven en via foto's in beeld brengen hoe netjes werken eruit ziet en gerealiseerd kan worden voor gras- en bouwland op zand-, klei- en veengrond.
- 2. APK scorekaarten
Dit zijn scorekaarten voor beoordeling van het werkresultaat van mesttoediening op grasland op het moment van mesttoediening en twee weken na toepassing. De Veld-APK mesttoediening op bouwland is een overzichtskaart voor zand- en kleigrond die inzicht geeft op de juiste wijze van mesttoediening op bouwland.
- 3. De Checklist 'Beter Bemesten' met de subtitel 'Vooraf bespreken scheelt later gebreken'.
Dit is een gesprekskaart die veehouder/akkerbouwer kunnen gebruiken tijdens het gesprek met de loonwerker over de uitvoering van de mesting. Afspraken kunnen op de kaart genoteerd worden.
- 4. Keuzematrix bemestingstechniek
Er zijn keuzematrixen gemaakt die inzicht geven in welke beschikbare techniek in welke situatie het beste werk geeft. Drie voor grondsoorten zand, klei en veen en grasland en twee voor de grondsoorten zand en klei bij bouwland.
- 5. Diverse visuele producten zoals PowerPoint presentaties, foto- en filmmateriaal.
- 6. Een special (magazine) over "Mestbenutting".

Optimaal bemesten op klei- of veengrond doe je zo!

Een zorgvuldige bemesting van het grasland zorgt voor een betere stikstofbenutting en daardoor een hogere, kwalitatief betere gewas-opbrengst. Goede drijfmesttoediening leidt bovendien tot lagere kunstmestkosten en minder ammoniakemissie. Maar wat is goed en hoe moet het niet? Deze beoordelingskaart biedt handvatten.

Op de achterzijde vind je een toelichting.



1. Houd de mest in de sleufjes, maar zorg dat de sleuven voldoende gevuld zijn.



Mest stroomt over sleuf

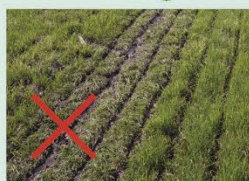


Sleuf staat droog



Netjes bemest

2. Houd het gras schoon.



Gras besmeurd met mest



Na 1 week: mest is met gras meegegroeid

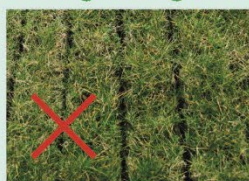


Na 1 week: gras onder mest is dood



Schoon gras

3. Zorg voor gladde sleufranden.



Rafelige sleufranden



Gladde sleufranden



Kijk voor grotere foto's op de site

4. Voorkom overlap



Overlap op de geer



Overlap van rijbanen



Geen overlap

Goed/fout kaart voor optimaal bemesten op klei- of veengrond.

1. Voorafgaand aan bemesting

Beoordeel het perceel en de mest. Bekijk de dichtheid van de zode. Rij iets rustiger bij een 'open' zode. Een te nat of te droog perceel geeft meer kans op rijschade en rafelige sleuven. Bij natte klei- en veengrond is het risico van opentrekende sleufjes groter. Techniek met beperkte snijwerking in de zode is dan vaak beter. Hou rekening

met bufferstroken. Meng de mest homogeen en verdun de mest eventueel met water. Bepaal de mestdosering aan de hand van wettelijke voorschriften en omstandigheden en stel de diepte van de sleuven daarop af. Gebruik mestanalyses als deze voorhanden zijn.



2. Tijdens bemesting

Op klei- en veengrond mag je de mest op of in de grond aanbrengen. De strookjes zijn maximaal 5 cm breed en liggen minimaal 15 cm uit elkaar. Gebruik daarvoor een sleepvoetmachine, sleufkouterbemester of een zodenbemester. Een nadeel bij de sleufkouter en zodenbemester is soms het open blijven staan en het uitdrogen van de sleuven. Bij ondiep werken en (verdunde) mest buiten de sleufjes, kan besmeuring van het gras met mest een nadeel zijn. Hoe kleiner het contactoppervlak van de mest met de lucht, hoe minder stikstof in de vorm van ammoniak eruit vervliegt. Zo komt er meer voedingsstoffen goede aan het gras. Bij voldoende verdunning trekt de mest, en dus stikstof, sneller in de grond met eenzelfde effect.



- Kies voor een werkdiepte die past bij de mesthoeveelheid: diep genoeg, zodat de mest er niet over de sleuf stroomt. Maar niet té diep, want dan wordt de bodem onnodig diep doorsneden.

- Verdun de mest met water als de mest niet in de sleufjes past; minimaal 1 deel water op 2 delen mest volgens de technische voorschriften.
- Stel de druk, de mestgift en de stand van de kouter af op de omstandigheden. Bij droog weer blijven sleuven langer open staan. Hoe rechter de stand van de kouter, hoe smaller de sleuf en hoe minder ammoniak er uit de mest vervliegt.
- Zorg dat de sleuven van de buitenste rijen en in de rijsporen diep genoeg zijn. Geavanceerde bemesters volgen per twee elementen de bodem.
- Breng de mest dicht bij de grond aan en rij rustig, zodat de mest niet opspat tegen het gras. Mest die over de sleufjes stroomt of aan het gras blijft kleven, groeit mee naar boven of verstikt het gras. Weidekoeien nemen minder gras op met een lagere melkgift als gevolg. Een graskuil met mestresten is lastiger te conserveren en de koeien laten het besmeurde gras liggen.
- Bij gladde sleufvanden blijft er minder mest aan de rand hangen en is er minder contact met de lucht. Scherpe, goed afgestelde kouters zijn een must.
- Werk bij voorkeur met sectieafsluiting en GPS om overlap op de geer, de kopakker of van de rijbanen te voorkomen. Let op een goede aansluiting van de banen.

3. Werkresultaat na een week

Beoordeel een week na bemesting het resultaat. Is de mest goed aangebracht of is er ruimte voor verbetering? Netjes werken levert **drie- tot vierhonderd kilo extra drogestofopbrengst per hectare grasland op**. Met een ruwvoerprijs van twintig cent per kg drogestof

is dat zestig tot tachtig euro per hectare. Dit vertegenwoordigt een waarde van 1,09 tot 1,45 euro per kuub mest.

Kwaliteit gaat boven kwantiteit!



Over Bemest op z'n Best Innovatieprogramma Bemest op z'n Best richt zich op het halveren van de ammoniakemissie bij de toediening van mest in de landbouw. De focus ligt op (technische) innovaties en het verbeteren van de werkwijze bij toediening van mest. Ideeën daarvoor halen we op uit de praktijk, toetsen

we samen met de belanghebbenden en tonen we tijdens demo's in het veld.

Wil je een demo bijwonen? Dat kan!

Kijk op www.bemestopznbest.nl voor meer info en agenda. Doe je mee?

Toelichting op 'Goed/fout kaart' voor optimaal bemesten op klei- of veengrond.

Optimaal bemesten op zandgrond doe je zo!

Een zorgvuldige bemesting van het grasland zorgt voor een betere stikstofbenutting en daardoor een hogere, kwalitatief betere gewas-opbrengst. Goede drijfmesttoediening leidt bovendien tot lagere kunstmestkosten en minder ammoniakemissie. Maar wat is goed en hoe moet het niet? Deze beoordelingskaart biedt handvatten.

Op de achterzijde vind je een toelichting.



1. Houd de mest in de sleufjes, maar zorg dat de sleuven voldoende gevuld zijn.



Mest stroomt over sleuf



Sleuf staat droog



Netjes bemest

2. Houd het gras schoon.



Gras besmeurd met mest



Na 1 week: mest is met gras meegegroeid

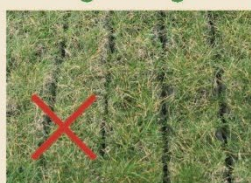


Na 1 week: gras onder mest is dood



Schoon gras

3. Zorg voor gladde sleufranden.



Rafelige sleufranden



Gladde sleufranden



Kijk voor grotere foto's op de site

4. Voorkom overlap



Overlap van rijbanen



Overlap op de geer



Geen overlap

Goed/fout kaart voor optimaal bemesten op zandgrond.

1. Voorafgaand aan bemesting

Beoordeel het perceel en de mest. Bekijk de dichtheid van de zode. Rij iets rustiger bij een 'open' zode. Een te nat of te droog perceel geeft meer kans op rijtschade en rafelige sleuven. Hou rekening met bufferstroken. Meng de mest homogeen en verdun (te) dikke mest eventu-

eel met water (1:2). Bepaal de mestdosering aan de hand van wettelijke voorschriften en omstandigheden en stel de diepte van de sleuven daarop af. Gebruik de mestanalyses als deze voorhanden zijn.



2. Tijdens bemesting

Op zand- en lössgrond ben je verplicht de mest in de grond te brengen met een zodenbemester. Hoe kleiner het contactoppervlak van de mest met de lucht, hoe minder stikstof in de vorm van ammoniak eruit vervliegt. Zo komt er meer voedingsstof ten goede aan het gras.



- Kies voor een werkdiepte die past bij de mesthoeveelheid: diep genoeg, zodat de mest er niet over de sleuf stroomt. Maar niet té diep, want dan wordt de bodem onnodig diep doorsneden.
- Stel de druk, de mestgift en de stand van de kouter af op de omstandigheden. Bij droog weer blijven sleuven langer open staan. Hoe rechter de stand van de kouter, hoe smaller de sleuf en hoe minder ammoniak er uit de mest vervliegt.

- Zorg dat de sleuven van de buitenste rijen en in de rijsporen diep genoeg zijn. Geavanceerde bemesters volgen per twee elementen de bodem.
- Breng de mest dicht bij de grond aan en rij rustig, zodat de mest niet opspat tegen het gras. Mest die over de sleufjes stroomt of aan het gras blijft kleven, groeit mee naar boven of verstikt het gras. Weidekoeien nemen minder gras op met een lagere melkgift als gevolg. Een graskuil met mestresten is lastiger te conserveren en de koeien laten het besmeurde gras liggen.
- Bij gladde sleufranden blijft er minder mest aan de rand hangen en is er minder contact met de lucht. Scherpe, goed afgestelde kouters zijn een must.
- Werk bij voorkeur met sectieafsluiting en GPS om overlap op de geer, de kopakker of van de rijbanen te voorkomen. Let op een goede aansluiting van de banen.

3. Werkresultaat na een week

Beoordeel een week na bemesting het resultaat. Is de mest goed aangebracht of is er ruimte voor verbetering? Netjes werken levert **drie- tot vierhonderd kilo extra drogestofopbrengst per hectare grasland op**. Met een ruwvoerprijs van twintig cent per kg drogestof is dat

zestig tot tachtig euro per hectare. Dit vertegenwoordigt een waarde van 1,09 tot 1,45 euro per kuub mest.

Kwaliteit gaat boven kwantiteit!



Over Bemest op z'n Best Innovatieprogramma Bemest op z'n Best richt zich op het halveren van de ammoniakemissie bij de toediening van mest in de landbouw. De focus ligt op (technische) innovaties en het verbeteren van de werkwijze bij toediening van mest. Ideeën daarvoor halen we op uit de praktijk, toetsen

we samen met de belanghebbenden en tonen we tijdens demo's in het veld.

Wil je een demo bijwonen? Dat kan!

Kijk op www.bemestopznbest.nl voor meer info en agenda. Doe je mee?



Toelichting op 'Goed/fout kaart' voor optimaal bemesten op zandgrond.



Veld-APK graslandbemesting

	Aandachtspunt	+	+/-	-	Opmerking
graszode	1 Zijn er veel open en/of veronkruide plekken?	nee	matig	ja	
	2 Is de graszode gelijkmatig ontwikkeld?	ja	matig	nee	
	3 Is de zode beschadigd door het bemesten?	nee	matig	ja	
meststroken	4 Zijn de sleufranden rafelig? ¹⁾	nee	beetje	ja	
	5 Hoe breed zijn de sleuven? ¹⁾ Hoe breed zijn de meststrookjes? ²⁾	<3 cm	3-5 cm	>5 cm	
	6 Blijft de mest in de sleuf? ¹⁾ Blijft de meststrook gelijkmatig zonder uitloop? ²⁾	ja	matig	nee	
	7 Zijn alle sleuven even diep? ¹⁾ Zijn alle meststrookjes even breed? ²⁾	ja	matig	nee	
	8 Hebben alle sleuven evenveel mest? ¹⁾ Hebben alle meststrookjes evenveel mest? ²⁾	ja	matig	nee	
	9 Dekken delen van de meststroken het gras af?	nee	beetje	ja	
	10 Ligt de mest grotendeels bovenop het gras?	nee	beetje	ja	
	11 Zit er overlap van mestsleuven/stroken op de kopakker of bij perceel met geer?	nee	beetje	ja	
	12 Is de mestaanvoer op het kopeind op het juiste moment ingezet?	ja	matig	nee	
	13 Sluiten de werkgangen goed op elkaar aan?	ja	matig	nee	
verdeling mest op het land	14 Sleept sleepslang onnodig door het uitgereden mest?	nee	beetje	ja	
	15 Is er bij het overpompen veel mest gemorst?	nee	beetje	ja	
weer	16 Is het windstil en bewolkt tijdens bemesting?	ja	beetje	nee	
overig	17 Zijn er rijsporen zichtbaar?	nee	beetje	ja	

1) Bij sleufrouter- of zodenbemester 2) Bij sleepvoetbemester

Veld-APK graslandbemesting op klei- of veengrond.



klei/veengrond tijdens bemesting



Probleem	Oplossing
Verrommeling van de zode door insnijden met mest die niet wordt benut.	Overweeg herinzaai of doorzaai.
Sleufkouter of sleepvoet 'hobbelt' over graspollen. Bij sleepvoetbemesting ligt mest niet netjes op de bodem.	Bloten voorafgaand aan bemesting en evt. rijsnelheid verlagen. Zet meer druk op de kouters, waarbij sleufdiepte gelijkblijft.
Afgesleten kouters snijden de zode niet goed door en nemen plaggen mee. Bij onsamenvangende of losliggende zode is er risico dat sleufranden mee omhoog komen.	Zorg voor scherpe kouters of kies voor andere machine (-afstelling). Verbetering of vernieuwing grasmat overwegen.
Niet goed werkende of verkeerd afgestelde kouters snijden de bodem niet goed in. Zo ontstaan rafelige randen.	Zorg voor scherpe kouters en een juiste machinafstelling, verhoog eventueel de druk op de kouters.
Hoe smaller het sleufje hoe beter. Een smalle sleuf betekent minder luchtcontact en minder NH ₃ -emissie.	Zorg voor een juiste diepteafstelling en de juiste rijsnelheid.
Te veel mest toegediend i.c.m. met het volume van de sleuf. Gevolg: meer emissie, meer geur en minder schoon gras.	Verhoog de druk op het kouter of verlaag mestvolume en pas rijsnelheid aan. Hou de uitloopmond vlak boven de zode.
De druk op schijven of kouters is ongelijk. In de rijsporen zijn de sleuven vaak ondieper. Bij sleepvoeten is het gras vaak platgereden en stroomt de mest breder uit.	Betere (afstelling van) mestmachine die alle uitlooppunten evenveel druk geeft. In rijsporen eventueel extra druk op elementen zetten.
Uitlooppunten zijn verstopt, verdeling naar de uitlooppunten is ongelijk of de slang tussen verdeler en elementen hangt door.	Testen met (sloot)water, ontstoppen uitlooppunten of aanpassen van verdeler. Vervang één grote horizontale verdeler door een of twee verticale verdelers.
Het gras onder de meststrookjes gaat dood, de mest ligt te hoog en heeft veel contact met lucht. Dit speelt bij sleufkouter en sleepvoet.	Verhoog de druk op sleepvoet, zodat deze direct over de bodem loopt en het gras goed aan de kant duwt. Stem uitloop sleufkouter beter af op snijkouterdiepte. Verdun de mest en zorg voor goede homogeniteit.
De mest groeit met het gras mee omhoog en heeft veel contact met lucht. Dit speelt bij sleufkouter en sleepvoet.	Vervang de kouters door beter snijdende exemplaren, geef meer druk op de kouters of gebruik een ander soort bemester.
Bij overlap wordt de insnijding rommelig en wordt mest uit de sleuf geduwd.	Voorkom overlap door betere instelling van GPS. Geef bij overlap geen mest in de eerste werkgang, maar in de tweede of laatste werkgang.
Bij te veel druk spat de mest eruit, met te hoge mestdosering op de kopakker als gevolg. De mest loopt uit de sleuven.	Zorg voor voldoende rijsnelheid tijdens het inzetten van de kouters en doseren van de mest. Eerst rijden, dan doseren.
Als de aansluiting niet goed is worden delen van het land onbedoeld niet bemest. Dat kan grasopbrengst kosten.	Werk met GPS of verbeter de navigatie. Controleer en verbeter zonodig de GPS-instelling.
Met mest besmeurd gras groeit slechter of sterft af, heeft zomers meer risico op verbranding, geeft broei in de kuil en wordt niet gevreten door het vee.	Bemest in een korte stoppel, of wacht tot er voldoende gras staat. Verdun de mest met meer water, zodat deze strak op de grond ligt.
Gemorste mest wordt slecht benut en heeft veel contact met lucht. Dit geeft meer NH ₃ -emissie.	Werk nauwkeurig bij aan- en afsluiten slangen en bij vullen van container of mesttank.
Winderig, droog en zonnig weer zorgt voor meer ongewenste NH ₃ -emissie.	Kies gunstiger moment van de dag, maar wacht max. een aantal dagen tot een week. Of verdun mest met meer water.
Bij veel en diepe rijsporen loopt mest uit de sleufjes. Dit verhoogt NH ₃ -emissie en veroorzaakt besmeuring van gras.	Check vooraf of de bodem voldoende draagkracht heeft voor berijding. Pas de banden(-spanning) aan.

Toelichting op 'Veld-APK graslandbemesting' op klei- of veengrond.



Veld-APK graslandbemesting

	Aandachtspunt	+	+/-	-	Opmerking
graszode	1 Zijn er veel open en/of veronkruide plekken?	nee	matig	ja	
	2 Is de graszode gelijkmatig ontwikkeld?	ja	matig	nee	
	3 Is de zode beschadigd door het bemesten?	nee	matig	ja	
meststroken	4 Zijn de sleufranzen rafelig?	nee	beetje	ja	
	5 Hoe breed zijn de sleuven?	< 3 cm	3- 5 cm	> 5 cm	
	6 Blijft de mest in de sleuf?	ja	matig	nee	
	7 Zijn alle sleuven even diep?	ja	matig	nee	
	8 Hebben alle sleuven evenveel mest?	ja	matig	nee	
	9 Dekken delen van de meststroken het gras af?	nee	beetje	ja	
	10 Ligt de mest grotendeels bovenop het gras?	nee	beetje	ja	
	11 Zit er overlap van mestsleuven op de kopakker of bij perceel met geer?	nee	beetje	ja	
	12 Is de mestaanvoer op het kopeind op het juiste moment ingezet?	ja	matig	nee	
	13 Sluiten de werkgangen goed op elkaar aan?	ja	matig	nee	
verdeling mest op het land	14 Slepen sleepslangen onnodig door het uitgereden mest?	nee	beetje	ja	
	15 Is er bij het overpompen veel mest gemorst?	nee	beetje	ja	
weer	16 Is het windstil en bewolkt tijdens bemesting?	ja	beetje	nee	
overig	17 Zijn er rijsporen zichtbaar?	nee	beetje	ja	

Veld-APK graslandbemesting op zandgrond.



zandgrond tijdens bemesting



Probleem	Oplossing
Verrommeling van de zode door insnijden met mest die niet wordt benut.	Overweeg herinzaai of doorzaai.
De kouters hobbelen over het gras, waarbij sleufdiepte kan variëren. Bij zodenbemesting zijn er rafelige randen met plukken afgesneden gras.	Bloten voorafgaand aan bemesting en evt. rijsnelheid verlagen. Zet meer druk op de kouters, waarbij sleufdiepte gelijkblijft.
Afgesleten kouters snijden de zode niet goed door en nemen plaggen mee. Bij onsamenvangende of losliggende zode is er risico dat sleufranden mee omhoog komen.	Zorg voor scherpe kouters of kies voor andere machine (-afstelling). Verbetering of vernieuwing grasmatt overwegen.
Niet goed werkende of verkeerd afgestelde kouters snijden de bodem niet goed in. Zo ontstaan rafelige randen.	Zorg voor scherpe kouters en een juiste machineafstelling, verhoog eventueel de druk op de kouters.
Hoe smaller het sleufje hoe beter. Een smalle sleuf betekent minder luchtcontact en minder NH ₃ -emissie.	Zorg voor een juiste diepteafstelling en de juiste rijsnelheid.
Te veel mest toegediend i.c.m. met het volume van de sleuf. Gevolg: meer emissie, meer geur en minder schoon gras.	Verhoog de druk op het kouter of verlaag mestvolume en pas rijsnelheid aan. Hou de uitloopmond vlak boven de zode.
De druk op schijven of kouters is ongelijk. In de rijsporen zijn de sleuven vaak ondieper.	Betere (afstelling van) mestmachine die alle uitlooppunten evenveel druk geeft. In rijsporen eventueel extra druk op elementen zetten.
Uitlooppunten zijn verstopt, verdeling naar de uitlooppunten is ongelijk of de slang tussen verdeler en elementen hangt door.	Testen met (sloot)water, ontstoppen uitlooppunten of aanpassen van verdeler. Vervang één grote horizontale verdeler door een of twee verticale verdelers.
Het gras onder de meststrookjes gaat dood, de mest ligt te hoog en heeft veel contact met lucht.	Verdun de mest en zorg voor goede homogeniteit. Zorg dat de mest in de sleuven past.
De mest groeit met het gras mee omhoog en heeft veel contact met lucht. Dit verhoogt de NH ₃ -emissie.	Vervang de kouters door beter snijdende exemplaren, geef meer druk op de kouters of gebruik een ander soort bemester.
Bij overlap wordt de insnijding rommelig en wordt mest uit de sleuf geduwd.	Voorkom overlap door betere instelling van GPS. Geef bij overlap geen mest in de eerste werkgang, maar in de tweede of laatste werkgang.
Bij te veel druk spat de mest eruit, met te hoge mestdosering op de kopakker als gevolg. De mest loopt uit de sleuven.	Zorg voor voldoende rijsnelheid tijdens het inzetten van de kouters en doseren van de mest. Eerst rijden, dan doseren.
Als de aansluiting niet goed is worden delen van het land onbedoeld niet bemest. Dat kan grasopbrengst kosten.	Werk met GPS of verbeter de navigatie. Controleer en verbeter zonodig de GPS-instelling.
Met mest besmeurd gras groeit slechter of sterft af, heeft zomers meer risico op verbranding, geeft broel in de kuil en wordt niet gevreten door het vee.	Pas een andere route toe om besmeuring van gras te voorkomen.
Gemorste mest wordt slecht benut en heeft veel contact met lucht. Dit geeft meer NH ₃ -emissie.	Werk nauwkeurig bij aan- en afsluiten slangen en bij vullen van container of mesttank.
Winderig, droog en zonnig weer zorgt voor meer ongewenste NH ₃ -emissie.	Kies gunstiger moment van de dag, maar wacht max. een aantal dagen tot een week. Of verdun mest met meer water.
Bij veel en diepe rijsporen loopt mest uit de sleufjes. Dit verhoogt NH ₃ -emissie en veroorzaakt besmeuring van gras.	Check vooraf of de bodem voldoende draagkracht heeft voor berijding. Pas de banden(-spanning) aan.

Toelichting op 'Veld-APK graslandbemesting' op zandgrond.



Checklist Beter Bemesten

Goed bemesten zorgt voor optimale benutting van mineralen en voor goed voer, maar ook voor het voorkomen van onnodige stikstofverliezen. Het beste resultaat ontstaat als de boer en de loonwerker duidelijke afspraken maken. In deze checklist vind je bespreekpunten die kunnen helpen om het maximale uit de mest te halen. Vul hem samen in en haal het beste uit je mest.

Contactgegevens

Melkveebedrijf

Naam

Mobiel

E-mail

Loonwerkbedrijf

Naam

Mobiel

E-mail

Bereikbaarheid percelen

Is er een plattegrond met perceelnummers en gewassen?

Zijn de aanrijroutes naar de percelen bekend?

Is de afrastering bij percelen verwijderd?

Mest en mestopslag

Welke mestsoort zit in welke opslag?

Opslag 1

Opslag 2

Opslag 3

Waar bevinden de mestopslagen zich?

Is de mest voldoende gemixt?

Is er een mestmonster beschikbaar?

Is er een werklijst met m³ per perceel per uitrijmoment?



Mestmachine

Welk type bemestingsmachine wordt gebruikt en wat is de werkbreedte?

Is de machine technisch gecontroleerd en goed afgesteld?

Wat is het gewicht van een volle mesttank en kan de bodem de machine op alle percelen dragen?

Perceel en bodem

Wat te doen bij bijzonderheden in het veld?

Wat als het perceel te nat is?

Wat als het perceel te hard/droog is?

Zijn er percelen met bijzonderheden?



Checklist Beter Bemesten (2).

Bemesting*

Wat verstaan we onder een goede uitvoering van bemesting?

Beoordelen we bij de start van de bemesting samen de eerste strook werkresultaat om te zien of deze naar wens is?

Wordt er gewerkt met GPS en sectieafsluiting?

Hoe voorkomen we overlap op de kopakker?

Is de diepte per element geregeld?

Wordt de bandendruk in het veld verlaagd?

Wordt de rijsnelheid afgestemd op goed werkresultaat?

*Zie goed/fout kaart Graslandbemesting van Bemest op z'n Best

Algemene tips

- Nauwkeurig/netjes werken
- Gebruik dunne/verdunde mest
- Bemest bij voorkeur bij vochtig, windstil en koel weer
- Alle mest netjes in de sleufjes
- Gladde sleufranden
- Gras niet besmeuren
- Uitrijden in gras dat na weiden/maaien weer in de groei is
- Geen overlap van werkgangen of in geren (sectiesluiting van de kouters)
- Techniek afstemmen op samenstelling mest
- Afdekken van de sleufjes



Doe je mee?

www.bemestopznbest.nl

Checklist Beter Bemesten (3).



Algemene communicatiemiddelen en producten (1).

Bijlage G2 Communicatie

Opsteller: werkgroep Communicatie

Het merk

Bij de start van het programma is het merk 'Bemest op z'n Best' ontwikkeld. Dit merk bestaat uit een merkmisatie, merkvisie, merknaam, huisstijl, merkwaarden en de merkbeloofte.

Merkvisie

Voor een betere balans tussen boer, burger en natuur is een substantiële verlaging van de ammoniakemissie nodig. Deze verlaging kan en moet gerealiseerd worden door (technische) innovaties die komen vanuit de sector. Voorwaarde voor succes is dat de innovaties effectief en praktisch toepasbaar zijn zodat ondernemers ze daadwerkelijk gebruiken en de emissiedoelen bereikt worden.

Merkmissie

Dit programma heeft als ultiem doel een halvering van de ammoniakemissie bij mesttoediening ten opzichte van de emissie bij zorgvuldige en juiste toepassing van de zodenbemester of de sleufkouter. Hiervoor werken we in co-creatie met de sector. We halen ideeën op die we toetsen en gezamenlijk verder brengen. Er is een breed draagvlak nodig voor implementatie van de innovaties om tot daadwerkelijke reductie te komen.

Merknaam

Als naam is gekozen voor 'Bemest op z'n Best', een compacte naam die opvalt, makkelijk te onthouden is en allitereert. Deze naam geeft goed weer waar het programma over gaat.

Merkwaarden

- Transparantie
- Onafhankelijkheid
- Optimisme
- Verbinding
- Verantwoordelijkheid

Merkbeloofte

'Bemest op z'n Best' faciliteert en stimuleert relevante spelers in de agrarische sector om actief bij te dragen aan het reduceren van de ammoniakemissie bij de toediening van mest om zo de sector duurzamer en toekomstbestendiger te maken.

De boodschap

In de beginfase was het de bedoeling om bekendheid te geven aan het programma en om de markt te stimuleren om ideeën in te dienen. Dit gebeurde door communicatie via diverse kanalen zoals de site www.bemestopznbest.nl, LinkedIn en Facebook, een nieuwsbrief, folders en flyers, een magazine en via de kanalen van partners als Cumela en Fedecom.

Gedurende het programma kwam steeds meer nadruk te liggen op kennisdeling en het bevorderen van netjes werken. Daar bleken ook flinke kansen te liggen op het gebied van de reductie van ammoniakuitstoot. Communicatie richtte zich daarom ook op het bewust maken van boeren en loonwerkers van deze kansen en het aanbieden van praktische kennis en tools. Dit gebeurde via de verschillende demo's, maar ook met video's, artikelen, checklists e.d.

Focus van de communicatie per jaar

2021	2022	2023	2024	2025
Naamsbekendheid	Naamsbekendheid	Ophalen innovaties	Voortgang	Resultaten
Ophalen innovaties	Ophalen innovaties	Draagvlak voor netjes werken	Draagvlak voor • innovaties • netjes werken	Draagvlak voor • innovaties • netjes werken
		Voortgang		Consolidatie/vervolg

Pay off

2021	2022	2023	2024	2025
Innovaties gezocht	Innovaties gezocht	Innovaties gezocht	Doe je mee?*	Doe je mee?*
Doe je mee?	Doe je mee?	Doe je mee?		

*De oproep 'Innovaties gezocht' werd vanaf 2024 niet meer actief toegepast en waar mogelijk verwijderd.

Er is veel communicatie ontwikkeld rondom de demo's en de kennissessies. Voor iedere demo was er een uitnodiging, posts op sociale media, een bericht op de site, een persbericht en vaak ook advertenties. Tijdens de demo's zijn meestal foto's en soms een video gemaakt die op de site geplaatst zijn in een verslag/nieuwsbericht.

Om gedragsverandering te realiseren, is een VIP-traject opgezet. VIP staat voor Verandering in Praktijk. Het communicatieplan is deels geënt op een stakeholdersanalyse waarin alle doelgroepen inbegrepen zijn. Met de uitkomsten van het VIP-project is de communicatie nog verder aangescherpt, onder meer met het toepassen van technieken voor gedragsverandering (bijvoorbeeld het inzetten van 'peers', het erkennen en wegnemen van weerstand, het opdelen van verandering in kleine stapjes, het tonen van de potentiële opbrengsten).

Dit leidde tot onder meer een Checklist beter bemesten, goed-foutkaarten, testimonials met boeren en loonwerkers, artikelen in diverse vakbladen en meerdere matrices die helpen om de juiste techniek en werkwijze te kiezen bij verschillende omstandigheden.

Transparantie en vertrouwelijkheid

Transparantie is een van de kernwaarden van het programma. Tegelijk waren veel fabrikanten huiverig voor het delen van (concurrentiegevoelige) informatie en was er vanuit het programma terughoudendheid over het voortijdig delen van onderzoeksresultaten omdat deze een vertekend en prematuur beeld kunnen geven. Om hier een balans in te vinden, is een visie geformuleerd met afspraken waaraan alle betrokkenen zich dienen te houden. Hier hebben we vaak over gesproken. Wat mag er wel naar buiten en wanneer? We hebben strikte afspraken met de indieners, maar we willen ons ook verantwoorden en mensen betrokken en enthousiast houden.

Resultaten

Bereik

Door de inzet van de werkgroep Communicatie heeft het programma een groot bereik gerealiseerd. Hieraan heeft met name de *Attentiemail Verantwoorde Veehouderij* van Wageningen University & Research bijgedragen. Deze nieuwsbrief wordt tweewekelijks verzonden aan duizenden abonnees en wordt goed gevolgd door de pers. Hierdoor ontstond aanzienlijke free publicity, onder meer in *De Boerderij* en *Nieuwe Oogst*. Daarnaast is het programma actief op sociale media, met name op LinkedIn, waar via het netwerk van programmaleden en gerichte advertenties een breed publiek is bereikt. Samenwerking met Misset heeft het bereik verder vergroot, onder andere door de verspreiding van een reeks artikelen en video's via diverse kanalen.

Middelen

Als algemene middelen is een site (www.bemestopznbest.nl), beach flags, rolbanners, folders, flyers, kleding, sociale media, een magazine, interne en externe nieuwsbrieven, weggevertjes, presentaties en allerlei voorlichtingsmateriaal ontwikkeld.

De volgende middelen zijn binnen 'Bemest op z'n Best' ontwikkeld:

- Website www.bemestopznbest.nl
- Interne nieuwsbrief: 18 edities.
- Externe nieuwsbrief: 8 edities.
- Content in de vorm van kennisartikelen, reportages, testimonials, praktijkervaringen, nieuws- en agenda-items: 51 artikelen, diverse agenda items. Deze zijn gepubliceerd op de website en tweewekelijks gedeeld via de Attentiemail Verantwoorde Veehouderij.
- Publicaties in vakbladen: 9 artikelen, die ook via de website terug te lezen zijn.
- Video-content: video's met kennis en tips, terugblikken op demo's, promovideo's, informatieve video's: 18 video's. De video's staan op ons eigen YouTube-kanaal.
- Direct Mail: uitnodigingen, reminders en terugblikken rondom demo's en events, 30 mailings.
- Social media-kanalen: een Facebook en LinkedIn en YouTube-kanaal waarop we content, uitnodigen voor en terugblikken op demo's en events delen.
- Magazine: een informatief hardcopy magazine met alle info over 'Bemest op z'n Best'.
- Presentaties: diverse algemene PowerPoint presentaties over 'Bemest op z'n Best'.
- Brochures: een algemene brochure, flyer en brochure kennissessies. Daarnaast een aantal praktische hulpmiddelen voor boeren en loonwerkers waar veel kennis over emissiearm bemesten verwerkt is: 4x Veld-APK, 2x Goed/fout-kaart en de Checklist Beter Bemesten.
- Presentatiemateriaal zoals rolbanners, beachflags, stoepborden en mestlatje om te gebruiken tijdens demo's, events en kennissessies.
- Gids met terugblik en highlights van de resultaten.
- Een beursstand op de Rundvee Mechanisatie Vakdagen.

Bijlage H VIP studie

Opstellers: Herman Krebbers, Desirée van Steenveldt, Theo Vulink, Fides Lapidaire, Koos Verloop, Hanneke Zijtveld

1. Managementsamenvatting

De werkgroep Verandering in Praktijk onderzoekt welke kernfactoren van invloed zijn op het gewenste doelgedrag van boeren, loonwerkers en machinebouwers om verder te komen met emissiearmere bemesting. Het doel is om inzicht te krijgen in het gedrag en op basis daarvan praktische en strategische aanbevelingen te doen, gericht op ontwikkeling en zorgvuldige toepassing van de best beschikbare technieken.

2. Doelgedrag belangrijkste actoren

Het gewenste doelgedrag voor boer en loonwerker is:

1. Het uitvoeren van een zorgvuldige, emissiearme bemesting (netjes werken, NW) en
2. de inzet van de best beschikbare techniek (BBT) voor emissiearm bemesten.

Voor machinebouwers is het gewenste doelgedrag het bouwen van aantoonbaar emissiearme(re) bemestingsmachines.

3. Invloedsfactoren gedrag

Een uitgebreide analyse van mogelijke invloedsfactoren in omgeving, competenties, drijfveren en weerstand heeft geleid tot dertien kernfactoren die het meest van invloed zijn op het doelgedrag in combinatie met mogelijke interventies en gedragstechnieken om het gedrag te beïnvloeden.

- A. *Fysieke omgeving en infrastructuur*: De beschikbaarheid van machines en kennis over BBT variëren.
- B. *Regels en protocollen*: Huidige wetgeving biedt ruimte voor interpretatie en zwakke handhaving.
- C. *Anonimiteit*: Loonwerkers en machinebouwers werken vaak zonder toezicht.
- D. *Cognitieve schaarste*: Stress en tijdsdruk beïnvloeden de keuze en implementatie van BBT voor boeren en loonwerkers. Voor de machinebouwer is onzekerheid over voldoende marktvraag juist de drempel.
- E. *Kennis en bewustzijn*: Zowel boeren als loonwerkers missen soms kennis over emissiearm bemesten.
- F. *Fysieke capaciteit*: Voor de machinebouwer is de toegang tot R&D capaciteit en faciliteiten bepalend.
- G. *Vaardigheden*: Boeren en loonwerkers missen soms de vaardigheden om de BBT optimaal te gebruiken. Machinebouwers ontbreekt het soms aan (marketing) vaardigheden om innovaties te lanceren.
- H. *Voor- en nadelen*: De voordelen van de BBT (opbrengst, besparing) zijn vaak pas op lange termijn zichtbaar, terwijl de nadelen (kosten) direct voelbaar zijn.
- I. *Prijs- en risicoperceptie*: De focus ligt vaak op de kosten van bemesting in plaats van op de waarde.
- J. *Verantwoordelijkheid en eigenaarschap*: Boeren voelen zich vaak niet verantwoordelijk voor ammoniakemissies.
- K. *Wantrouwen tegen boodschap en boodschapper*: Er is wantrouwen jegens overheidsinstanties en regelgeving.
- L. *Weerstand (moeite)*: Het kost de loonwerker tijd en moeite om boeren te overtuigen van emissiearm bemesten.
- M. *Weerstand (gebrek aan motivatie)*: Er is vaak weinig motivatie om te veranderen.

4. Praktische en strategische aanbevelingen

De analyse van kernfactoren heeft geleid tot praktische ideeën om binnen Bemest op z'n Best op te pakken of aan partners voor te leggen om verder te ontwikkelen.

#	Aanbeveling	Oppakken door
1	Maak een matrix van de verschillende omstandigheden en de technieken die daarbij het best functioneren. Vertaal dat in een beslistool die de uitvoering van bemesting ondersteunt.	Werkgroep D&P/Communicatie Cumela
2	Bevorder zelfsturende mechanismen voor het optimaliseren van de bemesting bij wisselende omstandigheden (feedback-loop).	Voortzetten/versterken in onderzoek
3	Ontwikkel, bespreek en waardeer vakmanschap door een set van beelden te creëren van de kwaliteit van bemesting en door (financiële) voordelen van goed gras en goede N-benutting in kaart te brengen.	Werkgroep D&P/Communicatie Cumela
4	Werk in stappen zodat doelgroepen het tempo van aanpassing kunnen hanteren. Streef naar een lage drempel van de stap van NW naar gebruik BBT. Denk na over juiste werkvorm.	Werkgroep D&P/Communicatie
5	Werk aan kennisopbouw en kennisdeling. Neem twijfels weg, informeer en onderbouw d.m.v. studieavonden, farmwalks, roadshows, demo's, praktische hulpmiddelen en communicatiemiddelen (massa of specifiek). Beleg de kennis in bestaande onderwijs- of voorlichtingsstructuren.	Werkgroep D&P/Communicatie
6	Competitiewedstrijd, gespreks-checklist, beoordelingskaart of game simulator.	Vakonderwijs, evt. met ondersteuning Werkgroep Communicatie
7	Laat de boer/loonwerker het verhaal vertellen. Werk ambassadeurschap/ rolmodel (positieve boodschapper) verder uit. Laat doelgroep het positieve resultaat zelf ervaren in demo's, farmwalks, praktijkproeven, etc.	Werkgroep D&P/Communicatie

5. Ontwerprichtingen vervolg

Naast de praktische ideeën zijn ook enkele ontwerprichtingen geformuleerd als mogelijke vervolgtrajecten, zoals een smartmeter die continu metingen doet tijdens het mest uitrijden en direct 'feedback' geeft, het actief vormgeven van gespreksdialoog tussen boer en loonwerker om te komen tot betere afspraken en resultaten, een modulaire bemestingsmachine die middels add-on's kan inspelen op ontwikkelingen in de markt en maatschappij en een servicegericht businessmodel voor loonwerkers (bemesting als outputgerichte dienst). In afstemming met de partners bespreekt Bemest op z'n Best of het mogelijk is om een of enkele van deze ontwerprichtingen uit te werken.

6. Aanbevelingen voor implementatie en realisatie

Bemest op z'n Best richt zich op onderzoek naar nieuwe bemestingstechnieken en tools om draagvlak te vergroten. Voor brede invoering van emissiearme bemesting is een georkestreerd traject nodig. Dit omvat financiële en maatschappelijke waardering, stabiel en betrouwbaar beleid en ontwikkeling van ondersteunende beleidsinstrumenten.

Aanbevolen wordt een compact beleidsprogramma te starten voor opschaling van technische innovaties en (financiële) risicoreductie voor ondernemers. Subsidiëring en certificering van de Best Beschikbare Technieken, beloning via het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid, praktijkpilots, handhaving en wetenschappelijk onderbouwde emissiefactoren zijn hierbij belangrijke instrumenten. Daarnaast is het essentieel om de maatschappelijke norm proactief te (blijven) beïnvloeden en regionale samenwerking te stimuleren.

Bijlage I Scenario's effecten op nationale emissie

Opstellers: Tim van der Zee en Roy Wichink Kruit (RIVM); Jan Huijsmans (WUR)

1. Inleiding

Het programma Bemest op z'n Best heeft de doelstelling om de NH₃-emissies bij het toedienen van mest met 50% te verminderen. Om inzichtelijk te maken wat de effecten zijn van nieuwe emissie-reducerende technieken op de landelijke emissiecijfers, zijn 3 scenario's doorerekend volgens de methode die ook gehanteerd wordt voor de berekening van nationale emissies (NEMA model). In de scenario's is geen rekening gehouden met toekomstige veranderingen in de hoeveelheden mest als gevolg van het afschaffen van de derogatie, veranderingen in dieraantallen of met veranderingen in de mestsamenstelling.

2. Uitgangspunt

De behaalde emissieverminderingen van de volgende scenario's zijn allemaal ten opzichte van de NH₃ emissie in het jaar 2021 berekend met NEMA. In dat jaar was de NH₃-emissie bij mesttoediening 26,9 kton N (31% van de totale NH₃-emissie vanuit de landbouw).

Scenario 1: effectievere emissiearme toediening grasland

In dit scenario zijn de emissiefactoren bij toediening van mest op grasland voor zodenbemesting, sleufkouter en sleepvoet 50% lager ten opzichte van het uitgangspunt. De emissiefactoren van bovengronds toedienen van mest en toediening van mest op bouwland zijn niet aangepast.
Emissie bij mesttoediening wordt 26% verlaagd t.o.v. het uitgangspunt.

Scenario 2: effectievere emissiearme mesttoediening op grasland en verbod op bovengronds toedienen van drijfmest op grasland

Dit scenario is een uitbreiding van scenario 1 met de aanvulling dat er geen drijfmest meer bovengronds wordt toegediend op grasland. De mest die in het uitgangspunt bovengronds wordt uitgereden wordt emissiearm toegediend.
Emissie bij mesttoediening wordt 30% verlaagd t.o.v. het uitgangspunt.

Scenario 3: effectievere emissiearme mesttoediening op grasland, verbod op bovengronds toedienen van drijfmest op grasland en effectievere zodenbemesting op onbeteeld bouwland

Dit scenario is een uitbreiding van scenario 2 met de aanvulling dat de emissie van zodenbemesting op onbeteeld bouwland met 50% wordt verlaagd.
Emissie bij mesttoediening wordt 34% verlaagd t.o.v. het uitgangspunt.

3. Conclusie

Het is lastig om een halvering van de totale ammoniakemissie bij toediening van mest te behalen. Met een halvering van de emissiefactoren voor emissiearme mesttoediening op alleen grasland wordt een reductie van de ammoniakemissie van 26% gehaald bij het aandeel van mesttoediening.

Tabel 1. De behaalde emissieverminderingen van de scenario's ten opzichte van de NH₃ emissie in het jaar 2021 berekend met NEMA.

Grasland of bouwland en mestsoort	Ingezette techniek	Scenario			
		Emissie (kton NH ₃)	1 (kton NH ₃)	2 (kton NH ₃)	3 (kton NH ₃)
grasland - drijfmest	zodenbemester	13,97	6,98	7,16	7,16
	sleufkouter	1,60	0,80	0,80	0,80
	sleepvoet	1,61	0,81	0,81	0,81
	bovengronds	1,40	1,40	0,00	0,00
grasland - vaste mest	bovengronds	2,92	2,92	2,92	2,92
onbeteeld bouwland - drijfmest	mestinjectie	1,17	1,17	1,17	1,17
	zodenbemester	2,71	2,71	2,71	1,35
	onderwerken in 1 werkgang	0,46	0,46	0,46	0,46
	bovengronds mest en slib	0,10	0,10	0,10	0,10
onbeteeld bouwland - vaste mest	onderwerken in 2 werkgangen	2,77	2,77	2,77	2,77
	bovengronds mest en slib	0,13	0,13	0,13	0,13
beteeld bouwland - drijfmest	zodenbemester	1,80	1,80	1,80	1,80
	sleepvoet	1,15	1,15	1,15	1,15
beteeld bouwland - vaste mest	bovengronds	0,90	0,90	0,90	0,90
totaal		32,67	24,08	22,86	21,51
afname NH ₃ emissie dierlijke mesttoediening in scenario			-26,3%	-30,0%	-34,2%

Bijlage J Aanzuren van drijfmest voor het beperken van ammoniakemissie bij uitrijden

Randvoorwaarden voor een besluit over deelname aan Bemest op z'n Best voor onderzoek naar aanzuren, te nemen door de stuurgroep.

Opstellers: Koos Verloop en Jan Huijsmans (WUR), Wim Bussink (NMI) en Jeroen Pijlman (LBI)

1. Samenvatting van bevindingen

Het 'klassieke' aanzuren van mest waarbij zwavelzuur volledig door de mest wordt gemengd, kent randvoorwaarden, met daaraan verbonden borgingsaspecten, rondom een minimale en maximale hoeveelheid te gebruiken zuur.

- Ten eerste is er voldoende toevoeging van zuur nodig voor het borgen van een voldoende grote pH verlaging om een sterke ammoniakemissiereductie te bewerkstelligen. De benodigde hoeveelheid zuur voor het bereiken van een voldoende lage pH (5,0 – 5,5) is sterk afhankelijk van de mestsamenstelling, en is in sommige gevallen zelfs zeer hoog (> 6 L zwavelzuur per m³ mest).
- Ten tweede, wanneer zwavelzuur voor alle toe te dienen mest in een groeiseizoen wordt toegepast, leidt dit tot een overdosering van zwavel waardoor dit af te raden is. Dit is gebaseerd op 1) het CDM-advies (2014) omtrent zwavelbemesting en 2) de waterkwaliteitsdoelstellingen. Daar komt bij dat 1) extra zwavelaanvoer op veengronden en sommige kleigronden sowieso ongewenst is vanwege o.a. relatief hogere zwavelgehalten in de bodem, en 2) Het feit dat een hoge zwavelgift de sporelementbenutting van rundvee uit gras kan onderdrukken.

Aanzuren kent belangrijke veiligheidsaspecten voor de gebruikers en omgeving.

Mogelijke 'alternatieve' aanpakken, waarbij slechts een gedeelte van de mest wordt aangezuurd, bijvoorbeeld door enkel het aanzuren van het gedeelte van de mest welke het meest in contact komt met de atmosfeer na mest uitrijden, zijn niet onderzocht maar kunnen in potentie tot veel kleinere hoeveelheden (zwavel)zuur gebruik leiden dan 'klassiek' aanzuren. Daarmee is de aanvoer van zwavel naar percelen sterk te beperken. Ook het gebruik van niet zwavel bevattende zuren zoals organische zuren zou verder kunnen worden verkend.

2. Achtergrond en aanleiding

In het programma Bemest op z'n Best zijn meerdere voorstellen ingediend rondom het aanzuren van mest. Het principe van aanzuren is niet nieuw. Met een zuur wordt gezorgd voor een pH verlaging van drijfmest, waardoor het evenwilibrium tussen ammoniak (NH₃) en ammonium (NH₄⁺) verschuift naar ammonium, en er minder ammoniak vervluchtigt naar de atmosfeer na het uitrijden van mest. Mest moet voldoende aangezuurd worden tot pH 5. De zuurgraad moet stabiel blijven, d.w.z. dat na aanzuren de pH niet of nauwelijks meer oploopt als gevolg van de bufferende werking van mest. In bestaande systemen (in het buitenland) wordt de uitgereden mest volledig gemengd met zuur. Aan het gebruik van zuren kleven echter diverse mogelijke neveneffecten op het gebied van extra mineralenaanvoer, effecten van zuren op bodem(leven) en gewas, veiligheid voor mens, dier en milieu. Ook zijn er vragen op het gebied van de consistentie van het effect op ammoniakemissie, borgbaarheid en imago. Een aantal jaren geleden is in Nederland al onderzoek gedaan naar het effect van aanzuren bij gebruik van zwavelzuur. Op dit moment is aanzuren met zwavelzuur niet toegestaan, in tegenstelling tot bijvoorbeeld in Denemarken. Ook is in het verleden in Nederland onderzoek gedaan naar aanzuren met salpeterzuur; dit is destijds niet als mogelijkheid toegestaan.

Gezien het belang en de urgentie van de stikstofproblematiek, wordt onderzoek rondom het aanzuren van mest als optie genoemd. Omdat het wegen van neveneffecten in een uiteindelijk oordeel over het perspectief van innovaties rondom aanzuren buiten het domein van het onderzoeksprogramma ligt, is de stuurgroep van het programma in april 2022 verzocht hier een uitspraak over te doen. De stuurgroep heeft aan het programmateam gevraagd in een notitie het principe van aanzuren nader uit te diepen, mede m.b.t. neveneffecten van aanzuren en potentie voor emissiereductie. Daartoe is deze notitie geschreven.

3. Doelstelling van deze notitie

Het doel van deze notitie is het schetsen van randvoorwaarden bij (varianten van) aanzuren van drijfmest als methode om de ammoniakemissie bij mest uitrijden te beperken, rekening houdend met diverse neveneffecten en aspecten die verbonden zijn met aanzuren in relatie tot ammoniakemissie.

4. Afbakening

De inhoud van deze notitie is afgebakend op de volgende aspecten:

- Met aanzuren wordt bedoeld het aanzuren tijdens of kort voor het uitrijden van drijfmest, met als doel de ammoniakemissie te beperken die normaliter de eerste uren tot dagen plaatsvindt na het uitrijden. Aanzuren van mest in de stal valt buiten de afbakening van deze notitie.
- Het aanzuren van rundveedrijfmest, omdat 1) het uitrijden van rundveedrijfmest op grasland relatief de grootste bijdrage geeft aan ammoniakemissies bij mest uitrijden en 2) varkensmest door het op termijn verdwijnen van de derogatie naar verwachting weinig op grasland meer zal worden toegepast.
- In deze notitie is niet verder ingegaan op het aspect veiligheid bij het gebruik van zuren, omdat dit buiten het domein van het onderzoeksprogramma en buiten de expertise van de onderzoekers ligt. Veiligheid behoeft echter zeker aandacht wanneer zuren op een boerenerf toegepast worden. Er zijn randvoorwaarden en regels voor het werken met, het transporteren en het opslaan van gevaarlijke stoffen. Zie bijvoorbeeld Report-2.5-Working-environment-and-safety_v9final_20180326.pdf (balticslurry.eu) of <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/arbeidsomstandigheden/vraag-en-antwoord/wanneer-mag-ik-werken-met-gevaarlijke-stoffen>.

Opmerkingen: omdat er in het buitenland werkende systemen zijn op basis van zwavelzuur toevoegingen, hier reeds veel ervaringen mee zijn opgedaan en hier ook de meeste interesse in is vanuit verschillende partijen, is de notitie geschreven vanuit het perspectief van het gebruiken van zwavelzuur om mest aan te zuren.

5. Huidige stand van zaken onderzoek en mogelijke perspectiefvolle aanpakken

Een probleem bij aanzuren met zwavelzuur direct voor mest uitrijden, is dat de zwaveltoevoer naar percelen vrij hoog wordt. Er zijn andere opties denkbaar, die volgens onze kennis nog niet of beperkt zijn onderzocht:

- *Aanzuren met organische zuren*; Er is een breed palet organische zuren die eventueel ingezet kunnen worden (Puente-Rodrigues *et al.*, 2022). De kostprijs verschilt sterk afhankelijk van het soort zuur en de leverancier. Aanzuren met organische zuren is op equivalentbasis even effectief als het toepassen van zwavelzuur (Joubin, 2018).
- *Aanzuren met een mengsel van zuren*; Bijvoorbeeld een mix van azijnzuur en zwavelzuur. Fuchs *et al.*, 2021) geven aan dat een mengsel van 50% zwavelzuur en 50% azijnzuur een goede mogelijkheid is.
- *Een deel van de mest aanzuren en deze boven op reguliere mest leggen tijdens het toedienen*; Daarbij zijn mengverhoudingen van 1/2 regulier en 1/2 aangezuurd denkbaar.
- *Mest in een sleuf besproeien met verdund zuur*; Naar verwachting zijn veel kleinere hoeveelheden zuur nodig (10-25%) dan wanneer het zuur volledig door de mest gemengd wordt. De hypothese is dat vooral de toplaag van de mest bepalend is voor de emissie naar de atmosfeer. Een "laagje" zuur op de mest geeft dan mogelijk al een sterk emissie reducerend effect (wat bevestigd wordt door eerste resultaten).
- *Een deel van de jaarlijkse mestgift aanzuren met zwavelzuur*; bijvoorbeeld alleen de mest die voor de eerste snede wordt toegepast. Bij mest voor latere sneden wordt een ander systeem gebruikt of wordt bijvoorbeeld met organische zuren aangezuurd.

Deze kansrijke opties zijn nu deels in onderzoek.
Borging blijft bij deze opties een rol spelen.

6. Overige opmerkingen

Bij het aanzuren van mest tijdens het uitrijden is niet te verwachten dat er een effect is op methaanemissies (Puente-Rodriguez *et al.*, 2022).

Referenties

- Bussink, D.W., J.F.M. Huijsmans and J.J.M.H. Ketelaars. 1994. Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry_ Netherlands Journal of Agricultural Science 42-4, 293-309.
- Bussink, D. W., A. M. D. van Rotterdam-Los. 2011. Perspectieven om broeikasgas- en ammoniakemissies te reduceren door het aanzuren van mest. Nutriënten Management Instituut rapport 1426.N.11.
- Bussink, D. W., J. F. M. Huijsmans. 1994. Mest aanzuren geeft goede ammoniakreductie. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden 94-5.
- CDM Advies, oktober 2014. Bemesting met zwavelhoudende meststoffen <https://edepot.wur.nl/342461>.
- CVB (Centraal Veevoederbureau). 2005. Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geiten. Commissie Onderzoek Minerale Voeding. Utrecht/Lelystad.
- Fangueiro, D., M. Hjorth, F. Gioelli. 2015. Acidification of animal slurry – a review. Journal of Environmental Management 149, 46-56.
- Fuchs A., F. R. Dalby, D. Liu, P. Kai, A. Feilberg (2021). Improved effect of manure acidification technology for gas emission mitigation by substituting sulfuric acid with acetic acid. Cleaner Engineering and Technology 4, 100263.
- Hendriks, J.G.L., E.M. Mulder, J.F.M. Huijsmans, 1994. Aanzuren van rundermest. IMAG-DLO, Wageningen, rapport 93-30, pp40.
- 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. Wageningen: Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR, Business Unit Agrosysteemkunde, rapport 629, 45 p.
- Husted S, Jensen LS & Jørgensen SS (1991). Reducing ammonia loss from cattle slurry by the use of acidifying additives: the role of the buffer system, J. Sci. Food Agric. 57: 335-349.
- Joubin, M. 2018. Animal slurry acidification: effects of slurry characteristics, use of different acids, slurry pH buffering. Baltic Slurry Acidification, RISE report 2018:15.
- Oenema, O., G. L. Velthof. 1993. Stikstofverliezen en lachgasemissie uit aangezuurde dunne rundermest. Meststoffen, 57-63.
- Ottosen, L. D. M., H. V. Poulsen, D. Aagren Nielsen, K. Finster, L. Peter Nielsen, N. Peter Revsbech. 2009. Observations on microbial activity in acidified pig slurry. Biosystems Engineering 102, 291-297.
- Pizzul, L., L. Rodhe, I. Burzynska, M. Kierończyk, K. Mazur, S. Neumann, K. Tamm, R. Jakovickis, M. Sękowski. 2018. Titration, buffer capacity and acid consumption of animal slurries in Baltic Sea Region countries. Baltic Slurry Acidification, report of WP2, activity 3.
- Puente-Rodríguez, D., L. Gollenbeek, N. Verdoes, A.P. Bos. 2022. Perspectief van het aanzuren van mest in Nederland om methaan- en ammoniakemissie te reduceren. Wageningen Livestock Research rapport 1375.
- Schils, R.L.M. 2016. 30 vragen en antwoorden over zwavel. Alterra, Wageningen-UR. <https://doi.org/10.18174/392373>
- Van Lent AHJ, Schils RLM, Boxem Tj, Zonderland J, Verboon MC (1995). Aanzuren rundermest in stal en silo. PR-rapport 156. Lelystad. Pp. 133 <https://edepot.wur.nl/25383>
- Verboon, M.C. en Lent A.J.H. 1990. Het aanzuren van mest in bedrijfsverband. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Waiboerhoeve.

Bijlage K De RUIMTE

Opsteller: Koos Verloop

De Ruimte is uitgeprobeerd als omgeving voor creatieve en zinvolle ideeën die bijdragen aan de doelen van Bemest op z'n Best. De Ruimte is een ontwerpomgeving waarom mensen zich een ontwerp vraag proberen te beantwoorden. De Ruimte is fysiek afgebakend en er gelden andere regels (Figuur 1). Dit is nodig om tot resultaat te komen. De Ruimte heeft zich geconcentreerd op de volgende ontwerp vraag:

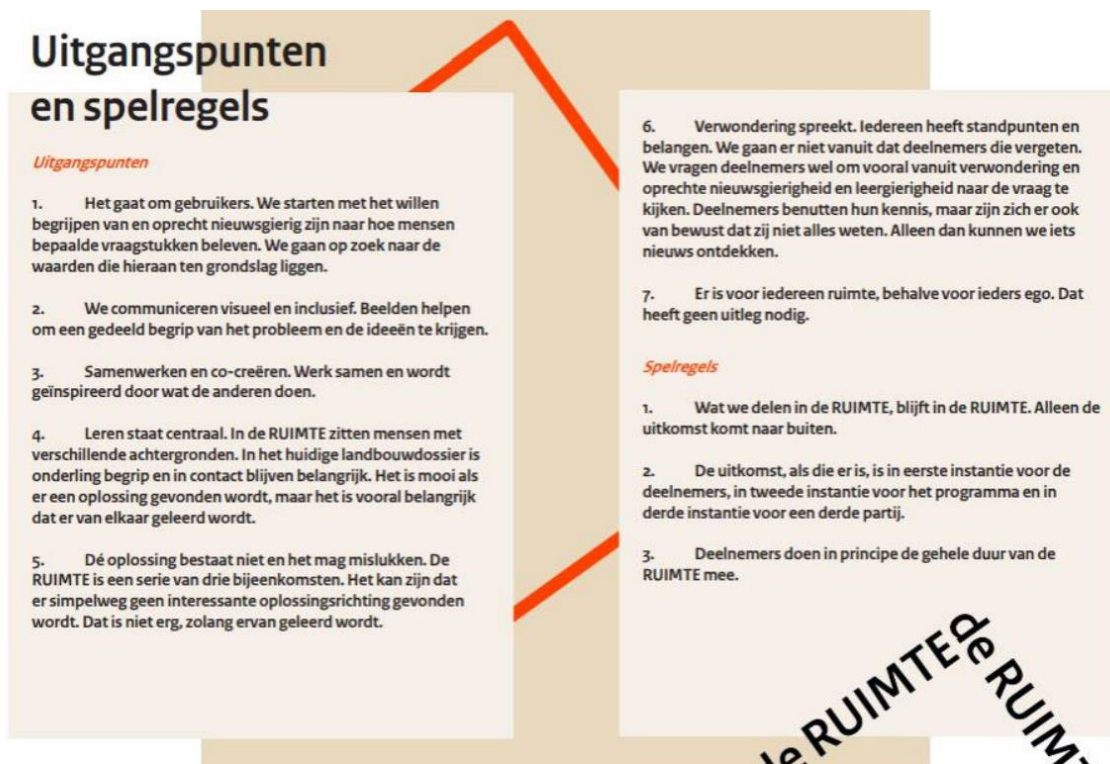
'Hoe kunnen boeren en loonwerkers elkaar stimuleren om netjes te werken bij het toedienen van mest.'

Deze vraag is in stappen benaderd onder begeleiding en met specifiek uitgenodigde mensen (Figuur 2). De Ruimte heeft twee resultaten opgeleverd, nl:

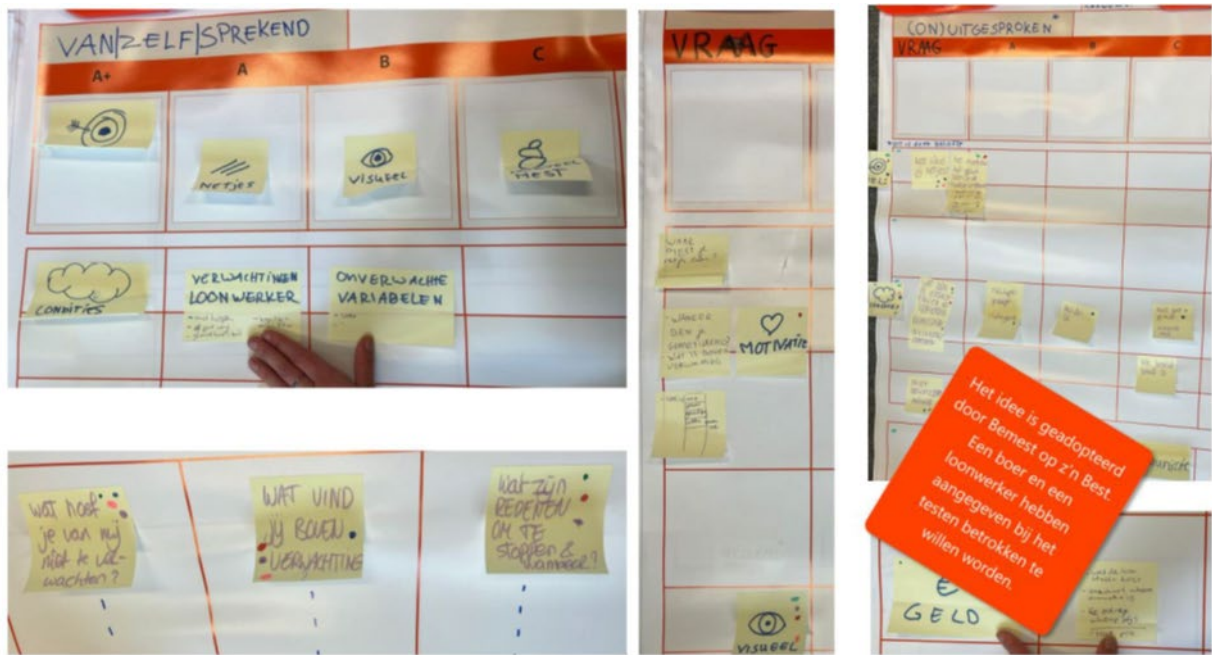
- Hoofdresultaat: (On)uitgesproken/Vanzelfsprekend (werktitels):
Dit is een gespreksvel dat loonwerkers en boeren ondersteunt bij het maken van afspraken en bij het aangeven van wat eenieder belangrijk vindt en op prijs stelt (Figuur 3 en Figuur 4).
- Bijvangst: De flight simulator:
Een training (kan op school zijn) of wedstrijd waarin toekomstig uitvoerders op loonwerkbedrijven uitgedaagd te worden goed te bemesten onder steeds complexere omstandigheden.

Het idee is door Koos Verloop geadopteerd en is ingebracht in de werkgroep Demo & Praktijk. Daar zal gewerkt worden aan praktische doorontwikkeling. Het ligt voor de hand hier Cumela en LTO ook bij te betrekken.

De Ruimte zal nog een keer ingezet worden voor een project gericht op draagvlak voor innovatieve technieken. We zien minder mogelijkheden om De Ruimte te benutten voor technische innovaties zelf.



Figuur 1 Een omgeving voor nieuwe ideeën.



26

Naam van de presentatie invullen via Invoegen • Kopieer en voer tekst • © TwynstraGudde

Figuur 3B Het ontwerp idee: (on)uitgesproken.

Bijlage L Ervaringen met mestinjectie (grasland) in Nederland

Opstellers: Werkgroep WIO

1. Inleiding

Eind jaren '70 werd al volop onderzoek gedaan aan mestinjectiemethoden. Toen had met name stankbestrijding bij mesttoediening de aandacht en de techniekontwikkeling (Bosma et al., 1976 en 1977). Uiteindelijk is een meer praktijkmachine ontwikkeld (Buitink, 1985). Bij deze mestinjecteur (Figuur 1) wordt de mest via ganzenvoeten (Figuur 1; detail) op een diepte van 15-20 cm onder de zode gebracht zoals schematisch weergegeven in figuur 1). De ganzenvoeten hadden een onderlinge afstand van 50 cm en doorsnijden de bodem gedeeltelijk horizontaal op de betreffende diepte. Bij de werking van de injecteur wordt de zode gedeeltelijk door de ganzenvoeten opgelicht; in de ontstane ruimte werd de mest gedoseerd. Na passage van de steel waaraan de ganzenvoet is bevestigd, werd de zode aangeduwd door drukwielen. Met name de beide randen van de snede werden dicht geduwd.



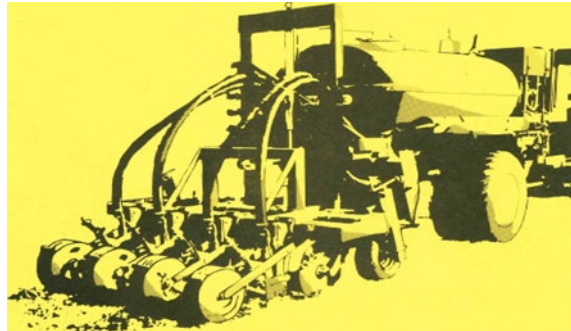
Figuur 1. Mestinjecteur waarbij de mest op een diepte van 15-20 cm-mv onder de zode wordt gebracht (detailfoto rechts: snijkouter, vleugelschaar en aandrukrol).

In de jaren 80 van de vorige eeuw is veel onderzoek gedaan aan mestinjectie op grasland, waarbij voornamelijk de stikstofwerking onderzocht werd, maar ook de fosfaat- en kalibemestende waarde van de mest. Voor de stikstofwerking kon met name de potentiële reductie van ammoniakemissie een rol spelen. De plaatsing (diepte en verdeling) van de mest kon effect hebben op de fosfaatbemestende waarde. Mestinjectie werd ook gezien als een potentiële techniek om geur te reduceren bij de mesttoediening. Belangrijke aspecten die daarbij een belangrijke rol speelden in de praktijktoepassing waren de benodigde trekkracht, snij- en verdrogingsschade en de mogelijkheid voor grotere mestgiftten.

Daarnaast begon eind jaren 80 de zure regenproblematiek op te spelen met veel aandacht voor ammoniakemissie. In die periode startten de eerste ammoniakemissie metingen bij mesttoediening in Nederland en het onderzoek naar de mogelijkheden voor emissiereductie. Destijds was bovengronds breedwerpig mest verspreiden de gangbare methode voor mest uitrijden. Mestinjectie is toen de eerste methode geweest die geëvalueerd is als mogelijkheid voor emissiereductie. Een werkgroep vanuit het onderzoek en consulentschappen heeft destijds onder leiding van oud DLO directeur Wiggers (Directie Landbouwkundig Onderzoek) de verschillende aspecten van mestinjectie geëvalueerd. De bevindingen (inclusief alle literatuur) zijn weergegeven in Wadman, 1989 (hier weergegeven in hoofdstuk 2).

2. Studie Wadman e.a. 1988

MESTINJECTIE MOGELIJKHEDEN, VOORDELEN EN PROBLEMEN



ONDERZOEK INZAKE DE MEST- EN AMMONIAKPROBLEMATIEK IN DE VEEHOUDERIJ

Verslag van de Werkgroep Mestinjectie

Redactie: W.P. Wadman

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (november 1988)

1. INLEIDING

Op verzoek van prof.ir. A.A. Jongebreur (Directie Landbouwkundig Onderzoek, DLO) is begin 1988 een werkgroep samengesteld die als taak kreeg om op korte termijn een rapport op te stellen ten behoeve van het te ontwikkelen beleid t.a.v. de toepassing van mestinjectie. De werkgroep kreeg als opdracht een overzicht van de beschikbare kennis en technieken op het gebied van mestinjectie te leveren. Hierbij diende aandacht te worden geschonken aan de technische ontwikkelingen op dit gebied; daarnaast diende de relatie met de ammoniakproblematiek te worden belicht.

De werkgroep wisselde beschikbare kennis uit en gepubliceerde en nog ongepubliceerde onderzoekresultaten werden kritisch besproken.

2. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

2.1. Conclusies

2.1.1. *Mestinjectie op grasland*

- 1) Van het Nederlandse graslandareaal is naar verwachting ca. een derde deel goed tot redelijk geschikt voor het toepassen van mestinjectie (deze schatting varieert van 17 tot 40%, al naar gelang een krappere of ruimere interpretatie van de ontwateringstoestand per bodemkundige kaarteenheden). In het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied kan een groter percentage (dan het landelijk gemiddelde) van het areaal grasland worden geïnjecteerd.
- 2) Bij het injecteren van dunne mest vindt slechts een zeer geringe ammoniakvervluchtiging plaats. Als op al het grasland dat goed tot redelijk geschikt is voor het toepassen van mestinjectie alle dunne mest die daar thans wordt uitgereden zou worden geïnjecteerd, zou dit naar verwachting de huidige landelijke ammoniakemissie met ca. 11% reduceren.
- 3) Het injecteren van dunne mest op grasland heeft de volgende voor- en nadelen/gevaren:

voordelen

- de ammoniakuitstoot bij het toedienen van de mest wordt minimaal; de stankontwikkeling wordt minimaal;
- de stikstofwerking van de mest wordt verhoogd, wat tot een besparing op het gebruik van stikstof in de vorm van kunstmest leidt;
- de stikstofwerking van de mest wordt op jaarbasis beter voorspelbaar; de mest kan in het voorjaar in één keer worden toegediend;
- er vindt geen besmeuring van het gras met de mest plaats;
- de kans op afspoeling van de mest wordt sterk verkleind.

nadelen/gevaren

- de kosten van toedienen van de mest worden verhoogd;
- mestinjectie is in een relatief klein gedeelte van het jaar (goed) mogelijk;
- op een aantal grondsoorten is mestinjectie niet of moeilijk uitvoerbaar;
- er is een kleine kans op verminderde graskwaliteit;
- mestinjectie kan tot een hogere fosfaat- en kaliumbemesting leiden;
- de advisering van de optimale fosfaat- en kaliumbemesting aan de hand van chemisch grondonderzoek is niet toegesneden op mestinjectie.

4) Voor het goed slagen van mestinjectie moet de bodem:

- voldoende draagkracht bezitten;
- niet te droog zijn;
- niet te veel kleideeltjes kleiner dan 0,002 mm bevatten;
- niet te veel veen met een hydrofoob karakter bevatten;
- vrij zijn van obstakels;
- niet te sterk hellen;
- geen al te ongelijke ligging vertonen.

5) Door het injecteren van dunne mest wordt de stikstofwerking van de mest verhoogd. Naar verwachting leidt mestinjectie in het voorjaar niet tot een verhoogde uitspoeling van nitraat, mits bij de aanvullende bemesting met stikstof in de vorm van kunstmest voldoende rekening wordt gehouden met de verhoogde stikstofwerking van de geïnjecteerde mest. De beschikbare onderzoekresultaten kunnen dienen als basis voor een aangepaste advisering voor de stikstofbemesting in de vorm van kunstmest.

6) Bij mestinjectie aan het einde van de herfst of aan het begin van de winter zou het gebruik van nitrificatieremmers zinvol kunnen zijn.

7) De advisering voor de optimale fosfaat- en kaliumbemesting op grasland dient bij het toepassen van mestinjectie te worden aangepast. Het onderzoek biedt hiervoor thans nog te weinig aangrijpingspunten, met name als mestinjectie langdurig wordt toegepast.

8) Bij toepassing van mestinjectie kunnen extra voorzieningen voor de opslag van dunne mest nodig zijn. Dit brengt extra kosten met zich mee.

2.1.2. Mestinjectie op bouwland en het in- of onderwerken van dunne mest

Mestinjectie is eveneens op bouwland een mogelijkheid om de ammoniakuitstoot bij het toedienen van dunne mest te verminderen. Het onderzoek is er echter op gericht minder dure toedieningsmethoden waarbij de mest eveneens direct in de grond wordt gebracht en derhalve de ammoniakuitstoot sterk wordt verminderd, te ontwikkelen.

2.1.3. Verdere mogelijkheden om de ammoniakuitstoot bij het toedienen van dunne mest te beperken

Verdere mogelijkheden om de ammoniakuitstoot bij het toedienen van dunne mest terug te dringen (het toedienen van dunne mest met de zodenbemester, het verdunnen, verwerken, scheiden, verregenen of inregenen van dunne mest, of het toedienen van chemische middelen aan dunne mest) zijn momenteel nog onvoldoende onderzocht, stuiten nog op praktische bezwaren, of zijn onvoldoende effectief om de ammoniakuitstoot te reduceren.

2.2. Aanbevelingen

- 1) Voor het bepalen van de optimale fosfaat- en kaliumbemesting op grasland waar mestinjectie plaatsheeft, is op korte termijn meer onderzoek nodig.
- 2) De landbouwkundige mogelijkheden van het toedienen van dunne mest met de zodenbemester en de reductie van de ammoniakuitstoot hierbij, dienen nader te worden onderzocht.
- 3) Voor een goede benutting van stikstof uit dunne mest is het met name bij mestinjectie nodig dat er op het bedrijf een goede administratie plaatsvindt van de bemesting zoals die op elk perceel wordt uitgevoerd. Hiervoor zou een geautomatiseerd administratiesysteem kunnen dienen.

LITERATUUR

- Allison, F.E. (1955) The enigma of soil nitrogen balance sheets. *Advances in Agronomy* 7, 213-250.
- Anon. (1959) Landelijke adviesbasis grondonderzoek landbouw. Anon. (1984) Indicatief Meerjaren Programma Lucht 1985-1989, Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 1984-1985, 18605, nrs. 1-2, 124 p.
- Anon. (1987a) Notitie Tussentijdse Evaluatie Verzuuringsbeleid. Den Haag: VROM.
- Anon. (1987b) Produktie van dierlijke mest 1986. Centraal Bureau voor de Statistiek, 58 p. Den Haag: Staatsuitgeverij.
- Anon. (1987c) Adviesbasis voor bemesting van grasland en voedergewassen, 56 p. Wageningen: Consulentenschap voor Bodem-, Water-, en Bemestingszaken in de Veehouderij.
- Asman, W.A.H. (1987) Atmospheric behaviour of ammonia and ammonium. P4 D. thesis Agricultural University Wageningen.
- Buijsman, E., Maas, J.F.M. en Asman, W.A.H. (1984) Een gedetailleerde ammoniakemissiekaart van Nederland. Rapport R-84-20. Utrecht: Instituut voor Meteorologie en Oceanografie.
- Daftardar, S.Y. and Shinde, S.A. (1980) Kinetics of ammonia volatilization of anhydrous ammonia applied to a Vertisol as influenced by farm yard manure, sorbed cations and cation exchange capacity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 11, 135-145.
- Enckevort, P. van (1988a) Nitrificatieremmers en nitraatuitspoeling bij toediening van dierlijke mest. I. De stikstofhuishouding van de bodem en mogelijkheden van nitrificatieremmers ter beperking van nitraatuitspoeling. *Nota* 191, 40 p. Haren: IB.
- Enckevort, P. van (1988b) Nitrificatieremmers en nitraatuitspoeling bij toediening van dierlijke mest. II. Werking en gedrag van nitrificatieremmers in de grond. *Nota* 192, 49 p. Haren: IB.
- Enckevort, P. van (1988c) Nitrificatieremmers en nitraatuitspoeling bij toediening van dierlijke mest. III. Werking van nitrificatieremmers en hun effect op de N-huishouding van de bodem. *Nota* 193, 58 p. Haren: IB.
- Enckevort, P. van (1988d) Nitrificatieremmers en nitraatuitspoeling bij toediening van dierlijke mest. IV. Samenvatting delen I, II en III en aanbevelingen voor verder onderzoek. *Nota* 194, 19 p. Haren: IB.
- Enting, A.E., Straatman, F.A. en Lande Cremer, L.C.N. de la (1985) DCD, een nitrificatieremmer. *Nota* 143, 55 p. Haren: IB.
- Erisman, J.W., Leeuw, F.A.A.M. de en Aalst, R.M. van (1987) Depositie van de voor verzuring in Nederland belangrijkste componenten in de jaren 1980 t/m 1986. Rapport 228473001, 57 p. Bilthoven: RIVM.
- Faassen, H.G. van and Dijk, H. van (1987) Manure as a source of nitrogen and phosphorus in soils. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.G. (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30*, pp. 27-45. Dordrecht: Nijhoff.
- Faassen, H.G. van, Van der Molen, J. and Vriesema, R. (1987) Ammoniakemissie uit en vanaf de grond na in- of opbrengen van dierlijke mest. Nationaal programma zure regen, project 65 (IB-project 390). Kort verslag over de periode oktober 1986 t/m april 1987. Haren: IB.
- Freney, J.R., Simpson, J.R. and Denmead, O.T. (1983) Volatilization of ammonia. In Freney, J.R. and Simpson, J.R. (eds.), *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 9*, pp. 1-32. The Hague: Nijhoff.
- Gasser, J.K.R. (1987) The future of animal manures as fertilizer or waste. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.G. (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30*, pp. 259-278. Dordrecht: Nijhoff.

- Geurink, J.H. and Verbeek-Overmeer, J.L.R.M. (1987) The effect of a nitrification inhibitor on the utilization of nitrogen by grass from injected and surface-applied pig slurry. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.G. (eds.), Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30, pp. 377-379. Dordrecht: Nijhoff.
- Groenwold J. en Heringa, J.W. (1981) Urinebrandplekken in grasland 2. Samenstelling van koeie-urine en omzettingen in de grond. Bedrijfsontwikkeling 12, 459-462.
- Haynes, R.J. and Sherlock, R.R. (1987) Gaseous losses of nitrogen. In Haynes, R.J., Mineral nitrogen in the plant-soil system, pp. 242-302. Orlando, USA: Academic Press.
- Heck, A.F. (1931) Conservation and availability of the nitrogen in farm manure. Soil Science 31, 335-363.
- Hoff, J.D., Nelson, D.W. and Sutton, A.L. (1981) Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. Journal of Environmental Quality 10, 90-95.
- Huijsmans, J. en Snel, L. (1987) Het verregenen van mengmest. Landbouwmechanisatie 38, 1214-1217.
- Janssen, Th.W. (1985) Ammoniakproblemen in Nederland. Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij 10 (3), 25-33.
- Jarvis, S.G., Sherwood, M. and Steenvoorden, J.H.A.M. (1987) Nitrogen losses from animal manures: from grazed pastures and from applied slurry. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.G. (eds.), Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30, p. 195-212. Dordrecht: Nijhoff.
- Kolenbrander, G.J. (1981) Leaching of nitrogen in agriculture. In Brogan J.C. (ed.), Nitrogen losses and surface-run-off from landspreeding of manures. Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 2, pp. 425-430. The Hague: Nijhoff.
- Kolenbrander, G.J. en Lande Cremer, L.C.N. de la (1967) Stalmest en gier. Waarde en mogelijkheden, 188 p. Wageningen: Veenman & Zonen.
- Krause, R. (1988) Controlled land application of liquid manure and sewage sludge with tankers. In Welte, E. and Szabolcs, I. (eds.), Agricultural Waste Management and Environmental Protection, Volume 2, pp. 275-284. Belgrade, Braunschweig-Voelkenrode: CIEC, FAL.
- Lande Cremer, L.C.N. de la and Sluijsmans, C.M.J. (1987) Nitrogen fertilization of grassland under mowing; a potentially critical limit in relation to agriculture and environment. Poster presented at the International Symposium of the European Grassland Federation at Wageningen, 31 August - 3 September 1987. Haren: Institute for-Soil Fertility.
- Meer, H.G. van der (1985) Benutting van stikstof op weidebedrijven. Landbouwkundig Tijdschrift 97 (8), 25-28.
- Meer, H.G. van der, Thompson, R.B., Snijders, P.J.M. and Geurink, J.H. (1987) Utilization of nitrogen from injected and surface-spread cattle slurry applied to grassland. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.G. (eds.), Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30, pp. 47-71. Dordrecht: Nijhoff.
- Meer, H.G. van der and Uum-Van Lohuyzen, M.G. van (1986) The relationship between inputs and outputs of nitrogen in intensive grassland systems. In Meer, H.G. van der, Ryden, J.C. and Ennik, G.C. (eds.), Nitrogen fluxes in intensive grassland systems. Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 23, pp. 1-18. Dordrecht: Nijhoff.
- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principles of plant nutrition. 3rd edition, 635 p. Bern, Switzerland: International Potash Institute.
- Pankow, J. en Toorn, A. van den (1988) Invloed van nitrificatieremmers bij bouwland op zandgrond op de kwaliteit van het grondwater. Droevendaal 1986/1987. Nota 1844, 17 p. Wageningen: ICW.
- Pain, B.F., Thompson, R.B., Lande Cremer, L.C.N. de la and Holte, L. ten (1987) The use of additives in livestock slurries to improve their flow properties, conserve nitrogen and reduce odours. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.C. (eds.), Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30, pp. 229-246. Dordrecht: Nijhoff.
- Prins, W.H. (1980) Changes in quantity of mineral nitrogen in three grassland soils as affected by intensity of nitrogen fertilization. Fertilizer Research 1, 51-63.
- Prins, W.H. and Snijders, P.J.M. (1987) Negative effects of animal manure on grassland due to surface spreading and injection. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.C. (eds.), Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30, pp. 119-135. Dordrecht: Nijhoff.

-
- Salter, R.M. and Schollenberger, C.J. (1939) Farm manure. Ohio, USA: Ohio Agricultural Experimental Station.
- Schils, R. (1988a) Voorjaar is beste tijd voor injectie van drijfmest. *Boerderij* 73 (22), 56-57.
- Schils, R. (1988b) Verdunnen van drijfmest verhoogt stikstofwerking. *Boerderij* 73 (31), 46-47.
- Schröder, J. (1987) Toedienen van drijfmest in maïs. Verslag 61, 57 p. Lelystad: PAGV.
- Schröder, J. and Dilz, K. (1987) Cattle slurry and farmyard manure as fertilizers for forage maize. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.C. (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30*, pp. 137-156. Dordrecht: Nijhoff.
- Smith, K.A. and Dijk, T.A. van (1987) Utilisation of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and forage crops. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.G. (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences 30*, pp. 87-102. Dordrecht: Nijhoff.
- Snijders, P.J.M., Woldring, J.J., Geurink, J.H. en Meer, H.G. van der (1987) Stikstofwerking van geïnjecteerde runderdrijfmest op grasland. Rapport 103, 156 p. Lelystad: PR.
- Steenvoorden, J.H.A.M. (1985) Nutrient leaching losses following application of farm slurry and water quality considerations in the Netherlands. In Dam Kofoed, A., Williams, J.H. and Hermite, P. I' (eds.), *Efficient land use of sludge and manure*, pp. 168-176. Londen: Elsevier.
- Thompson, R.B., Ryden, J.C. and Lockyer, D.R. (1987) Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *Journal of Soil Science* 38, 689-700.
- Toorn, A. van den en Pankow, J. (1987) Invloed van nitrificatierepressoren bij bouwland op zandgrond op de kwaliteit van het grondwater. Droevendaal, 1985/186. Nota 1765, 13 p. Wageningen: ICW.
- Unwin, R.J. (1988) Application of dilute animal slurries to cereal crops in spring. In Welte, E. and Szabolcs, I. (eds.), *Agricultural Waste Management and Environmental Protection, Volume 1*, pp. 95-100. Belgrade, Braunschweig-Voelkenrode: CIEC, FAL.
- Vertregt, N. and Rutgers, B. (1988) Ammonia volatilization from grazed pastures. Report 84. Wageningen: CABO.
- Vetter, H. (1988) Economical and safe utilisation of slurry. In Welte, E. and Szabolcs, I. (eds.), *Agricultural Waste Management and Environmental Protection, Volume 1*, pp. 87-94. Belgrade, Braunschweig-Voelkenrode: CIEC, FAL.
- Vetter, H., Steffens, G. and Schröpel, R. (1987) The influence of different processing methods for slurry upon its fertiliser value on grassland. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.G. (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30*, pp. 73-86. Dordrecht: Nijhoff.
- Vuuren, A.M. van and Meijs, J.A.C. (1987) Effects of herbage composition and supplement feeding on the excretion of nitrogen in dung and urine by grazing dairy cows. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.C. (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30*, pp. 17-25. Dordrecht: Nijhoff.
- Wijnands, J.H.M., Aulsebrook, W.F. and Nijssen, J.M.A. (1987) Economic aspects of the use of animal manures. In Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van and Ennik, G.C. (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30*, pp. 247-257. Dordrecht: Nijhoff.
- Winkel, K. de (1988) Ammoniak-emissie factoren voor de veehouderij. Publicatiereeks Lucht 76. Den Haag: VROM.
- Winkel, K. de en Plassche, E. van der (1987) Ammoniak-emissiereductie: noodzaak en mogelijkheden. *Lucht en Omgeving* 4, 124-127.

3. Tot slot naar aanleiding studie Wadman

Ten tijde van en in aansluiting op de studie van Wadman (1988) zijn verschillende onderzoeken rondom mestinjectie uitgevoerd. Van Lanen en Wopereis (1992) publiceren de wetenschappelijke onderbouwing voor de mogelijke toepassing van mestinjectie op verschillende grondsoorten binnen Nederland. Wadman en Sluijsmans (1994) geven de betekenis van mestinjectie op grasland aan voor de bodemvruchtbaarheid en risico's voor nitraatuitspoeling.

Wouters en Huijsmans (1990) zetten verschillende methoden voor potentiële emissiebeperkende toediening op een rij, waarbij ze ook aandacht geven aan ondiepe injectie waarbij de injectiesleuf gesloten wordt (zode-injectie). De zode-injecteur was uitgevoerd met kleinere “ganzenvoeten” dan de mestinjecteur om zo horizontale doorsnijding onder de graszode te beperken.

In de periode 1989-1992 werd een praktijkpilot opgezet binnen Brabant ter introductie van emissiearme mesttoediening (ProPro). In deze pilot werden gedurende 3 jaar op brede schaal ervaringen opgedaan in de praktijk met mestinjectie, zode-injectie en zodenbemesting, toegepast op zandgrond (Hoekstra (1992); Loonen (1992), Geurink et al. (1992)). In het algemeen bleek emissiearme mesttoediening goed toepasbaar, maar met een aantal factoren moet rekening worden gehouden. Bij de tijdbehoefte (capaciteit/kosten) speelt vooral de vorm en de ligging van de percelen een rol. Per m³ mest bij de verschillende technieken was de tijdbehoefte gelijk. Wel is de spreiding groot. Verder vormen aanvoer, vullen, transport en keren op het perceel een groot deel van de tijdbehoefte. Grote negatieve effecten op de graszode zijn als gevolg van emissiearme toediening niet te verwachten. Goed graslandmanagement en de keuze van het juiste tijdstip en techniek kan veel schade voorkomen.

Om problemen met de kwaliteit van het gewas te beperken dient bij de bemesting ten eerste de gift zoveel mogelijk afgestemd te worden op de behoefte. Maar ook het aanpassen van kunstmestgift aan de dierlijke mestgift is zeer belangrijk. De deelnemers waren over de resultaten destijds zeer tevreden.

Eerste metingen naar de ammoniakemissie bij mesttoediening werden uitgevoerd waarbij bovengronds breedwerpig verspreiden onder andere werd vergeleken met de potentieel emissiebeperkende mesttoedieningstechnieken mestinjectie, zodenbemesting en sleepvoettoepassing. Huijsmans et al. (1997) geven een significante reductie van de emissie aan door deze technieken, waarbij de emissie bij mestinjectie geminimaliseerd wordt.

In 2010 heeft een evaluatie plaatsgevonden van emissiearme mesttoediening (De Haan, 2009), waarbij ook gekeken is naar alternatieve emissiebeperkende maatregelen en nevenaspecten (Huijsmans en Verwijs, 2008; Huijsman et al., 2008; Huijsmans et al., 2016).

Mesttoediening met een sleepvoet was met name een toepassing voor op klei- en veengrond. In 2013-2017 is onderzoek verricht naar het emissie-effect van verdunning van de mest bij toepassing van een sleepvoet. In 2018 werd de toepassing van mesttoediening met een sleepvoet alleen toegestaan indien de mest verdund was kort voor het toedienen.

Het in een 2e werkgang inwerken op bouwland werd alleen nog toegestaan voor vaste mest; zodenbemesting werd voorgeschreven voor het toepassen van drijfmest in graan (voorjaar).

Referenties

- Bosma, A.H., Klarenbeek, J.V., & Krauze, R. (1976). Werktuigen en systemen voor het stankvrij uitrijden van mengmest. (Publikatie / Instituut voor mechanisatie, arbeid en gebouwen; No. no. 67). IMAG.
<https://research.wur.nl/en/publications/werktuigen-en-systemen-voor-het-stankvrij-uitrijden-van-mengmest>
- Bosma, A.H., Cappon, A., & Klarenbeek, J.V. (1977). Ontwikkeling van een onderzoek aan een zelfrijdende mestinjecteur. (Publikatie / Instituut voor mechanisatie, arbeid en gebouwen; No. 87). IMAG.
<https://research.wur.nl/en/publications/ontwikkeling-van-een-onderzoek-aan-een-zelfrijdende-mestinjecteur>
- Buitink, W.J. (1985). De ontwikkeling van een praktijkmachine voor het injecteren van mengmest. (IMAG publikatie. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen; No. 214). I.M.A.G.
<https://research.wur.nl/en/publications/de-ontwikkeling-van-een-praktijkmachine-voor-het-injecteren-van-mengmest>
- De Haan, B.J. (2009) Emissiearm bemesten geëvalueerd. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) PBL-publicatienummer 500155001; 64 p.
<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/500155001.pdf>
- Geurink, J.H., Hoekstra, H., & Loonen, J.W.G.M. (1992). Emissie-arm mest toedienen in PROPRO. Praktijkonderzoek / Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Waiboerhoeve, 5(4), p. 12-16.
<https://research.wur.nl/en/publications/emissie-arm-mest-toedienen-in-propro>
- Hoekstra, H. (1992). Dosering en tijdbesteding bij mestinjectie, zodeinjectie en zodebemesting. Praktijkonderzoek /

-
- Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Waiboerhoeve, 5(1), p. 40-43.
<https://edepot.wur.nl/47574>/Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. and Bussink, B.W. (1997). Reduction of Ammonia Emission by New Slurry Application Techniques on Grassland. In: Jarvis, S.C. and Pain, B.F. (eds) Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands. CAB International, Wallingford, Oxon, pp 281-285.
<https://repository.rothamsted.ac.uk/item/85108/gaseous-nitrogen-emissions-from-grasslands>
- Huijsmans, J.F.M., Schröder, J.J., Vermeulen, G.D., de Goede, R.G.M., Kleijn, D. & Teunissen, W.A. (2008). Emissiearme mesttoediening : ammoniakemissie, mestbenutting en nevenaspecten, Wageningen: Plant Research International. 66 p. Rapport / Plant Research International; no. 195.
- Huijsmans, J.F.M. & Verwijs, B.R. (2008). Ammoniakemissie bij alternatieve mesttoedieningsmethoden: deskstudie. Wageningen: Plant Research International. 26 p. Rapport / Plant Research International; no. 220.
- Huijsmans, J.F.M., Schroder, J., Mosquera, J., Vermeulen, G.D., Ten Berge, H.F.M. & Neeteson, J.J. (2016). Ammonia emissions from cattle slurries applied to grassland: Should application techniques be reconsidered? In: Soil Use and Management. 32, p. 109-116
- Loonen, J.W.G.M. (1992). Ervaringen met het bemestingsadviesprogramma in ProPro . Praktijkonderzoek / Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Waiboerhoeve, 5 (1), p. 14-17.
<https://edepot.wur.nl/47629>
- Van Lanen, H.A.J. en Wopereis, F.A. (1992). Computer-captured expert knowledge to evaluate possibilities for injection of slurry from animal manure in the Netherlands. Geoderma, Vol. 54, p 107-124.
[https://doi.org/10.1016/0016-7061\(92\)90100-L](https://doi.org/10.1016/0016-7061(92)90100-L)
- Wadman (Ed.), (1988). Mestinjectie; mogelijkheden, voordelen en problemen, DLO Rapport, p. 64, Wageningen. <https://wur.on.worldcat.org/oclc/71450497>
- Wadman, W. P., & Sluijsmans, C. M. J. (1992). Mestinjectie op grasland : de betekenis voor de bodemvruchtbaarheid en risico's voor nitraatspoeling : Ruurlo 1980 - 1984. (Rapport / DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid). Instituut voor Bodemvruchtbaarheid.
- Wouters, A.P. & Huijsmans, J.F.M. (1990). Methoden voor emissie-arme mestaanwending. In: Praktijkonderzoek / Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Waiboerhoeve. 3, 3, p. 7-12;
<https://edepot.wur.nl/47747>

Bijlage M Elementafstanden, sleufbreedte en ammoniakemissie bij mesttoediening op grasland

Opstellers: Jeroen Pijlman en Wim Bussink

Vraag: Kan een wat grotere elementafstand of kleinere sleufbreedte minder ammoniakemissie geven bij een vergelijkbare grasopbrengst en -kwaliteit?

1. Aanleiding

Zodenbemesters, sleepvoetbemesters en sleufkouterbemesters zijn ontwikkeld vanuit het principe om het contactoppervlak tussen mest en atmosfeer te verkleinen, en zo de emissie van ammoniak te beperken. Ten opzichte van volvelds bemesten met een ketsplaat doen deze technieken dit effectief, waarbij de zodenbemester gemiddeld de laagste ammoniakemissie geeft omdat de mest niet op maar grotendeels in de bodem wordt gebracht.

Zodenbemesters, sleepvoetbemesters en sleufkouterbemesters hebben in de praktijk vaak een elementafstand (rijafstand) van ca. 18 tot 20 cm. Bij de start van de ontwikkeling van zodenbemester zo'n 35 jaar geleden zijn diverse elementafstanden toegepast, ook tot 25 cm. De elementafstand is waarschijnlijk verkleind tot de huidige 18-20 cm omdat men dacht dat dit beter zou zijn voor de N-benutting van gras. Dit is deels gebaseerd op visuele waarnemingen van kleurverschillen tussen de elementen (sleuven) die zichtbaar waren na bemesting, maar ook door verdere standaardisatie van machines (bemesters). Wettelijk mag een sleuf niet breder zijn dan 5 cm, en mag de mest niet over de randen van de sleuf komen. Bij een elementafstand van 18 cm zou dat betekenen dat bijna 28% van het grasland met mest bedekt mag zijn. Hierbij is aangenomen dat er geen mest op gras ligt en de bodem vlak is. In de huidige praktijk produceren de meeste machines een veel smallere sleufbreedte van ca. 2-3 cm. Vanuit het oogpunt van grasgroei en lage ammoniakemissies is een lage bedekking van bodem met mest wenselijk, omdat op de plaats waar mest ligt vaak weinig gras groeit.

Een verkenning is gemaakt naar het effect van een grotere elementafstand of smallere sleufbreedte in relatie tot mestbenutting, ammoniakemissie, mestgiften en eventuele nevenaspecten (o.a. trekkracht en zodebeschadiging). Deze verkenning is mede uitgevoerd in het licht van:

- Passen kleinere mestgiften bij een machine met grotere elementafstanden, omdat sleufjes weinig of niet breder hoeven te worden als minder mest per hectare wordt uitgereden of passen de kleinere mestgiften bij een smallere sleufbreedte.

2. Elementafstand, sleufbreedte en emitterend oppervlak

Er is een theoretisch verband tussen de elementafstand, de mestgift, de snijdiepte van de zodenbemester, de vorm van de sleuf, de sleufbreedte en het contactoppervlak van de toegediende mest met de atmosfeer (emitterend oppervlak voor ammoniak).

- Een grotere elementafstand betekent minder sleufjes met mest in het land.
- Lagere mestgiften passen beter in sleufjes waardoor ze een relatief kleiner contactoppervlak kunnen opleveren.
- Diepere sleufjes betekenen een grotere hoeveelheid mest die in een sleufje past.
- De sleufvorm kan bepalend zijn voor de hoeveelheid mest die erin past. Dus, als een grotere elementafstand samen kan gaan met iets dieper bemesten of andere sleufvorm waardoor de breedte van

meststrookje niet verandert, of samen kan gaan met kleinere mestgiften, zal het contactoppervlak (oppervlak met mest bedekt grasland) tussen mest en atmosfeer kleiner worden. En als bij een gelijke elementafstand de sleufbreedte kan worden verkleind door iets dieper te bemesten en/of door een andere sleufvorm, zal ook het contactoppervlak tussen mest en atmosfeer kleiner worden. Bij de theoretische aanname dat er een correlatie is tussen contactoppervlak van mest en atmosfeer en ammoniakemissie, volgen de hypothesen:

- 1) Met een grotere elementafstand kan de ammoniakemissie van graslandbemesting worden beperkt vanwege verkleining van het contactoppervlak tussen mest en atmosfeer.
- 2) Met een smallere sleufbreedte kan de ammoniakemissie van graslandbemesting worden beperkt vanwege verkleining van het contactoppervlak tussen mest en atmosfeer.

Het uitgangspunt daarbij is dat mest netjes wordt toegediend (gift past in de sleuf).

3. Emitterend oppervlak en ammoniakemissie

Er is hoogstwaarschijnlijk een verband tussen contactoppervlak van mest met de atmosfeer bij bemesten en ammoniakemissie, echter het is aannemelijk dat dit verband niet lineair is. Het transport van ammoniak naar de atmosfeer is een complex proces. De dampdruk boven een oppervlak (bemeste en onbemeste delen grasland) is bij een grotere elementafstand initieel lager dan bij een kleinere elementafstand (bij gelijke sleufbreedte). Tegelijkertijd kan een grotere elementafstand met een kleiner contactoppervlak betekenen dat er een grotere voorraad mest is onder een strookje van het contactoppervlak, wat ervoor zorgt dat de drijvende kracht voor emissie langer aanhoudt (een soort feedback mechanisme). Verder is de concentratiegradiënt in de lucht boven de mest (mogelijk) groter vanwege een grotere afstand tot de buursleuf, maar het is niet duidelijk hoe groot dit effect is. Hoe deze effecten zich cumulatief over een periode uitwerken op ammoniakemissie is onduidelijk en kwantitatieve gegevens over hoe groot dit effect kan zijn ontbreken tot dusver.

4. Onderzoek naar hypothesen

De hypothesen kunnen op verschillende manieren worden onderzocht:

- 1) Via een rekenkundige benadering kan de potentie van een grotere elementafstand of van een smallere sleuf op het contactoppervlak tussen mest en atmosfeer bij bemesten worden uitgerekend. In deze bijlage is een berekening weergegeven.
- 2) Via een analyse van proeven naar ammoniakemissie die sinds 1988 zijn uitgevoerd is mogelijk een verband af te leiden tussen emissie en contactoppervlak. Bij bovengronds uitrijden moet er dan rekening mee gehouden worden dat gras besmeurd is met mest; de mest ligt deels op het gras en deels ertussen, en dat dit van invloed is op de grootte van het contactoppervlak tussen mest en atmosfeer.
- 3) Via proeven op laboratoriumschaal of in het veld:
 - In het laboratorium kan het effect van sleufbreedte en snijdiepte op contactoppervlak en ammoniakemissie worden onderzocht voor verschillende doseringen, waarbij de mest gelijk ligt met het maaiveld (in het sleufje).
 - Vervolgens kan worden geëxtrapoleerd naar een veldsituatie voor verschillende sleufafstanden. Een optie voor veldonderzoek is proeven te doen met machines waar kouters om en om worden afgesloten, maar daarbij moet ook de interactie met mestgift en diepte meegenomen worden.

5. Literatuur over elementafstand, benutting drijfmest en grasgroei

In het verleden is onderzoek gedaan naar de elementafstand van graslandbemesters (Prins & Snijders, 1987; Mulder en Huijsmans, 1994). Uit proeven met een elementafstand van 50 cm en mestinjectie werd geconcludeerd dat dit geen goede verdeling van nutriënten gaf (zie *Table 4* afgeleid van Snijders et al. 1987 en *Figure 2* uit Prins & Snijders, 1987). Belangrijk verschil met de huidige tijd is dat in de graslandproef in *Table 4* een mestgift van 80 ton/ha was gebruikt, én dat deze proef is gedaan met een injecteur die op ca. 15-20 cm diepte werkte (zie bijlage L). Mogelijk geeft deze proef daarom een wat vertekend beeld ten opzichte van de huidige situatie met kleinere giften en ondiepere zodenbemesting. Als reden dat er destijds

bij de ontwikkeling van de injecteur is gekozen voor een elementafstand van 50 cm, wordt genoemd dat dit het 'optimum' is tussen zodebeschadiging, het risico op het 'omklappen' van de zode en de benutting van mest (Snijders et al. 1987). Op basis van de destijds uitgevoerde landbouwkundige proeven voor mestinjectie (zie o.a. Wadman & Sluijsmans, 1992) op 50 cm rijafstand is een N-jaarwerking van 92% afgeleid voor de N_{min} in mest en 28% voor de organische N in mest, met daarbij een uitsplitsing over 4 sneden (Anon, 1997).

De metingen aan fosfaat in gras zijn echter wel uitgevoerd met een gift van 40 ton/ha wat dicht bij de huidige praktijk ligt. Maar ook dit was een proef met een injecteur, waarbij mest op ruim 15 cm diepte is geplaatst. Fosfaat is bovendien weinig mobiel in de grond. De graswortels moeten naar het fosfaat toe groeien. Gras is daartoe zeer goed in staat, zo blijkt uit een vakkenproef van De Willigen & Van Noordwijk (1987). De drogestof- en fosfaatopbrengst uit een profiel met een P-AL-getal van 35 in laag 0-5 cm-mv en van 10 in laag 5-20 cm-mv en die van een profiel met een P-AL-getal van 10 in laag 0-15 cm-mv en van 35 in laag 15-20 cm-mv waren opvallend gelijk. Mogelijk neemt het groeien van de wortels naar de mest meer tijd bij een grotere elementafstand, of heeft het grasland tijd nodig zich aan te passen op een grotere elementafstand. Wanneer een grotere elementafstand tot een tragere benutting van nutriënten leidt uit mest kan dit mogelijk negatief zijn voor de benutting of kan dit leiden tot het wat later op gang komen van de groei bij voorjaarsbemesting. Met name als dit leidt tot een verschuiving van grasgroei van de eerste naar de tweede snede kan dit ook een negatief effect betekenen voor de voederwaarde. Voor zover bekend is er echter geen vergelijkend onderzoek met verschillende elementafstanden waaruit dit blijkt. Eind jaren 80 is ook gekeken naar de P-opname bij zodenbemesting (Den Boer et al., 1995a, 1995b). Deze werd op basis van voorgaande proeven toen bepaald op 50% bij een rijafstand van 20 cm (bemestingsadvies.nl). Tegelijk is mede op basis van latere proeven geconstateerd dat de fosfaatwerking heel variabel is en bepaald wordt door o.a. P-toestand van de grond en het weer (onder droge omstandigheden nauwelijks P-werking na bemesting) (mondelinge mededeling Jantine van Middelkoop). Is de P-toestand van de grond te laag of vrij laag, dan kan P-bemesting dat niet compenseren; dat geldt zowel bij gras als maïs. De P-bemesting met mest is vooral van belang om de P-toestand te handhaven (op langere termijn werkt de P uit mest volledig) (Bussink et al., 2011). In het bemestingsadvies voor grasland wordt voor injectie daarmee rekening gehouden; 20% directe werking en 80% werking navolgende sneden.

Table 4. Variation in chemical composition of herbage at different distances from the injection slit at two sampling dates. Spring injection of cattle slurry at a rate of 80 t ha⁻¹, no N fertilizer applied [27]

Sampling date and distance, cm	DM, % in fresh material	N, % in DM	NO ₃ ⁻ -N % in DM
27 May 1980			
0-5	16.3	3.73	0.14
5-15	16.5	3.47	0.08
15-25	16.7	3.08	0.06
9 June 1981			
0-5	13.5	4.18	0.51
5-15	13.6	3.79	0.32
15-25	15.0	3.67	0.23

Mulder & Huijsmans (1994) geven de resultaten van een proef naar het effect van twee sleufafstanden die onderling vergeleken zijn m.b.t. de ammoniakemissie. In een experiment werden 2 proefvelden met een sleufafstand van 15 cm aangelegd en twee proefvelden met een sleufafstand van 22 cm. De resultaten van dit experiment gaven geen aanleiding om aan te nemen dat de sleufafstand een effect had op de ammoniakemissie.

Ook zijn er proeven gedaan met ammoniakinjectie bij tarwe en aardappelen met elementafstanden van 30, 40 of 50 cm, waarbij is vastgesteld dat 30 cm afstand tussen de tanden de hoogste benutting van ammoniak gaf (Van Burg et al., 1967). Ook vonden zij dat bij verschillende injectiediepten van ammoniak onder grasland (5, 10 of 15 cm-mv), bij dieper injecteren het gras later opgroende na bemesting. Voor ammoniak

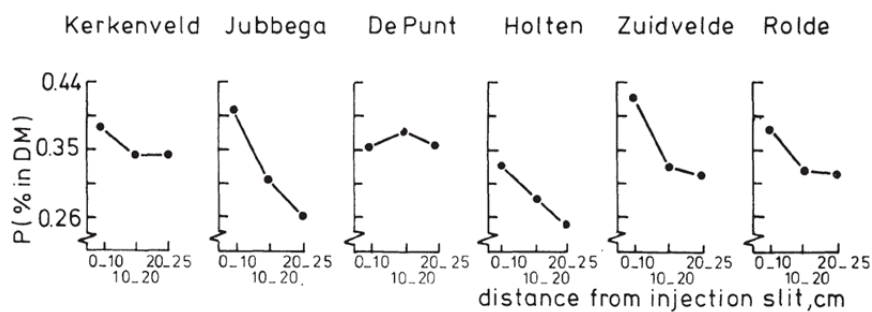


Figure 2. Effect of distance from the injection slit of cattle slurry, injected at a rate of 40 t ha^{-1} in March/April, on P concentration of herbage cut in May at distances of 0–10, 10–20 and 20–25 cm from the injection slit in P deficient sandy soils at six locations (M. van Noordwijk, unpublished).

bleek ondieper injecteren gunstiger voor de grasgroei, wat mogelijk ook te maken heeft met het effect van dieper snijden.

Uit proeven met mest- en urineplekken komt naar voren dat gras tot op 15 cm van de rand van een mestflat stikstof kan opnemen uit de mestflat (MacDiarmid & Watkin, 1972 en Weeda, 1977). Deenen & Middelkoop (1992) hebben zowel voor mestflaten als urine een werking van zeker tot 15 cm vastgesteld. Uit het studentenverslag van Middelkoop (1989) valt een werking tot zeker 30 cm af te leiden (verhoogde N-gehalten).

Samenvattend kan worden gesteld dat er vanuit literatuur aanwijzingen zijn dat de elementafstand van 25 cm of wat meer in grasland toegepast zou kunnen worden, maar uit literatuur is niet goed af te leiden wat korte en lange termijn effecten hiervan zijn op de grasgroei en -kwaliteit, en de relatie met ammoniakemissie. Indien met proeven kan worden onderbouwd dat een grotere elementafstand daadwerkelijk leidt tot minder ammoniakemissie, kan het waardevol zijn onderzoek te herhalen in meerjarige proeven (zodat het gras tijd heeft zich eventueel aan te passen), maar dan bij de huidige toegepaste mestgiften (in grasland dat al jaren met een lagere gift is bemest) en bij bemesting met een zodenbemester (in plaats van diepe injectie) om effecten op mestbenutting, grasgroei en -kwaliteit vast te stellen. Daarbij moeten dan ook nevenaspecten meegenomen worden zoals benodigde trekkracht en het risico op eventuele zodebeschadiging.

6. Andere aspecten van een grotere elementafstand

Naast de aspecten contactoppervlak tussen mest en atmosfeer, en stikstof en fosfaatbenutting, spelen ook andere aspecten een rol bij een grotere elementafstand ten opzichte van de huidige praktijk:

- Mogelijk is er een betere grasgroei door minder sleuven. Op de plek waar een sleuf is kan geen gras groeien. Wel trekken sleuven na een periode weer dicht (snelheid afhankelijk van de omstandigheden).
- De kans op besmeuring van het gras kan reduceren, doordat er minder strookjes met mest zijn. Overigens is er niet in alle situaties sprake van besmeuring van het gras, omdat dit van de omstandigheden zoals afstelling van de machine, openheid van de zode en graslengte afhangt.
- De benodigde trekkracht verandert bij een grotere elementafstand doordat er minder elementen door de bodem hoeven te worden getrokken. Echter, bij een grotere elementafstand moet bij eenzelfde giftgrootte wel meer mest in de sleuf geborgen worden. Dat betekent dat de sleuf dieper moet zijn. Dit vraagt per sleuf meer trekkracht. Bij dieper werken en meer trekkracht neemt het risico op zodebeschadiging toe.
- Er zullen mogelijk minder openstaande sleuven zijn met verschijnselen van droogteschade (er zijn er gewoon minder). Anderzijds kunnen sleuven die iets dieper zijn langer open blijven staan.

7. Theoretische daling emitterend oppervlak

In tabel 3 deze bijlage is een berekening weergegeven van de verandering van het emitterend oppervlak bij verschillende sleufbreedtes en elementafstanden. Bij de aanname dat in de huidige praktijk sleufjes van 2,5 cm breedte worden gemaakt met een elementafstand van 18 cm, blijkt dat het vergroten van de elementafstand van 18 naar 25 cm een afname van het emitterend oppervlak van 27% oplevert en bij het vergroten van 18 naar 35 cm 47% afname oplevert, bij een gelijke sleufbreedte van 2,5 cm. Neemt de sleufbreedte toe naar 3 cm, dan is er netto 13 tot 37% minder contactoppervlakte bij een elementafstand van 25 en 35 cm respectievelijk.

Een vergroting van 2,5 naar 3 cm of een verkleining van 2,5 naar 2 cm sleufbreedte geeft respectievelijk 18% meer en 19% minder contactoppervlak tussen mest en atmosfeer, mits de mest in het sleufje past en bij een elementafstand van 18 cm.

Tabel 3. Theoretische toe- of afname van het emitterend oppervlak bij verschillende elementafstanden en sleufbreedtes. Noot: in de berekening is geen rekening gehouden met een veranderende vorm van de sleuf in relatie tot sleufbreedte of elementafstand.

Scenario	Sleuf-breedte (cm)	Element-afstand (cm)	Breedte niet bedekt oppervlak tussen sleuven (cm)	Grasland oppervlak bedekt met mest (ha bedekt met mest/1 ha)	Verandering contact-oppervlak mest t.o.v. scenario D (%)
A	5,0	18	15,50	0,24	88
B	4,0	18	16,00	0,20	54
C	3,0	18	16,50	0,15	18
D	2,5	18	16,75	0,13	0
E	2,0	18	17,00	0,11	-19
F	1,5	18	17,25	0,08	-38
G	5,0	25	22,50	0,18	40
H	4,0	25	23,00	0,15	14
I	3,0	25	23,50	0,11	-13
J	2,5	25	24,75	0,09	-27
K	2,0	25	24,00	0,08	-41
L	1,5	25	24,25	0,06	-55
M	5,0	35	32,50	0,13	3
N	4,0	35	33,00	0,11	-17
O	3,0	35	33,50	0,08	-37
P	2,5	35	34,75	0,07	-47
Q	2,0	35	34,00	0,06	-57
R	1,5	35	34,25	0,04	-68

8. Conclusies

1. Vergroten elementafstanden van 18 naar 35 cm bij een sleufbreedte van 2,5 cm kan theoretisch het emitterend oppervlak met ongeveer de helft laten dalen bij zodenbemesten, mits de sleufbreedte niet verandert. Bij een sleufbreedte tot 4 cm is er bij deze vergroting van elementafstanden nog een verlaging van het emitterend oppervlak.
2. Bij een grotere elementafstand en gelijke dosering verandert de verhouding tussen emitterend oppervlak en mest onder het strookje, wat hoogstwaarschijnlijk het transport van ammoniak uit de mest naar de atmosfeer beïnvloedt. Hoe dit precies uitwerkt op de uiteindelijke ammoniakemissie is nog onduidelijk.
3. Voor zover bekend zijn er geen studies gedaan naar de relatie tussen elementafstand, mestbenutting, grasgroei en -kwaliteit bij mestgiften die nu gebruikelijk zijn in de praktijk en na bemesting met een zodenbemester. Indien er met proeven kan worden onderbouwd dat een grotere elementafstand daadwerkelijk leidt tot minder ammoniakemissie, is het aan te raden onderzoek te doen naar graslandeffecten om te kunnen onderbouwen of onder praktijkomstandigheden het werken met een grotere elementafstand een effect heeft op de mestbenutting, grasgroei en -kwaliteit en het eventuele risico op zodebeschadiging en de benodigde trekkracht.
4. Vergroting van de sleufstand heeft een direct gevolg voor trekkracht, benodigde ruimte voor de emissiebeperkende mestplaatsing en eventuele risico's voor zodebeschadiging (o.a. ten gevolge van dieper werken en daarbij ook behorende trekkracht).

Literatuur

- Anonymus (1997). Handboek Rundveehouderij 1997. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden Lelystad, pp. 519.
- Bussink, D.W., R.R. Bakker, H. van den Draai & E.J.M. Temminghoff (2011). Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest: deel 2 grasland. Nutriënten Management Instituut, rapport 1246.2.
- Deenen, P.J.A.G. & Middelkoop, N. (1992). Effects of cattle dung and urine on nitrogen uptake and yield of perennial ryegrass. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 40. 469-482.
- De Willigen, P. & Van Noordwijk, M. (1987). Roots, plant production and nutrient use efficiency. PhD thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 282 pp.
- Den Boer, D, Van Middelkoop, J, Andre, G., Wouters, A. & Everts, H. (1995a). Fosfaatwerking van dunne rundermest op grasland bij jaarlijkse injectie en bij zodebemestting . *Meststoffen* 1995. Pag 24- 31. NMI-Wageningen.
- Den Boer, D, Van Middelkoop, J, Andre, G., Wouters, A. & Everts, H. (1995b). Effecten van fosfaattoestand en -bemesting op graslandopbrengst en P-gehalten. *Meststoffen* 1995. Pag 32- 40. NMI-Wageningen.
- MacDiarmid B.N. & Watkin, B.R. (1972). THE CATTLE DUNG PATCH. 2. Effect of a dung patch on the chemical status of the soil, and ammonia nitrogen losses from the patch. *Grass and Forage Science* Volume 27, Issue1, Pages 43-47.
- Middelkoop, N. (1989). Effecten van mest en urine op de productiviteit van grasland. Vakgroep Landbouwplantenteelt en graslandkunde. Wageningen 109 pp.
- Mulder, L.M. & J.F.M. Huijsmans (1994). Beperking ammoniakemissie bij mesttoediening. Overzicht metingen DLO-veldmeetploeg 1990-1993. <https://groenkennisnet.nl/zoeken/resultaat/beperking-ammoniakemissie-bij-mesttoediening--overzicht-metingen-dlo-veldmeetploeg-1990-1993?id=205048>
- Prins, W.H. & P.J.M. Snijders (1987). Negative effects of animal manure on grassland due to surface spreading and injection. In: H.G. v.d. Meer, et al. (eds.), *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops*. 1987. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. ISBN 978-94-010-8137-5.
- Snijders, P J M, Woldring, J J, Geurink, J H and Meer, H G van der (1987). Stikstofwerking van geïnjecteerde runderdrijfmest op grasland. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Rapport no. 103.
- Van Burg, P.F.J., van Brakel, G.D. & Schlepers, J.H. (1967). The agricultural value of anhydrous ammonia on grassland experiments 1963-1965. *Netherlands nitrogen technical bulletin*. Nr 2. The Hague. Pp. 31.
- Wadman, W. P., & Sluijsmans, C. M. J. (1992). Mestinjectie op grasland : de betekenis voor de bodemvruchtbaarheid en risico's voor nitraatspoeling : Ruurlo 1980 - 1984. (Rapport / DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid). Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. Pp. 50.
- Weeda, W.C. (1977). Effect of cattle dung patches on soil tests and botanical and chemical composition of herbage. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 20: 471-478.

Het innovatieprogramma 'Bemest op z'n Best' wordt uitgevoerd door een consortium bestaande uit Wageningen Research (WR), Nutriënten Management Instituut (NMI), Stichting Louis Bolk Instituut (LBI), Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO), Delphy B.V. en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) in samenwerking met PPP Agro Advies en Monique Paes Marketing & Interieur.

Correspondentie adres voor dit rapport:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/plant-research
Rapport WPR-1501



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
