



Verlaging NH_3 -emissie door toepassing triple spray in combinatie met krijtsuspensie

1750.N.18

D.W. Bussink

D. Thijssen

S. Verweij

Referaat

Bussink DW, Thijssen D & Verweij S (2020). Verlaging NH₃-emissie door toepassing triple spray in combinatie met krijtsuspensie, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1750.N.18, pp 26.

Deze studie onderzoekt de perspectieven van het verminderen van de ammoniakemissie bij het toedienen van mest via een sleufkouterbemester door tijdens de mesttoediening verdunde krijtsuspensie over de meststroken te sproeien (Triple Spray). Daartoe zijn in 2019 en 2020 drie volveldse metingen uitgevoerd waarin verschillende verdunningen van krijtsuspensie toegediend met de Triple Spray zijn vergeleken met zodenbemesting voor mestgiftten van ongeveer 20 m³ per ha. De resultaten kunnen een antwoord geven of Triple Spray in combinatie met verdunde krijtsuspensie een oplossingsrichting is voor het emissiearm toedienen van mest op veen- en kleigrasland.

© 2020 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Slootsmid, Kreco, ZuivelNL

digitaal

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	4
2 Materiaal en methode	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Laboratoriumproef	5
2.3 Meetmethode en opzet veldproef	6
2.3.1 Algemeen	6
2.3.2 Locatie en aanleg	7
2.3.3 De meetmethodiek voor volvelds meten	8
2.3.4 Gebruikte apparatuur en uitgevoerde metingen	9
3 Resultaten labproeven	11
3.1 Mestmonster	11
3.2 Emissieresultaten labproef	11
4 Resultaten veldproeven	14
4.1 Proefuitvoering	14
4.2 Emissieresultaten	19
5 Discussie	22
5.1 Emissieresultaat	22
5.2 De emissiemeettechniek	22
5.3 Triple Spray en krijtsuspensie	23
6 Conclusies en aanbevelingen	25
Referenties	26

Samenvatting en conclusies

Op veen- en kleigrasland mag mest alleen worden toegediend met de zodenbemester of via de sleepvoetenmachine indien 50% water aan de mest is toegevoegd. Vanwege het risico op zodebeschadiging of omdat op kleigrond onder droge omstandigheden moeilijk sleuven kunnen worden gemaakt is de zodenbemester is vaak geen optie. Het toedienen van extra water via sleepvoeten is technisch goed mogelijk maar de borging ervan is relatief duur. Daarom is er behoefte aan alternatieven.

Een alternatief is mesttoediening via de sleufkoutermachine (een sleepvoet waarbij de elementen op de bodem drukken, om de mest op de bodem tussen het gras te krijgen) met opbouwapparatuur van Slootsmid (de Triple Spray) waarmee in één werkgang een mix van water en krijtsuspensie (van Kreco) over de meststroken wordt gespreid. In 2019 en 2020 is experimenteel onderzoek uitgevoerd, eerst in het laboratorium en later in het veld. Het labonderzoek was gericht op het vaststellen van de optimale verhouding van water en krijtsuspensie (soortelijke gewicht 1,45 kg per m³ en 25 NW per 100 kg) op het reduceren van de ammoniakemissie via emissiemetingen met fluxkamers. In het veldonderzoek op veengrasland te Rhenen is het effect van de beste mengverhoudingen van water en krijtsuspensie op de reductie van de ammoniakemissie getest met de veldse micro-meteorologische methode ZINST. Daarbij worden de ammoniakconcentratie en windsnelheid op een karakteristieke hoogte boven het veld gemeten. Voor de ammoniakmetingen zijn ALPHA passieve diffusie samplers gebruikt. Uit de meetgegevens is op basis van een rekenmodel de ammoniakemissie berekend. Er zijn 3 meetrondes uitgevoerd; in augustus 2019 en in mei en juni 2020, met per meetronde 3 Triple Spray (TS) krijtsuspensie behandelingen. Deze zijn vergeleken met zodenbemesten (ZB) als referentie. De proefveldjes hadden een doorsnede van 25 meter.

Het laboratorium onderzoek wees uit dat op hectare basis mengverhoudingen van 0,7 m³ water met 0,35 en 0,7 m³ krijtsuspensie het beste emissiebeperkende resultaat geven. Dit waren ook de streefwaarden voor 2 behandelingen in het veld. De krijtsuspensie door mest mengen had weinig effect maar is ook als behandeling meegenomen in het veld.

De 3 veldmetingen laten zien dat het toedienen van verdunde krijtsuspensie in 5 van de 7 metingen een duidelijk lagere NH₃-emissie geeft dan zodenbemesting (in juni is de krijtsuspensie gemengd door mest vervangen door nog een behandeling met toediening op de meststrook omdat krijtsuspensie gemengd door mest geen emissiereductie geeft). Eén meting vertoont een gelijkwaardig resultaat met dat van zodenbemesting en één meting geeft een hogere waarde. Gemiddeld over de 7 metingen bedraagt de emissiereductie 28% ten opzichte van de referentie zodenbemesting. De gemiddelde mestgift bedraagt respectievelijk 22,8 (TS) en 21,6 m³ (ZB) per ha. Gemiddeld is per ha 1,9 m³ verdunde krijtsuspensie toegediend, overeenkomend met 275 NW (neutraliserende waarde) per ha. Er is geen significante pH stijging op het veengrasland gemeten. De resultaten laten verder zien dat het emissie reducerend effect groter is naarmate er meer krijtsuspensie is toegediend. Op basis van de resultaten over 3 meetronden kan voorzichtig gesteld worden dat 20 m³ mest in combinatie met TS toediening van een verdunde krijtsuspensie (1,5-2,0 m³ per ha) met 200 NW een emissiereductie van 25% geeft ten opzichte van zodenbemesting. De gerealiseerde emissiereductie ten opzichte van de emissiefactor voor sleufkouterbemesting (24,8%) is berekend op 45%. De sproeitechniek op de sleufkouter kan in principe ook op de zodenbemester worden toegepast om zo ook bij

zodenbemesting een forse emissiereductie te bewerkstelligen door toediening van verdunde krijtsuspensie. Dit vergt nader onderzoek.

Conclusie: Het toedienen van verdunde krijtsuspensie via sproeien op meststroken via Triple Spray is een perspectievolle techniek om de ammoniakemissie substantieel te verlagen. Het principe van de techniek kan ook bij zodenbemesting worden toegepast om ook daar de emissie fors te verlagen.

1 Inleiding

Sinds 2019 mag de sleepvoetenmachine alleen nog op klei- en veengrasland worden toegepast in combinatie met verdunde mest. Daarbij dient dan 50% water (1:2) aan de mest te worden toegevoegd. In het voorjaar kan dit mogelijk tegen beperkte meerkosten worden uitgevoerd via een sleepslangensysteem. Na de eerste snede wordt mest echter veelal uitgebracht via de mesttank. Dan betekent verdunnen meer vrachten en daarmee hogere arbeidslasten en kosten. Er is dringend behoefte aan een alternatief. Een perspectiefvol alternatief is een sleufkoutermachine* met opbouwapparatuur waarmee een combinatie van water en een krijtsuspensie over de meststrook wordt gespreid (Triple Spray van Slootsmid). De zodenbemester wordt op klei- en veengrasland veelal niet als alternatief beschouwd o.a. vanwege het risico op zodebeschadiging. Bovendien dringen onder droge omstandigheden de schijven van de zodenbemester nauwelijks de kleigrond in.

Een aantal jaren geleden is de Triple Spray machine van Slootsmid getoetst. Toen bleek de techniek op basis van 3 proeven net niet te voldoen aan het toetscriterium “gelijkwaardig aan de emissie die optreedt bij zodenbemesten”. Meer water toedienen is met dit systeem geen optie. Het toedienen van de krijtsuspensie Calhix Flow (met zeer kleine deeltjes van < 5 micron en met 25 kg neutraliserende waarde per 100 kg ((NW)) in plaats van water is mogelijk een perspectiefvol alternatief om de ammoniakemissie voldoende te verlagen. De zeer kleine deeltjes zorgen voor een groot specifiek oppervlak NMI heeft in 2018 een oriënterend laboratoriumonderzoek uitgevoerd met diffusiekamers om na te gaan in hoeverre deze krijtsuspensie de ammoniakemissie onderdrukt (Bussink et al., 2018). In dit onderzoek werd over een sleuf met mest (overeenkomend met 30 m³/ha) in vier behandelingen water gespreid en krijtsuspensie in twee hoeveelheden en een referentie met onbehandelde mest. Ten opzichte van onbehandelde mest bedroeg de emissiereductie met 1,4 m³ water per ha, 0,35 m³ en 1,4 m³ krijtsuspensie per ha respectievelijk 35%, 31% en 55%. Met 1,4 m³ krijtsuspensie (=2000 kg kalk) werd dus 20% meer emissiereductie bereikt dan met eenzelfde volume water. Dit biedt perspectief om deze krijtsuspensie, in meer of minder mate verdund met water, in te zetten via de Triple Spray om zo een ammoniakemissie te realiseren die gelijkwaardig of lager is dan van zodenbemesten. De oorzaak van de verlaging van de emissie berust vermoedelijk op in én het afschermen van mest met een waterlaagje en het grote specifieke oppervlak van het krijt (>10g/m²) waardoor adsorptie van ammoniakmoleculen op het krijtoppervlak plaatsvindt (fysisorptie).

Een belangrijk voordeel daarbij is dat het systeem goed controleerbaar is en geborgd kan worden. Mest waarop krijtsuspensie is toegediend heeft een veel lichtere kleur, welke na een aantal dagen ook nog zichtbaar is. Als we ervan uit mogen gaan dat tanksystemen vooral na de eerste snede worden ingezet (bij de eerste snede wordt veelal de sleepslangenmachine gebruikt) dan wordt er naar verwachting een hoeveelheid kalk aangevoerd die de natuurlijke verzuring plus de verzuring door meststoffen compenseert, waardoor de bodem pH op peil blijft.

In opdracht van ZuivelNL, Slootsmid en Kreco is de techniek van krijtsuspensie toedienen met de Triple Spray van Slootsmid nader onderzocht, zowel onder laboratorium- als veldomstandigheden. Doel daarbij is vast te stellen welke krijtsuspensie/ water verhoudingen gewenst zijn om de ammoniakemissie te verminderen tot gelijkwaardig aan of lager dan die van de referentietechniek zodenbemesten.

* een sleepvoet waarbij de elementen met minimaal 5 kg op de bodem drukken, met als doel de mest op de bodem tussen het gras te krijgen in plaats van op het gras.

2 Materiaal en methode

2.1 Algemeen

In het lab vond eerst vooronderzoek plaats naar optimale verhoudingen tussen en hoeveelheden van krijtsuspensie en water dat verkocht wordt onder de naam Calhix^{**}. De beste varianten zijn in het veld nader getoetst op 3 tijdstippen. Daarbij is een veldse meetmethode gebruikt (zie 2.4). Verder diende de Triple Spray (TS) machine van Slootsmid te worden aangepast. Deze is operationeel voor water. In de winter van 2018/2019 is de machine technisch aangepast en getoetst op het doseren van water en krijtsuspensie in verschillende verhoudingen. Daarbij is gekeken naar het mengproces en het werkresultaat; in welke mate vindt bedekking plaats van het oppervlak en in relatie tot de doseerhoeveelheden. Ook vond toetsing plaats of er een risico is van verstopping. De aanpassingen van de machine en de toetsing zijn in nauw overleg tussen Slootsmid en Kreco tot stand gekomen. In 2019 werd duidelijk dat voor het uitvoeren van veldmetingen een ontheffing nodig is en dat metingen bij voorkeur onder duidelijk verschillende weersomstandigheden dienen plaats te vinden.

^{**} Calhix is een suspensie van zeer fijne krijtdeeltjes ($< 5\mu$). Het krijt wordt gewonnen in een mijn in België. In de landbouwpraktijk wordt het ingezet als vloeibare kalkmeststof. De neutraliserende waarde (NW) is 25 per 100 kg product. Het soortelijk bedragt 1,45 kg per liter.

2.2 Laboratoriumproef

Om te bepalen welke mengverhouding Krijtsuspensie met water de emissie flink onderdrukt bij minimaal gebruik van krijtsuspensie en/of water zijn labproeven uitgevoerd in voorjaar 2019. Voor 2 mestniveaus overeenkomend met 15 en 30 m³ per ha zijn de volgende 7 mengverhoudingen aangebracht op het mestoppervlak:

- 1,40 m³ water per ha
- 0,35 m³ krijtsuspensie gemengd met respectievelijk 1,05 m³ en 0,70 m³ water per ha
- 0,70 m³ krijtsuspensie gemengd met respectievelijk 0,70, 0,35 en 0 m³ water per ha
- 0 m³ water per ha (de referentiemeting)

De behandelingen zijn in drievoud uitgevoerd. Aanvullend is nagegaan of menging van 0,35 m³ krijtsuspensie met 15 m³ mest + 0,70 m³ water op het mestoppervlak en 0,35 m³ krijtsuspensie op het mestoppervlak gevolgd door 0,70 m³ water op het mestoppervlak ook een emissie-reducerende werking heeft. Op basis van de resultaten is een tweede en/of derde meetronde uitgevoerd met een beperktere opzet.

In de labproef is gebruik gemaakt van gesloten diffusiekamers. Deze bestaan uit een schotel van 20 cm doorsnede en 3 cm hoog gevuld met rulle, veldvochtige kleigrond. Er bovenop is een zuurzink (lees verderop) geplaatst en het geheel wordt afgesloten met een emmer. In de veldvochtige kleigrond is een sleuf gedrukt via een houten schijf, die even groot is als de schotel en waarop een evenwijdige driehoek van 20 cm lang, 3 cm breed en 1,9 cm diep was gemonteerd. In de ontstane sleuf is goedgemengde dunne runderdrijfmest aangebracht met een lepel. Via weging is een hoeveelheid mest toegediend die overeenkomt met 15 en 30 m³ per ha. Bij toediening van 15 m³ mest per hectare is deze sleuf tot de rand gevuld, met 30 m³ mest per hectare staat de mestsleuf bol. Zonder de mestsleuf vloeit de mest uit over de grond. Deze methode benadert de praktijk van de

sleufkouterbemester. Over de mest wordt handmatig het mengsel van krijtsuspensie en water gepipetteerd. Bij de mengvarianten van krijtsuspensie en mest worden via weging de juiste verhoudingen mest en krijtsuspensie gemaakt. Toediening van water aan het mestoppervlak gebeurde met een plantenspuit. De proeven zijn uitgevoerd bij kamertemperatuur.

Over de mestsleuf is een zuurzink geplaatst. Deze bestaat een U-vormig frame van 4 cm hoog. Op dit frame is een petrischaal van 9 cm doorsnede gezet en gevuld met 20 ml 0,05 M HCl. Over het geheel is een emmer van 24 cm doorsnede en 20 cm hoog geplaatst om de schotel af te sluiten. Ammoniak dat emitteert wordt door middel van diffusie getransporteerd naar de HCl oplossing (waar het oplost). Na 8, 24, 48, 96 en 168 uur is de zuuroplossing overgebracht in een afsluitbare kunststofreageerbuis en wordt telkens opnieuw 20 ml HCl op de petrischaal gepipetteerd. Daarna wordt deze teruggeplaatst op het U-frame. Na afloop van het experiment zijn de ammoniumconcentraties gemeten in het laboratorium van AgroCares te Wageningen met behulp van een Discrete Analyzer. Ook de samenstelling van de gebruikte mest is bepaald.

2.3 Meetmethode en opzet veldproef

2.3.1 Algemeen

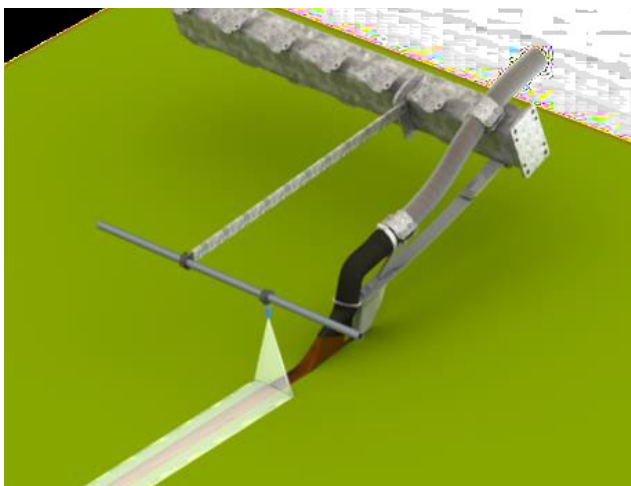
In het veld zijn op drie verschillende tijdstippen in het bemestingsseizoen 4 behandelingen met elkaar vergeleken bij toepassing van een micro-meteorologische (2.3.3) meetmethode en wel;

1. de zodenbemester (als referentie)
2. de Triple Spray met de beste water + krijtsuspensie variant uit de laboratoriumproef
3. de Triple Spray met de op één na beste water + krijtsuspensie variant uit de laboratoriumproef
4. de Triple Spray met alleen water plus krijtsuspensie door de mest mengen

De laatste variant is arbeid technisch aantrekkelijk omdat menging eventueel vooraf in de mestput kan plaatsvinden.

De kouterbemester is een sleepvoet waarbij de elementen met minimaal 5 kg op de bodem drukken, met als doel de mest op de bodem tussen het gras te krijgen in plaats van op het gras. Additioneel is voorop de machine een vloeistoftank gemonteerd met daaraan een leidingencircuit. Naar elke individuele sleepvoet is een leiding gelegd vlak achter het punt waar de mest tussen het gras wordt gelegd. De vloeistof wordt vervolgens, onder druk, over de mest verneveld door een speciaal daarvoor geselecteerde spuitdop, zie Figuur 2-1.

Triple Spray sleufkouterbemester



Figuur 2-1 Visualisatie van de werking van de triple spray met verneveling van krijtsuspensie over de mestsleuf.

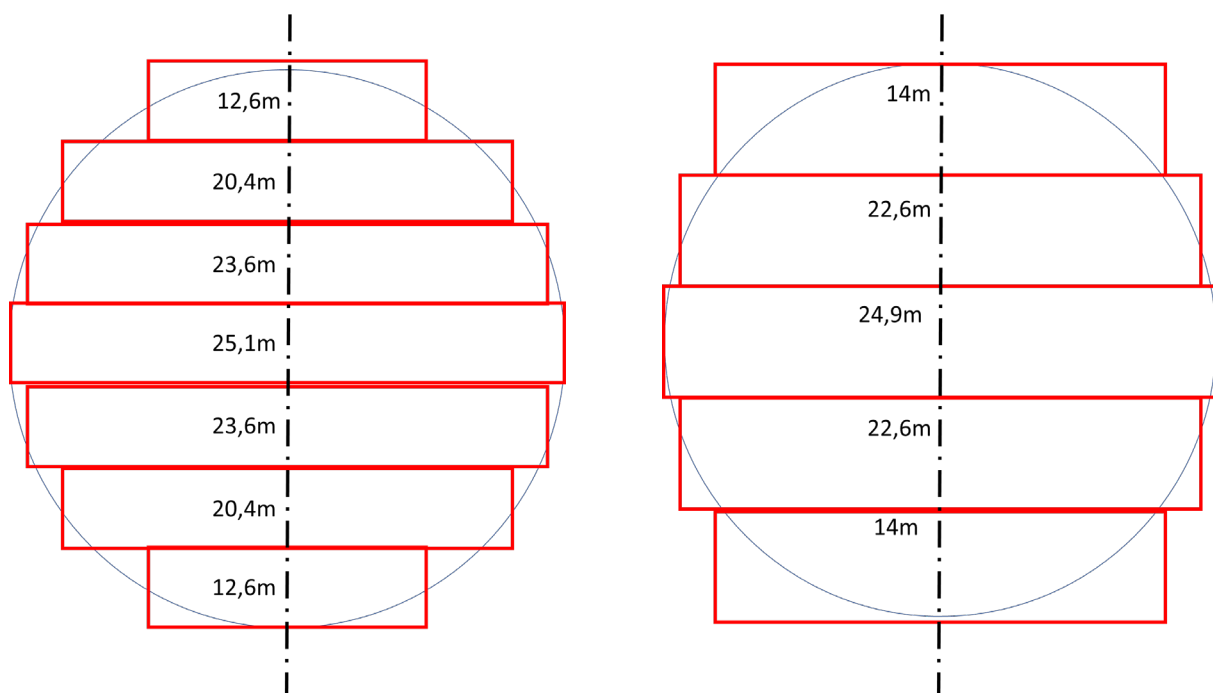
Het voordeel van deze methode ten opzichte van zodenbemesten is dat de mest niet wordt geïnjecteerd in de graszode maar ertussen wordt gelegd. Hierdoor blijft de graszode intact en de draagkracht behouden wat een groot voordeel is op de klei- en veengronden. Ook vergt de machine minder trekkracht dan de zodenbemester.

Voorafgaand aan de veldmetingen zijn in voorjaar 2019 door Slootsmid en Kreco testen uitgevoerd om verdunde krijtsuspensie goed te kunnen sproeien. Getest is welke spuitdop een goed sproeieresultaat, wat de afstellingshoogte van de doseerunit moet en hoe de apparatuur ongeveer ingesteld zou moeten worden om bepaalde doseringen per ha te kunnen geven (op basis van trekkertoerental, aftakstoerental, wormpomp versnelling en de rijsnelheid).

2.3.2 Locatie en aanleg

Voor het bemesten met de sleufkoutmachine is een ontheffing van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit nodig omdat sleepvoet/sleufkouter bemesting zonder water toevoeging met ingang 2019 niet langer is toegestaan.

Als proeflocaties zijn een klei- en veenperceel te Rhenen geselecteerd (direct grenzend aan de gemeente Wageningen). De intentie was om de proef minimaal 1 keer op klei en 1 keer veen uit te voeren. Er is gekozen voor kleine velden met een diameter van ongeveer 25 meter. Voor de uitvoering van de proef is de werkbreedte van de Triple Spray van Slootsmid aangepast tot 3,6 meter om zo de mest in 7 stroken van wisselende lengte te kunnen toedien en een cirkelvorm te kunnen benaderen (Figuur 2-2). De te gebruiken zodenbemester heeft een werkbreedte van 5 meter.



Figuur 2-2 Lengte van de stroken van het triple spray systeem (links) en de zodenbemester (rechts). De stroken van de triple spray zijn 3,6m breed, de zodenbemester 5m.

Er zijn een aantal voorwaarden opgesteld waaraan voldaan moest worden alvorens gestart kon worden met de uitvoering van de veldproeven en wel:

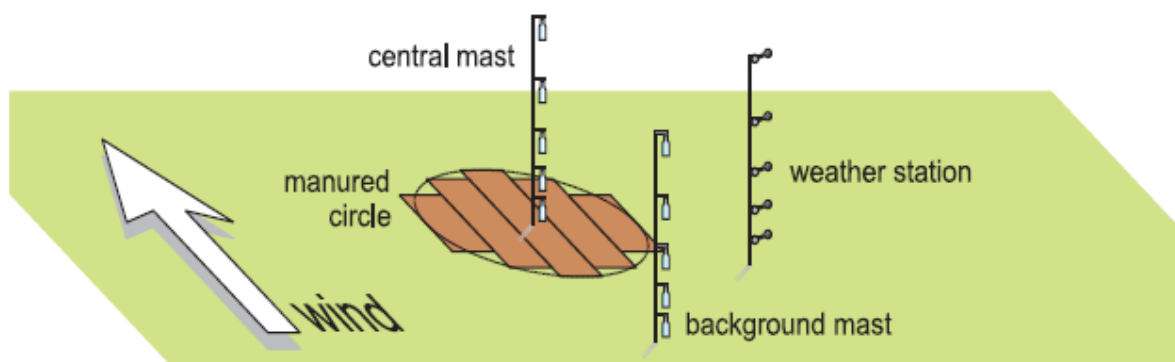
- Het grasland is recentelijk gemaaid
- De bodemtemperatuur mag niet hoger zijn dan 25 °C
- De neerslagverwachting is minder dan 3 mm binnen 2 dagen na de beoogde datum van mesttoediening.

- De proefveldjes liggen minimaal 50 meter uit elkaar (van rand tot rand)
- De velden liggen vrij van houtwallen of dergelijke hoogte obstakels bevinden zich tenminste op 10 keer de hoogteafstand van het object verwijderd
- De mest die wordt gebruikt is recentelijk gemixt
- Er bevindt zich een weegbrug op korte afstand om de mesttoedieningsapparatuur te wegen om zo op basis van het verschil in gewicht tussen voor en na toedienen de gift per ha te kunnen afleiden.

De gebruikte Krijtsuspensie is van te voren aangeleverd in m³ kunststoftanks. In het veld kan de krijtsuspensie zo na opmengen en verdunnen met water in een juiste verhouding via emmers worden overgebracht in het voorraadvat van de doseerunit van de TS. Bij de mengingsvariant wordt de krijtsuspensie direct met emmers overgebracht in de mesttank. Voor het toedienen van de mest zijn teststroken uitgereden aan de rand van het perceel om na te gaan of de apparatuur goed werkt.

2.3.3 De meetmethodiek voor volvelds meten

Er zijn verschillende methoden om volvelds de ammoniakemissie te meten. Een van de bekendste is de micrometeorologische massabalans methode, "integrated horizontal fluxmethode" (IHF-methode) (Denmead, 1983). Deze methode gaat ervan uit dat het verticaal geïntegreerde product van de windsnelheid en het verschil in NH₃-concentratie van de lucht tussen het centrum en de grens van een proefveldje, gedeeld door de horizontale afstand, gelijk is aan de NH₃-flux van het bodemoppervlak. De horizontale afstand, de afstand tussen de bovenwindse grens en het midden van het perceel moet precies bekend zijn. Daarom worden proefveldjes veelal in een cirkelvorm aangelegd of wordt de cirkelvorm benaderd door mest in parallelle stroken van verschillende lengte uit te rijden (Figuur 2-3). Bij deze methode wordt op minimaal 5 hoogtes de ammoniakconcentratie gemeten en hebben de velden minimaal een straal van 20 meter (vaak meer) (zie ook Vera protocol, 2009). De NH₃-concentratie wordt veelal bepaald met behulp van gaswasflessen die een zure oplossing bevatten. Deze gaswasflessen worden met enige regelmaat gewisseld. Deze methode is de basis van veel Nederlandse ammoniakmetingen zoals die vanaf 1986 zijn uitgevoerd bij het toedienen van mest. Het nadeel van deze methode is dat deze relatief duur is (arbeid, materialen en analyses) en dat grote percelen nodig zijn om bij vergelijkende metingen individuele proefveldjes voldoende ver uit elkaar te kunnen aanleggen (50 -100m) zonder beïnvloeding. Door passieve samplers te gebruiken zijn de kosten al enigszins te verlagen.



Figuur 2-3. De schematische weergave van een cirkelvormig veld voor de meting van NH₃-emissie met behulp van de micro-meteorologische massabalansmethode, met masten met NH₃-samplers op verschillende hoogtes in het midden van het perceel en aan de loefzijde van het perceel.

Bij de IHF-methode wordt de vorm van het concentratieprofiel bij de mast in het centrum van het veld bepaald door de atmosferische stabiliteit, de oppervlakteruwheid en de geometrie van het veld. Wilson

Pedersen et al. (2018) en Kure et al. (2018) hebben meten met passieve ALPHA samplers (Tang et al., 2001) en windmeters op hoogte ZINST gecombineerd met de bLS en deze vergeleken met de IHF-methode bij toepassing op veldjes met een straal van 5, 10 en 20 m. De conclusie van Kure et al (2018) was dat de resultaten van een 5 m veldje vergelijkbaar zijn met die van een 20 m veldje voor situaties waarbij de windsnelheid hoger was dan 1 m/s. Pedersen komt tot dezelfde conclusie met de kanttekening dat er bij regen en hoge windsnelheden verschillen ontstaan met de IHF-methode. Verder raden zij meetperioden van 5-6 uur aan bij gebruik van de ALPHA-sampler.

2.3.4 Gebruikte apparatuur en uitgevoerde metingen

De CEH ALPHA sampler is een passieve sampler (<https://www.ceh.ac.uk/services/air-samplers>) voor het meten van ammoniak in de lucht. De sampler gebruikt een filter dat is gedrenkt met 55 microliter citroenzuur 12% opgelost in methanol. De filters worden na droging in een cupje gelegd en stabiel gehouden door een ring. Het cupje met filter wordt afgedekt door een PTFE-filter en deze wordt weer afgedekt met een deksel, zie Figuur 2-4. Het deksel wordt gewikkeld in parafilm. De samplers worden per 3 in een sealzak gestopt en in een bakje bewaard in de koelkast.



Bij gebruik worden de CEH ALPHA Samplers uit de beschermende, luchtdichte omgeving gehaald en ontdaan van de parafilm en deksel B en ondersteboven opgehangen met klittenband aan een ondersteboven bevestigd bakje aan een meetmast. Per meetmast worden 3 samplers opgehangen op een hoogte van 90 cm wanneer het gras lager is dan 5 cm en 100 cm wanneer het gras hoger is dan 5 cm (voor een veldje met een straal van 12,5 m, afgeleid uit Kure et al, 2018). De mast aan de rand heeft eveneens 3 samplers. Deze mast wordt zo nodig regelmatig verplaatst om ervoor te zorgen dat deze altijd aan de luwzijde staat. De meetmasten staan in het midden van de bemeste veldjes.

Het verzamelen en tegelijk wisselen van de samplers wordt gedaan door deksel B terug op de cup te drukken. In een windstille en droge omgeving wordt het PTFE filter verwijderd en direct een nieuw schoon deksel op het cupje geplaatst.

Voor de analyse wordt het filterpapier met een pincet in een monsterbuisje gelegd waarbij 3 ml milli-Q water wordt toegevoegd en afgesloten met een deksel. Na 1 uur extraheren wordt de vloeistof gemeten met een Discrete Analyzer. De uitkomst is in mg/l NH_4^+ .

Windmeters

Naast de meetpaal met de ALPHA-sampler zijn batterij-aangedreven drie-kops anemometers geplaatst en aangesloten op Wind101A dataloggers (MaddgeTech, Inc., Warner, N.H.) via een 10 meter lange kabel. De ondergrens voor windsnelheidsmeting bedraagt 0,3 m/s. De windmeter werd op dezelfde hoogte geplaatst als de ALPHA samplers. De windrichting kan niet vastgelegd worden met deze meter maar wordt afgeleid van het weerstation Wageningen UR dat op ongeveer 1 km afstand van het proefveld ligt.

Overige metingen

Er is een bodemanalyse uitgevoerd met focus op textuur, organische stofgehalte en pH. Deze zijn gemeten met de Lab In A Box (LIAB) van Agrocares. Bij de 2de en 3de proef is voor het aanleggen van het proefveld en na het aanleggen van het proefveld een mengmonster gestoken van de veldjes en geanalyseerd met de LIAB. Een eventuele verandering in de pH van de bodem vanwege het toevoegen van kruit kan zo mogelijk worden gemeten. De bodemtemperatuur is niet gemeten op het proefveld. De bodemtemperatuur is afgeleid van het meetstation Wageningen. Ook de windrichting en de windsnelheid op 2 meter hoogte is afgeleid van dit meetstation.

3 Resultaten labproeven

3.1 Mestmonster

De mest die is gebruikt in juni 2019 was dezelfde mest als die is gebruikt in mei 2019. Daarom is geen nieuwe mestanalyse uitgevoerd. In Tabel 3-1 staan de analyses van de mest. De mest in april bevat minder ammoniakala stikstof dan die van mei en juni.

Tabel 3-1 Analysegegevens van de mest gebruikt in de labproef.

Parameter (g/kg)	Mei Juni	April
Droge stof	83	107
Ruw as	20	18
Organische stof	63	89
N-totaal	5,11	5,32
C/N	6	8
N-NH ₃	2,2	1,8
N-organisch	2,9	3,5
P ₂ O ₅	1,47	1,79
K ₂ O	5,7	4,3
MgO	1,5	1,3
Na ₂ O	0,5	0,6

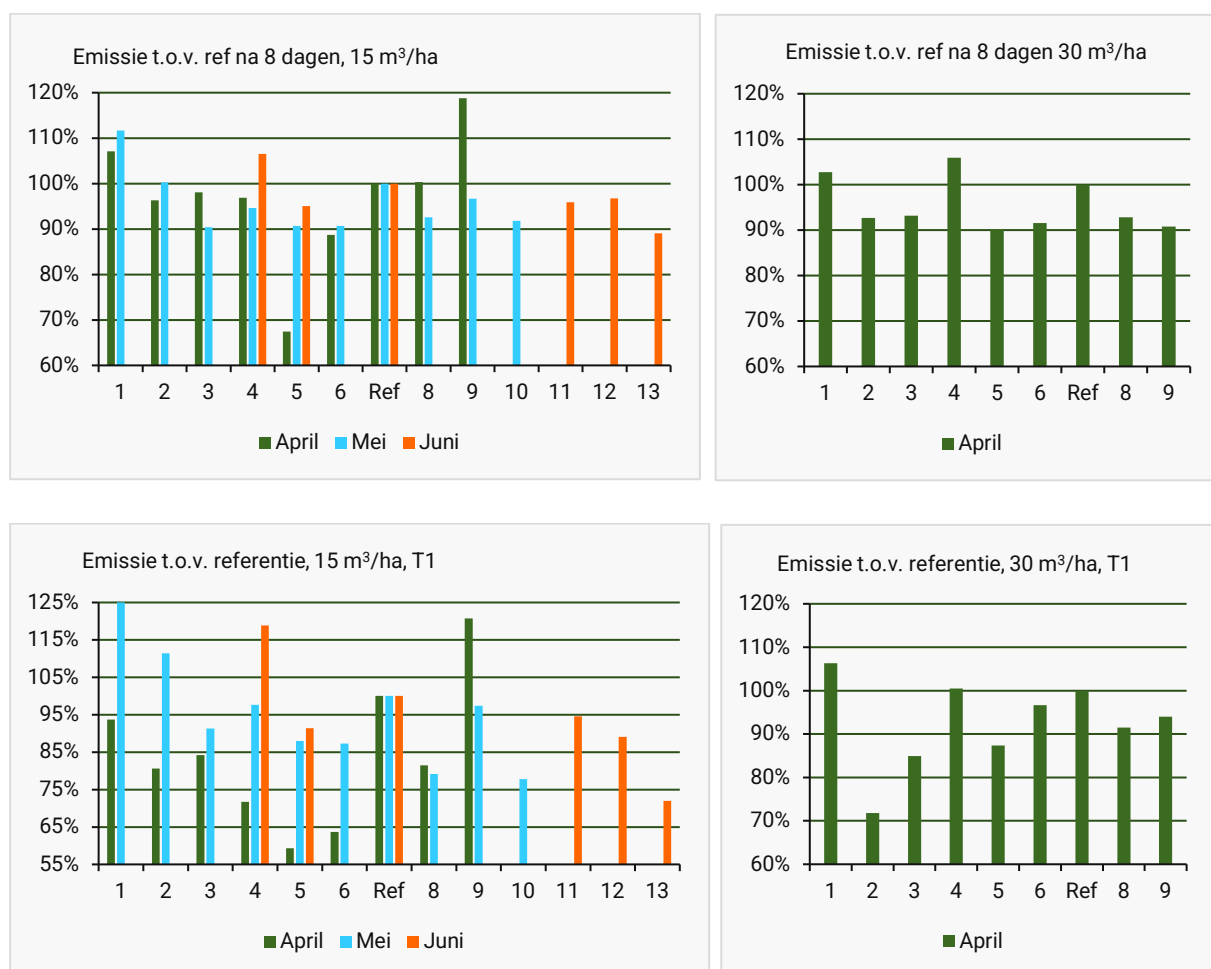
3.2 Emissieresultaten labproef

In april is gestart met een bemesting van 15 en 30 m³ per ha voor de behandelingen 1-9 (Tabel 3-2). De resultaten na 8 *dagen* laten zien dat bij 15 m³ per ha behandeling 5 en 6 het beste resultaat geven met tot 35% emissie reductie (Figuur 3-1). Alle andere behandelingen geven 0-10% reductie na 8 dagen. Alleen water toedienen lijkt de emissie zelfs te verhogen. Bij 30 m³ ha bedragen de emissiereducties ongeveer 10% met kleine verschillen tussen de behandelingen. De absolute emissie van de referentie behandeling bedroeg 4,1% en 8,5% van de in de mest aanwezige ammoniumstikstof bij respectievelijk 15 en 30 m³ per ha. De hogere emissie bij 30 m³ is vooral toe te schrijven aan het niet goed in de sleuf passen van de mest, waardoor de mest boven het grondoppervlak uitkwam en deels iets uitvloeide.

De resultaten van de eerste emissie meting na 8 *uur* geven een duidelijker beeld. Bij 15 m³ per ha is er bij behandeling 4, 5 en 6 (0,7 m³ krijtsuspensie per ha) een emissiereductie van 30 tot 40% en bij behandeling 2 en 3 (0,35 m³ krijtsuspensie per ha) is de reductie ongeveer 20%. Bij 30 m³ per ha zijn de effecten van de behandelingen veel geringer en geven behandelingen 2 en 3 het beste resultaat.

Tabel 3-2 Beschrijving bij de verschillende behandelingen.

Behandeling	Krijtsusp. (m ³ /ha)	Water (m ³ /ha)	Totaal (m ³ /ha)	Toelichting
1	-	1,4	1,40	Alleen water
2	0,35	0,7	1,05	Krijtsuspensie verdund met water op de mest via pipet
3	0,35	1,05	1,40	Krijtsuspensie verdund met water op de mest via pipet
4	0,7	-	0,70	Krijtsuspensie verdund met water op de mest via pipet
5	0,7	0,35	1,05	Krijtsuspensie verdund met water op de mest via pipet
6	0,7	0,7	1,40	Krijtsuspensie verdund met water op de mest via pipet
7	-	-	0,00	Referentie
8	0,35	1,05	1,40	Krijtsuspensie op mest + water over mest gespreid
9	0,35	1,05	1,40	Krijtsusp. in mest gemengd + water over mest gespreid
10	0,7	0,7	1,40	Krijtsuspensie op mest + water over mest gespreid
11	-	2,0	2,00	Water over mest gespreid
12	0,35	-	0,35	Krijtsuspensie in mest gemengd
13	0,7	-	0,70	Krijtsuspensie in mest gemengd



Figuur 3-1 De emissie van de diverse behandelingen ten opzichte van de referentie bemesting na 8 dagen (boven) en na 8 uur (T1 onder). De mestgift 30 m³/ha is alleen in April 2019 uitgevoerd.

De tweede proef is in mei uitgevoerd voor alleen 15 m³ mest per ha. De effecten van de behandelingen zijn in het algemeen kleiner dan bij de eerste proef. Dat geldt direct al bij de eerste meting. De oorzaak is niet duidelijk. Aansluitend is nog een derde meting uitgevoerd voor een aantal specifieke behandelingen, zoals een grotere hoeveelheid water (2,0 m³ ha). Deze lijkt een kleine verlaging van ongeveer 5% te geven in emissie ten opzichte van de referentie. Alleen behandeling 13 met 0,7 m³ per ha krijtsuspensie door de mest gemengd geeft op het eerste tijdstip een flinke reductie van 30%. Na 8 dagen is dat nog ongeveer 10%.

De in deze proef gemeten emissiereducties zijn lager dan in het oriënterend onderzoek. Deels is dit mogelijk te verklaren door geringere hoeveelheden krijtsuspensie.

Voor de resultaten van de 1^e proef (de eerste en tweede meting (niet getoond)) zijn gebruikt als indicatie voor de mengverhouding bij de uit te voeren veldproef. In de veldproef is daarom ingezet op het toedienen van 0,35 tot 0,7 m³ krijtsuspensie verdund met 0,7 m³ water.

4 Resultaten veldproeven

4.1 Proefuitvoering

Algemeen

Voor de uitvoering van de 1^e meetronde was een ontheffing nodig. Het vergde veel tijd voordat de ontheffing werd verleend. Vervolgens kwam er als gevolg van de droge zomer van 2019 pas in de laatste week van augustus een perceel beschikbaar en wel het veenperceel. De andere twee meetrondes dienden vervolgens in 2020 te worden uitgevoerd. De ontheffing voor 2020 kwam ook laat beschikbaar waardoor mesttoediening voor de eerste snede niet mogelijk was en pas in mei kon worden gestart. Toen is gekozen voor het veenperceel omdat het kleiperceel te nat was. De derde proef is uitgevoerd in juni na een droge, warme periode. De grond op het kleiperceel was te hard voor de zodenbemester om een nette sleuf in de grond te snijden. Daarom is ook in derde meetronde gekozen voor het zachtere veenperceel.

Mest- en grondmonsters

Bij de 3 proeven is steeds mest uit delfde put gebruikt. Bij de eerste proef was het NH₄-N-gehalte iets lager dan in de beide andere proeven die driekwart jaar later zijn uitgevoerd (Tabel 4-1). De mestsamenstelling was bij de zodenbemester en de Triple Spray vrijwel gelijk binnen een proef, alleen bij proef 2 wijkt de Triple Spray bij gemengd wat af van de andere metingen. Mest kan zich ontmengen in de tank. Bij proef 2 en 3 is het mestmonster daarom genomen tijdens het aanleggen van het veld. Dat geeft de beste indicatie voor de mestsamenstelling die op het desbetreffende veldje is gebruikt. Bij proef 1 is dat niet gebeurd. Hier zijn bij de start 2 mestmonsters per tank genomen. Van de veldjes is een grondmonster gestoken voor en na het aanbrengen van de mest. Vooral om de

Tabel 4-1 Mestanalyses per proef van elke behandeling in g/kg. Bij proef 1 zijn de mestmonsters bij het opzuigen genomen. Proef 2 en 3 tussentijds bij het aanleggen van het veld.

	Mestmonster	Droge stof	N-totaal	N-org	NH ₄ -N
Proef 1	Zodenbemester 1	90	4,78	2,8	2,0
	Zodenbemester 2	89	4,64	2,6	2,0
	TS 1	90	4,65	2,7	2,0
	TS 2	89	4,70	2,7	2,0
Proef 2	Zodenbemester	94	5,19	3,0	2,2
	TS hoog	96	5,06	2,9	2,2
	TS laag	98	4,96	2,7	2,3
	TS gemengd	163	4,04	2,2	1,8
Proef 3	Zodenbemester	82	4,61	2,5	2,1
	TS laag	87	4,65	2,5	2,2
	TS midden	85	4,70	2,6	2,1
	TS hoog	84	4,68	2,6	2,1

grondsoort te bepalen en vast te stellen of de pH van de bodem stijgt na toediening van krijtsuspensie. In Tabel 4-2 zijn de bodemeigenschappen van de laatste 2 proeven te zien. Het perceel is erg grillig en bevat grote verschillen tussen de veldjes in textuur samenstelling zoals zand, klei en organische stof. Binnen de veldjes zijn weinig pH-veranderingen opgetreden na toediening van de mest. Dat is ook niet te verwachten. Bij 25% organische stof is 800 kg NW per ha nodig om de pH met 0,1 te verhogen per 10 cm bouwvoor. De beoogde doseringen richten zich op hoeveelheden van 125 tot 250 kg NW per ha. Alleen bij proef 1 is duidelijk meer krijtsuspensie toegediend en zou de pH met 0,05 pH eenheid kunnen zijn gestegen (daar zijn echter geen metingen uitgevoerd). Bovendien is de vraag op de gemeten veranderingen deels niet op ruis in de metingen berusten en een net iets andere meetplek.

Tabel 4-2 Bodemeigenschappen van de velden vóór en ná het aanleggen van de velden. De metingen zijn gebaseerd op mid infraroodmetingen met uitzondering van pH metingen in de derde proef.

	Veldnaam	Datum monsternamen	pH KCl	pH	Zand (%)	Silt (%)	Klei (%)	Afslib- baar (%)	Organische stof (%)
Proef 2	Zodenbemester	15-5-2020		4,7	13,8	39,8	24,2	36,1	28,7
	Zodenbemester	20-5-2020		4,9	14,7	38,2	25,5	37,0	27,5
	TS hoog	15-5-2020		5,7	49,1	23,9	6,4	13,6	16,7
	TS hoog	20-5-2020		5,8	45,3	26,1	7,1	14,9	21,8
	TS laag	15-5-2020		5,1	35,0	31,6	14,3	23,8	23,7
	TS laag	20-5-2020		5,2	28,9	34,9	15,9	26,4	25,6
	TS gemengd	15-5-2020		4,7	62,7	21,3	6,2	12,6	9,6
	TS gemengd	20-5-2020		4,7	59,4	23,0	7,0	13,9	10,4
Proef 3	Zodenbemester	26-6-2020	5,65		21,8	37,5	20,7	32,0	24,9
	Zodenbemester	30-6-2020	5,68		25,1	35,9	19,1	29,9	25,0
	TS midden	26-6-2020	5,41		27,7	34,4	18,1	28,4	24,8
	TS midden	30-6-2020	5,51		28,4	34,2	17,7	27,9	24,5
	TS laag	26-6-2020	5,30		16,2	39,2	25,3	37,0	24,1
	TS laag	30-6-2020	5,34		15,3	39,2	25,6	37,3	24,9
	TS hoog	26-6-2020	6,07		55,9	22,9	6,0	12,9	12,4
	TS hoog	30-6-2020	6,10		53,8	23,3	6,8	13,8	15,8

Realisatie proefaanleg en -uitvoering

Het streven was om per hectare respectievelijk 700 liter water gemengd met 350 liter krijtsuspensie (TS laag) en 700 liter water gemengd 700 liter krijtsuspensie (TS hoog) toe te dienen. De nagestreefde mestgift in alle behandelingen was 20 m³ per ha. In Tabel 4-3 is te zien dat het moeilijk was om de mestdosering drijfmest per ha gelijk te krijgen over de velden met als grootste verschil 10 m³ per ha bij Tslaag en Tshoog in proef 2.

Voor het bemesten van elk veldje zijn eerst een paar teststroken uitgereden (direct bij de ingang van het perceel linksonder in Figuur 4-1). De lengte van deze stroken tezamen met de lengte van de uitrijstroken (elke strook is opgemeten na toedienen) is het totaal bemeste oppervlak te berekenen. Op basis van het gewicht van de toedieningsapparatuur voor en na wegen op de weegbrug bij AgruniekRijnvallei te Wageningen en het aantal m² bemest is de toegediende hoeveelheid bepaald. De hoeveelheid verdunde krijtsuspensie die per ha is toegediend is bepaald op basis van de maatverdeling op de voorraadtank van de Triple Spray en het met krijtoplossing besproeide oppervlak.



Figuur 4-1. Overzicht van het perceel waar de 3 proeven zijn uitgevoerd met de gekleurde cijfers in volgorde van aanleggen. Proef 2 en 3 zijn op dezelfde locatie uitgevoerd als proef 1 (niet getoond in de figuur).

Door eerder aan en later uitzetten van de doseerunit voor het toedienen van krijtoplossing was dit oppervlak iets groter dan het bemeste oppervlak (tot max. een halve meter voor en na de bemeste strook). Bij proef 1 is bij de krijtsuspensie varianten alleen gewogen aan het begin en eind van proef en is gemiddeld dezelfde gift aangehouden bij de 3 krijtsuspensie behandelingen.

Daarbij zijn de meststroken opnieuw opgemeten daar van wegen aan en uitzetten van de apparatuur ongeveer een halve meter voor en na de bemeste strook krijtsuspensie is toegediend.

Bij proef 1 en 2 is begonnen met de zodenbemester (de referentie). Bij proef 3 werden eerst 2 krijtsuspensie behandelingen aangelegd waarna zodenbemesting plaatsvond. Nadat de middelste baan was aangelegd is begonnen met het installeren van de meetpalen voor de ammoniakmeting en het plaatsen van de windmeter. Binnen vijf minuten nadat het veld was aangelegd zijn de ALPHA samplers opgehangen. Meestal begon de feitelijk ammoniakmeting binnen 20 minuten nadat begonnen was met het toedienen van mest (Tabel 4-3).

Bij de eerste proef zijn 2 mestmonsters genomen na het vullen van de sleufkouter en de zodenbemester. Bij de tweede en derde proef is per veld een mestmonster genomen na het aanleggen van de 2^{de} strook van het veldje.

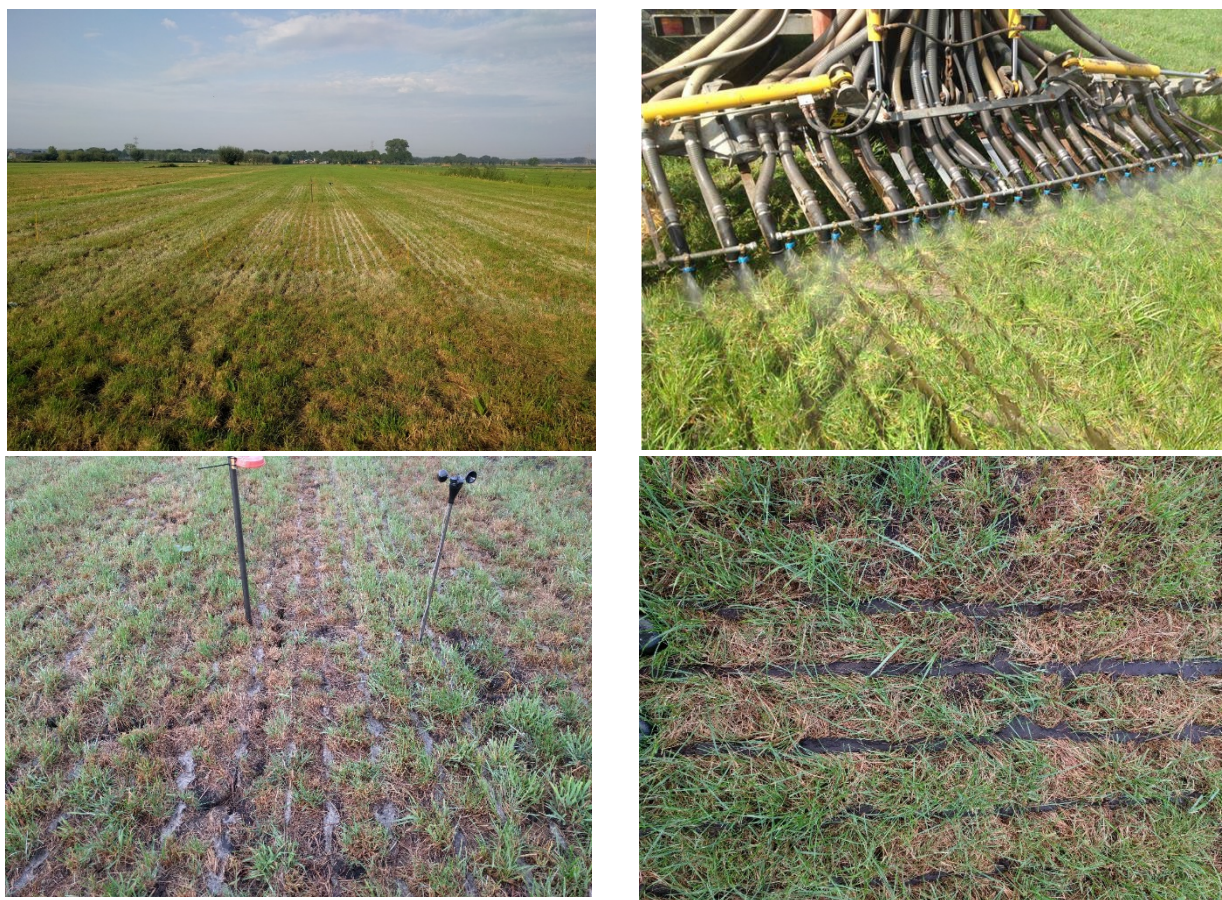
Proef 1 augustus 2019

Het streven was om per hectare respectievelijk 700 liter water gemengd met 350 liter krijtsuspensie (TS laag) en 700 liter water gemengd 700 liter krijtsuspensie (TS hoog) toe te dienen. Bij de uitvoering van de veldproef bleek dat er minder goed gestuurd kon worden op de hoeveelheid mengsel die over de mest werd gespreid. Bij proef 1 is bij de behandelingen TS laag en TS laag respectievelijk 1,23 m³ en 1,0 m³ krijtsuspensie toegediend. Door het hogere verbruik en de teststroken was er in combinatie met de hoge mestvullingsgraad van de triple spray te weinig krijtsuspensie beschikbaar voor de mengvariant waardoor slechts ongeveer 30% is toegediend van de geplande hoeveelheid.

Tabel 4-3 Overzicht van de toegediende hoeveelheden mest en krijtsuspensie in de 3 proeven, met 2 concentratieniveaus voor sproeien van krijtsuspensie (laag en hoog).

Proef	Behandeling	Start	Aanleg- tijd * (min)	Mestgift (m ³ /ha)	Gift NH ₃ -N (kg/ha)	Sproei volume (m ³ /ha)	Aandeel krijtsusp. (V/V)	Krijtsusp. (m ³ /ha)	NW kg/ha
1	ZB	11:45	0:15	22.0	44.1				
1	TS, hoog	12:21	0:24	17.5	35.0	1.85	67%	1.23	447
1	TS, laag	12:50	0:10	17.5	35.0	2.01	50%	1.00	364
1	TS gemengd	14:00	0:10	17.5	35.0	0.20	100%	0.20	73
2	ZB	9:45	0:10	19.8	43.7				
2	TS laag	10:30	0:20	17.7	38.8	1.83	33%	0.61	221
2	TS hoog	12:05	0:20	28.1	64.5	1.82	50%	0.91	330
2	TS gemengd	13:35	0:12	24.6	44.2	0.85	100%	0.85	307
3	TS laag	9:10	0:15	27.1	56.9	2.15	21%	0.44	160
3	TS midden	10:15	0:15	28.2	62.0	1.97	28%	0.55	198
3	ZB	10:55	0:10	23.0	48.3				
3	TS hoog	11:32	0:16	23.4	49.1	1.72	33%	0.57	207

* start ammoniakmeting



Figuur 4-2. Toediening van verdunde krijtsuspensie met mest via de Triple Spray in augustus 2019. De met Triple Spray toegediende mest is duidelijk herkenbaar aan de witte/grijze kleur in vergelijking tot zodenbemesting (plaatje rechtsonder). Op het plaatje linksonder is de meetpaal met afdekkapje te zien waaronder 3 passieve samplers zijn bevestigd. Op de sampler hoogte wordt ook de windsnelheid gemeten.

Proef 2 mei 2020

Bij proef 2 is het beter gelukt om voor de sproeivarianten TS de geplande krijtsuspensie giften te realiseren (610 en 910 liter). Ook de mengingsvariant zat dicht bij de geplande hoeveelheid.



Figuur 4-3. De met Triple Spray toegediende mest is in proef 2 (mei 2020) duidelijk herkenbaar aan de kleur. Te zien is dat de velden met diameter van 25 m meer dan 50 m uit elkaar liggen.

Proef 3 juni 2020

Bij proef 3 is de opzet iets aangepast. De mengingsvariant met krijtsuspensie met mest is achterwege gelaten, omdat bleek dat die geen emissie reducerende werking had. In plaats daarvan is er een extra sproeivariant aangelegd. Het streven was om zo 3 behandelingen te krijgen met hoeveelheden krijtsuspensie van 0,35, 0,525 en 0,7 m³ per ha (TS laag, TS midden en TS hoog). Daarbij is beter geanticipeerd op het feit dat met Triple Spray steeds ongeveer 2 m³ vloeistof per hectare wordt toegediend en is de hoeveelheid krijtsuspensie toegediend bij oplengen flink verlaagd. De gerealiseerde hoeveelheden bedroegen 0,44, 0,55 en 0,57 m³ per ha. Het handmatig toedienen van krijtsuspensie met emmers is enigszins aangepast. In speci-kuipen werd krijtsuspensie en water in de juiste verhouding gemengd en vervolgens opgezogen in het voorraadvat van de doseerunit.



Figuur 4-4. Links toediening met de Triple Spray in proef 3 (juni 2020). Rechts het visuele beeld 1 dag na toediening (augustus 2019).

4.2 Emissieresultaten

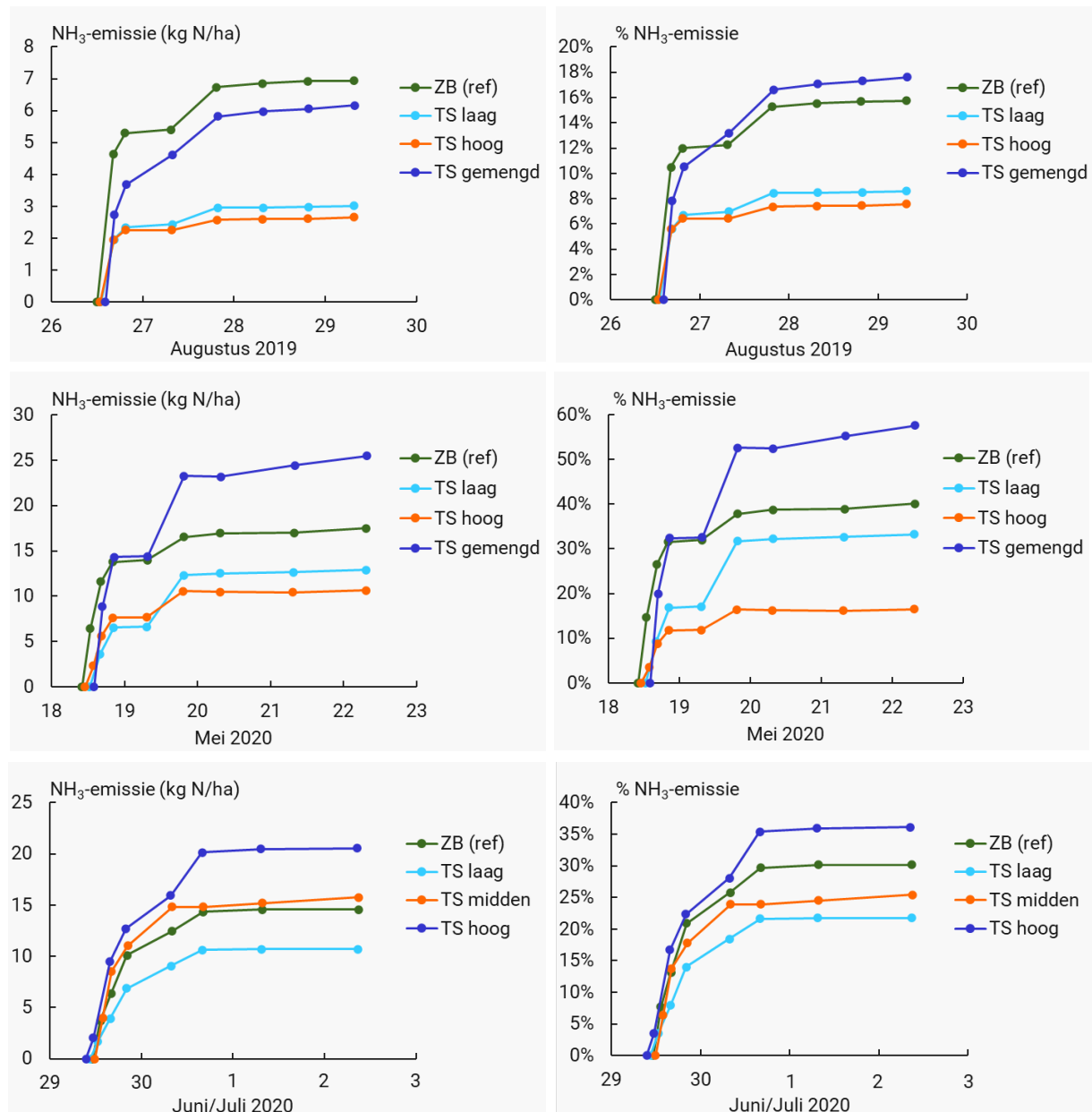
In Tabel 4-4 is een samenvattend overzicht gegeven van de gerealiseerde emissies van de drie meetperioden. De emissie van de referentiemeting zodenbemesting als percentage van in de mest aanwezige $\text{NH}_4\text{-N}$ bedroeg respectievelijk 15,7%, 40,1% en 32,6% in augustus, mei en juni. In proef 1 en proef 2 was de emissie bij de behandeling waarbij krijtsuspensie over de mest werd gespreid (TS laag en TS hoog) duidelijk lager dan die bij zodenbemesting. In proef 1 bedroeg de emissie bij TS laag en TS hoog respectievelijk 48 en 55% van die bij zodenbemesting. In proef 2 bedroeg de emissie bij TS laag en TS hoog respectievelijk 83 en 41% van die bij zodenbemesting. De toegepaste hoeveelheden krijtsuspensie waren duidelijk hoger dan de beoogde 350 (125 NW) en 700 (250 NW) liter per ha vooral in proef 1 als gevolg van een hoger sproeivolume dan beoogd (1,1 en 1,4 m^3/ha). De varianten waarbij krijtsuspensie door de mest is gemengd gaven een hogere emissie dan de zodenbemester. In de proef is de gemengde variant daarom niet meer meegenomen. In plaats daarvan is een extra sproeivariant meegenomen. Beoogd is om de gedoseerde hoeveelheid tussen 125 en 250 NW te houden. De gemeten emissies bedroegen respectievelijk 72, 84 en 120% voor TS laag, TS midden en TS hoog. Opgemerkt dient te worden dat de hogere emissie bij TS hoog vooral veroorzaakt is door de laatste meetperiode (zie Figuur 4-5). Gemiddeld over de 7 metingen met krijtsuspensie gespreid over de meststrook bedroeg de emissie 72% van die van de zodenbemester bij een gemiddelde krijtsuspensie-gift van 760 l/ha (275 NW) en mestgift van 23 m^3/ha (zodenbemesting 21,6 m^3/ha).

Tabel 4-4 De gemeten ammoniakemissie eind augustus 2019 (proef 1), half mei 2020 (proef 2) en eind juni 2020 (proef 3) plus de toegediende hoeveelheden mest. Overzicht van de toegediende hoeveelheden mest en krijtsuspensie in de 3 proeven, met 2 concentratieniveaus voor sproeien van krijtsuspensie (laag en hoog).

Proef*	Behandeling	Start meting	Mestgift (m^3/ha)	Mestgift $\text{NH}_3\text{-N}$ (kg/ha)	Sproei volume (m^3/ha)	NW kg/ha	NH_3 -emissie kgN/ha	% van totaal	tov ZB
1	ZB	11:45	22.0	44.1			6.94	15.7	
1	TS hoog	12:21	17.5	35.0	1.85	447	3.01	8.6	48
1	TS laag	12:50	17.5	35.0	2.01	364	2.65	7.6	55
1	TS gemengd	14:00	17.5	35.0	0.20	73	6.16	17.6	112
2	ZB	9:45	19.8	43.7			17.50	40.1	
2	TS laag	10:30	17.7	38.8	1.83	221	12.91	33.3	83
2	TS hoog	12:05	28.1	64.5	1.82	330	10.62	16.5	41
2	TS gemengd	13:35	24.6	44.2	0.85	307	25.46	57.6	144
3	TS laag	9:10	27.1	56.9	2.15	160	14.56	25.6	72
3	TS midden	10:15	28.2	62.0	1.97	198	10.69	17.2	84
3	ZB	10:55	23.0	48.3			15.76	32.6	
3	TS hoog	11:32	23.4	49.1	1.72	207	20.56	41.9	120

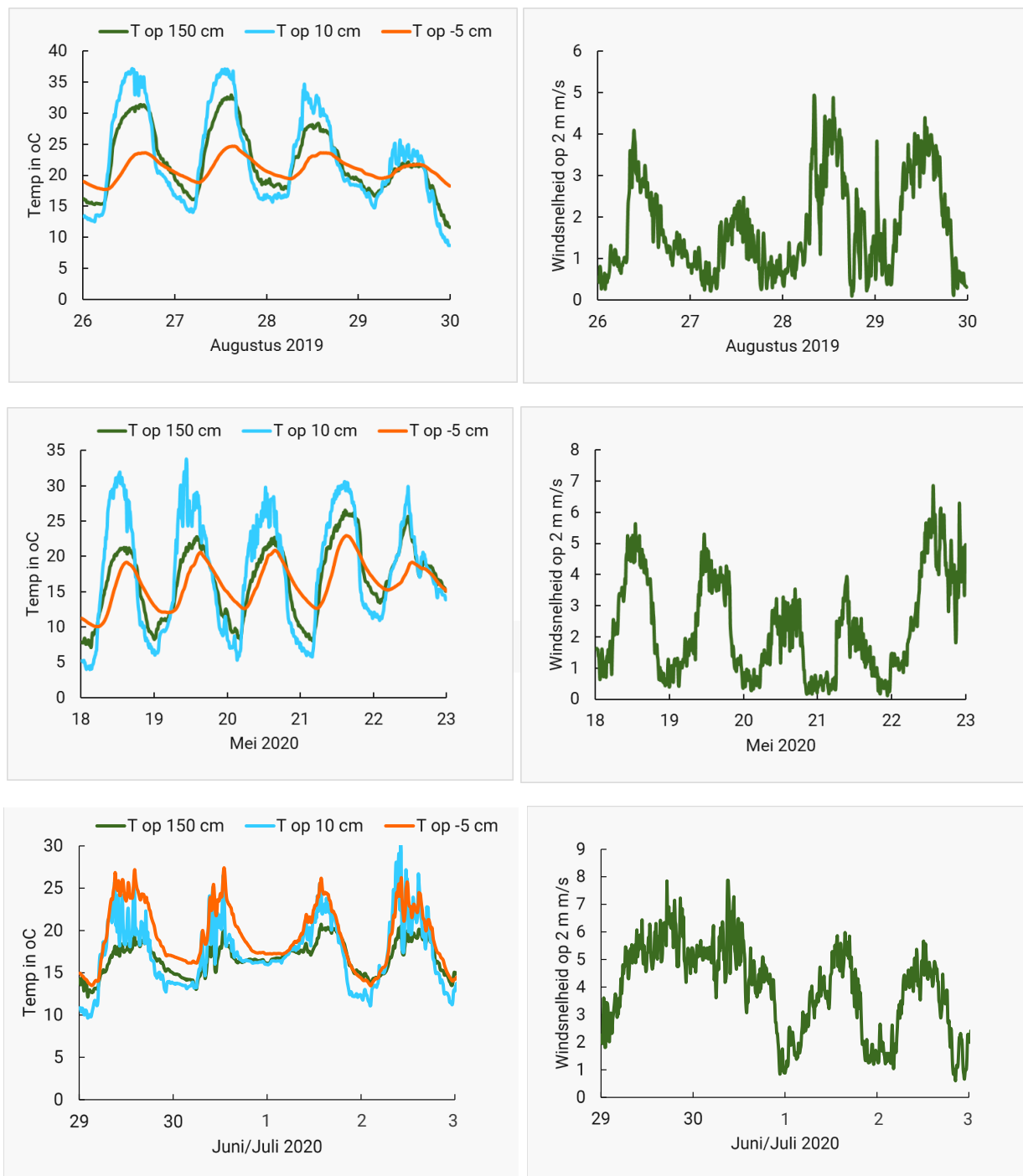
* proef 1 is uitgevoerd bij extreem warm weer (max > 32 °C), proef 2 bij warmer weer dan normaal en proef 3 bij ongeveer normale temperaturen voor de tijd van het jaar.

Uit Figuur 4-5 blijkt dat de emissie vooral bepaald wordt door de eerste twee dagen. Op de eerste dag zijn minimaal 3 keer per dag de ALPHA samplers omgewisseld (in proef 1 2 keer), waarna op de volgende dagen veelal gewisseld werd rond 7 uur 's ochtend en 7 uur 's avond. Uit Figuur 4-5 blijkt ook dat de emissie 's nachts heel laag was, mede doordat de windsnelheid heel laag was (Figuur 4-6) (op de meethoogte van 1 meter was het soms zelfs windstil). Beoogd werd om 4 dagen te meten tenzij er veel neerslag zou vallen. Bij proef 1 is in de nacht van 28 op 29 augustus 13,5 mm neerslag gevallen. De metingen zijn daarom op 29 augustus 's ochtends stopgezet. Bij proef 2 is er geen neerslag gevallen gedurende de 4 meetdagen. Bij proef 3 is lichte regen gevallen in de middag van tweede meetdag. In de nacht 30 juni en 1 juli is er nog meer neerslag gevallen en bedroeg de totale hoeveelheid neerslag uiteindelijk 15 mm. De metingen zijn nog 1 dag voortgezet en 3 dagen na aanvang stopgezet.



Figuur 4-5 De gemeten ammoniakemissie in augustus 2019, mei 2020 en juni 2020 met zodenbemesting (ZB) als referentietechniek ten opzichte van Triple Spray (TS) met een lage en hoge dosering krijtsuspensie en een variant waarbij de krijtsuspensie door de mest is gemengd. In juni 2020 is de behandeling TS gemengd vervangen door een sproeibehandeling met krijtsuspensie. In Tabel Y zijn de toegepaste dosering vermeld.

De 3 proeven zijn in mei, juni en augustus uitgevoerd. Daarbij was augustus 2019 extreem warm met maxima van 32 °C de eerste 2 dagen na aanvang van de proef met nabij het aardoppervlak nog hogere temperaturen. Het weer tijdens proef 2 was iets warmer dan normaal voor half mei terwijl het tijdens proef 3 aan de koele kant was voor eind juni (na een warme daaraan voorafgaande periode, wat de hoge bodemtemperaturen verklaart). De windsnelheid was bij proef 1 op de eerste twee dagen na de start duidelijk lager dan bij de twee andere proeven.



Figuur 4-6 Het temperatuur- en windsnelheidspatroon gedurende de 3 meetperioden.

5 Discussie

5.1 Emissieresultaat

Zowel de labproeven als de veldproeven laten zien dat het toedien van verdunde krijtsuspensie op het mestoppervlak de ammoniakemissie onderdrukt ten opzichte van de referentiemetingen. Bij de labmetingen zijn de effecten het duidelijkst bij de 1^e meting in april kort na aanvang van de metingen. Cumulatief na 8 dagen schommelde de emissiereductie rond de 10% voor behandelingen met 0,35 en 0,7 m³ krijtsuspensie per ha bij een mestgift van 15 m³ en 30 m³ per ha. Deze effecten zijn geringer dan in oriënterende metingen.

De drie veldmetingen laten zien dat het toedienen van verdunde krijtsuspensie in 5 van de 7 metingen een duidelijk lagere NH₃-emissie geeft dan zodenbemesting. Eén meting vertoont een gelijkwaardig resultaat met dat van zodenbemesting en één meting geeft een hogere waarde. Gemiddeld over de 7 metingen bedroeg de emissiereductie 28% ten opzichte van zodenbemesting. De emissie was het hoogst op dag 1 (60-90% van de totale emissie). De gemiddelde mestgift bedroeg respectievelijk 22,8 (TS) en 21,6 m³ (ZB) per ha. Gemiddeld is 1,9 m³ verdunde krijtsuspensie toegediend, overeenkomend met 275 NW per ha. De resultaten laten verder zien dat het emissie-reducerend effect groter is naarmate er meer krijtsuspensie is toegediend. Opvallend is dat de laatst toegediende TS behandeling bij de derde meetronde in juni 2020 een duidelijk hogere emissie geeft dan de twee andere behandelingen, hoewel de hoeveelheid NW ongeveer vergelijkbaar is. Vooral op de tweede meetdag is de emissie duidelijk hoger. Mogelijk heeft de latere aanleg op dag 1 in combinatie met miezerregen op dag 2 tot gevolg dat de toplaag langer vochtig blijft wat positief werkt op de ammoniakemissie. Ook de mestgift is van invloed. In de tweede meetronde is bij TS hoog de mestgift ruim 10 m³ hoger dan bij TS laag. Dit leidt er kennelijk toe dat de relatieve emissie duidelijk hoger is dan bij TS laag, ondanks een hogere hoeveelheid krijtsuspensie. De hogere mestgift bewerkstelligt waarschijnlijk een groter contactoppervlak van mest met lucht waardoor de effectiviteit met krijtsuspensie lager is. Op basis van de resultaten over 3 meetronden kan voorzichtig gesteld worden dat 20 m³ mest in combinatie TS toediening van een verdunde krijtsuspensie met (1,5-2,0 m³ per ha) met 200 NW een emissiereductie van 25% geeft ten opzichte van zodenbemesting.

5.2 De emissiemeettechniek

Algemeen

Als meettechniek is gekozen voor een volveldse meting met passieve ALPHA samplers op hoogte ZINST met toepassing van backward Lagrangian stochastic (bLS) dispersion modelling (Flesch et al., 1995 & 2004, Häni et al. 2016). Daarmee is het goed mogelijk om aan kleine oppervlakten te meten waardoor behandelingenobjecten minder ver uit elkaar hoeven te liggen. In onze aanpak is gekozen voor het berekenen van de emissie op basis van de lengte (en ligging) van de individueel opgemeten stroken in plaats van het berekenen op basis van de afgeleide straal van het veld. Berekenen op basis van de straal gaf tot ongeveer 4% hogere emissies. Pedersen et al. (2018) hebben de ZINST methode met passieve samplers vergeleken met de massabalansmethode (IHF) en de methode ZINST

gebruikmakend van Leuning samplers en komt tot de conclusie dat de resultaten vergelijkbaar zijn mits er geen extreme weersomstandigheden zijn (hoge windsnelheden en veel regen).

Bij de gekozen opzet is gekozen voor meerdere wisselingen van de samplers op de eerste meetdag en vervolgens op twee keer wisselen per etmaal zo rond 7 uur 's ochtends en 7 uur 's avonds. De gemeten emissie tijdens de avond en nachtperiode is veelal laag, ook al op de eerste meetdag. De reden is hiervan is dat de windsnelheid erg laag is en soms wegvalt. De gebruikte anemometers hebben een minimale windsnelheid nodig van 0,3 m/s en geven dus geen waarde bij lagere windsnelheden. Dit trad vooral op bij de eerste meetperiode in augustus 2019 en zal hier tot een heel kleine onderschatting van de gemeten waarden hebben geleid temeer daar de gemeten concentraties 's avonds en 's nachts duidelijk lager zijn dan overdag. Bij de andere twee meetperiodes was de windsnelheid 's nachts veelal hoger dan 0,3 m/s. Bij toekomstige metingen is te overwegen om een sonische anemometer te gebruiken om ook heel lage windsnelheden goed te kunnen meten.

Ook arbeids- en kostentechnisch is de toegepaste methode interessant. Het gebruik van passieve samplers in plaats van gaswasflessen of Leuning samplers verlaagt de kosten met meer dan 50% op basis van de resultaten van (Pedersen et al., 2018). Ten opzichte van de massa-balans methode met 5 meetpunten op verschillende hoogten is het kostenvoordeel nog groter. Het VERA protocol (Anonymus, 2019) geeft aan dat de methode ZINST een mogelijkheid is voor het meten van ammoniakemissie. Daarbij dient op de meethoogte minimaal gebruik te worden gemaakt van twee samplers. In onze proef waren dat er 3. Verder dienen er drie vergelijkende metingen te worden uitgevoerd in de periode voorjaar tot herfst. Onze metingen zijn in het late voorjaar en zomer uitgevoerd. Dit was het gevolg van een tijdrovende procedure om een vergunning te verkrijgen voor het toepassen van sleufkouterbemesting.

5.3 Triple Spray en krijtsuspensie

Voorafgaand aan de veldmetingen zijn in voorjaar 2019 door Slootsmid en Kreco testen uitgevoerd om verdunde krijtsuspensie goed te kunnen sproeien en is getest hoe de apparatuur ongeveer ingesteld zou moeten worden om met de TS dosering van ruim 1 m³ oplossing per ha te kunnen geven. Bij de uitvoering in augustus 2019 bleek de gerealiseerde dosering veel hoger uit te pakken, waardoor de beoogde hoeveelheid krijtsuspensie ook tot meer dan 50% hoger was dan gepland. In de metingen van 2020 is hierop geanticipeerd door de verdunningsratio van de krijtsuspensie aan te passen. Bij de tweede meting lag 1 behandeling in het beoogde traject van 125 tot 250 NW per ha. Bij de derde meetperiode lagen alle 3 de behandelingen binnen dit traject. Gemiddeld over alle gesproeide behandelingen is 275 NW per ha toegediend. De gebruikte machine is een prototype. Verwacht wordt dat het realiseren van een goed instelbare doseerhoeveelheid uiteindelijk goed te realiseren is.

Van belang is om de doseerunit en de toevoegleidingen goed schoon te spoelen na gebruik. Dat was niet goed gebeurd in augustus 2019 waardoor in mei 2020 voor aanvang van de proef enige aandacht nodig was om verstopte sproeiers schoon te maken. Dit ging betrekkelijk eenvoudig. In principe is een doorspoelvoorziening op de TS eenvoudig te realiseren.

Het principe om een sleufkoutermachine te voorzien van een unit om water te sproeien op de mest is ontwikkeld om ook voor de minder draagkrachtige gronden en zware klei een techniek te hebben die gelijkwaardig is aan zodenbemesting. Een aantal jaren geleden is de Triple Spray getoetst. Toen bleek de techniek op basis van 3 proeven net niet te voldoen aan het toetscriterium "gelijkwaardig aan de emissie die optreedt bij zodenbemesten. In combinatie met een bepaalde hoeveelheid krijtsuspensie is de emissie duidelijk lager dan die van zodenbemesting. Vanuit oogpunt om de emissie bij toedienen verder te beperken is de TS een interessante techniek voor veen- en zware klei. Bij het verder inregelen van de apparatuur en nog nauwkeuriger toedienen op de meststrook zelf (en er vrijwel niets meer naast de meststrook op het gras komt) wordt verwacht dat met hoeveelheden van duidelijk minder

dan 200 NW krijtsuspensie per ha kan worden volstaan om tot 25% emissiereductie te bewerkstelligen ten opzichte van zodenbemesten. Een belangrijk voordeel van de toepassing is dat deze techniek in principe goed te borgen is. Visueel is direct zichtbaar dat krijtsuspensie is toegediend zoals blijkt uit Figuur 4-2, Figuur 4-3 en Figuur 4-4. Ook na enkele dagen is nog goed te zien aan de mestkleur dat krijt is toegediend. De hoeveelheid die is toegediend is waarschijnlijk ook goed te borgen op basis van de aankoop van krijt tot registratie van de gedoseerde hoeveelheid.

Ook bij zodenbemesting moet de emissie verder terug. Het ligt voor de hand om het principe van de doseerunit van de TS ook toe te passen bij zodenbemesting. Op deze manier kan met een kleine hoeveelheid water ($< 2\text{m}^3$ per ha) in combinatie met een kleine hoeveelheid krijtsuspensie een flinke emissiereductie worden bereikt. In dit onderzoek is een gemiddelde emissiereductie van 28% bereikt bij TS ten opzichte van zodenbemesting. Indien we uitgaan van gemiddelde emissiefactoren voor zodenbemesting en sleufkouterbemesting (TS) van respectievelijk 19% en 24,8% van de in mest aanwezige ammoniumstikstof, dan zou toepassing van krijtsuspensie bij zodenbemesting mogelijk tot een emissiereductie van 45% (ofwel 10% emissie bij zodenbemesting). Natuurlijk moet dit cijfer als indicatief worden beschouwd, maar het geeft wel aan dat er een lonkend perspectief is om deze techniek ook bij zodenbemesting te toetsen.

De TS techniek is toegepast met krijtsuspensie juist omdat veel graslandpercelen een kleine kalkgift nodig hebben. Opgemerkt moet worden dat het krijt van Kreco een bijzondere vorm van een carbonaathoudende meststof is die in meerdere fysische eigenschappen verschilt van andere carbonaathoudende meststoffen zoals kalksteen of dolomiet. Het krijt heeft namelijk een groot specifiek oppervlak ($10\text{ m}^2/\text{g}$) omdat het uit zeer kleine deeltjes bestaat ($< 5\mu\text{m}$) en daarnaast een hoge affiniteit heeft voor water (sterke van der Waals krachten). Dit leidt vermoedelijk tot een hoge fysisorptie van ammoniak aan het krijtoppervlak en daardoor tot een emissiereducerende werking.

De TS techniek is mogelijk ook te combineren met andere stoffen die een ammoniak adsorberende of bufferende werking hebben. Dat geeft meer flexibiliteit bijvoorbeeld wanneer de kalkbehoefte van graslandpercelen zo laag is dat verdere verlaging van de hoeveelheid krijtsuspensie (door verdere verfijning van de spraytechniek of verdunning van de krijtsuspensie) niet mogelijk is.

6 Conclusies en aanbevelingen

- Het veldonderzoek in 3 meetronden wijst uit dat het toedienen van verdunde krijtsuspensie via sproeien op meststroken via Triple Spray is een perspectiefvolle techniek om de ammoniakemissie substantieel te verlagen. Gemiddeld werd 28% emissiereductie gemeten ten opzicht van zodenbemesten.
- Het toepassen van bLS methode in combinatie met passieve samplers op één karakteristieke hoogte is een goed uitvoerbare methode voor het meten van ammoniakemissie op relatief kleine velden. De methode is arbeids- en kostentechnisch aantrekkelijk.
- Het nauwkeurig doseren van een gewenste hoeveelheid verdunde krijtsuspensie en het exact toedienen op de meststrook vergt aandacht.
- De doseertechniek zoals die op de sleufkouter is toegepast is waarschijnlijk ook een goede techniek voor toepassing op de zodenbemester om zo een forse emissiereductie te bewerkstelligen. Dit vergt nader onderzoek.

Referenties

- Anonymus (2009). Test Protocol for Land Applied Manure Version 1, 2009-12-09. VERA Delft, pp 28.
- Denmead OT (1983). Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In Freney JR & Simpson JR (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
- 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->
- 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>
- 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; doi:10.3390/agronomy8110245
- 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.
- Van Bruggen C, Bannink A, Groenestein CM, Huijsmans JFM, Lagerwerf LA, Luesink HH, Van der Sluis, SM, Velthof GL & Vonk J (2017). Emissies naar lucht uit de landbouw in 2017. Berekeningen met het model NEMA. WOt technical report 147. Pp131
- 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>
- Wilson JD, Thurtell GW, Kidd GE & Beauchamp EG (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).



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl