

Proeftuin Natura 2000 Overijssel

Toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland

Ammoniakemissie en gewasopbrengst

J.F.M. Huijsmans, J.M.G. Hol en H.A. van Schooten

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland

Ammoniakemissie en gewasopbrengst

J.F.M. Huijsmans[1], J.M.G. Hol[2] en H.A. van Schooten[2]

[1] Wageningen UR Plant Research International
[2] Wageningen UR Livestock Research

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde
April 2015

Rapport 629

© 2015 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. 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 DLO.
Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Agrosysteemkunde.

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

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 616, 6700 AP Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 - 48 06 85
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

Voorwoord 1

Samenvatting 3

Abstract 5

1. Inleiding 7

2. Materiaal en methode 9

2.1 Algemeen 9
2.2 Ammoniakemissie 10
2.2.1 Meetmethode 10
2.2.2 Metingen 11
2.3 Gewasopbrengst 13
2.3.1 Proefopzet 13
2.3.2 Proefuitvoering 14
2.3.3 Weersomstandigheden 14
2.3.4 Waarnemingen 15

3. Resultaten 17

3.1 Ammoniakemissie 17
3.2 Gewasopbrengst 20
3.2.1 Mestgift en mestsamenstelling 20
3.2.2 Grasopbrengst en samenstelling 21

4. Discussie 25

4.1 Emissieonderzoek 25
4.2 Gewasmonitoring 26
4.3 Zwavelbemesting en gebruik zwavelzuur 28

5. Conclusie en aanbevelingen 31

6. Literatuur 33

Bijlage I. Situering proefvelden 35

Bijlage II. Weersomstandigheden tijdens de metingen 37

Bijlage III. Proefveldschema gewasmonitoring 39

Bijlage IV. Gewasopbrengst en samenstelling per veld, eerste snede na mest aanwenden 41

Bijlage V. Gewasopbrengst en samenstelling per veld, tweede snede na mest aanwenden 43

Bijlage VI. Verloop van de pH van de mest na toediening op het gras 45

Voorwoord

Binnen de huidige regelgeving wordt aangeven hoe mest emissiearm toegediend dient te worden. Binnen het kader van de Proeftuin Natura 2000 Overijssel is onderzoek verricht naar het effect van aanzuren van de mest op de ammoniakemissie en gewasopbrengst. Opzet van het onderzoek, voortgang en resultaten zijn besproken in een begeleidingsgroep met vertegenwoordigers vanuit o.a. de Proeftuin, machinefabrikant Schuitemaker en LTO. De heer Bussink van het NMI heeft bijgedragen aan de discussie rondom de resultaten.

Samenvatting

Reductie van ammoniakemissie (NH_3-emissie) is noodzakelijk om voor veehouders ontwikkelingsruimte in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) te realiseren. Nationaal staat het gebruik van de sleepvoetenmachine in de toekomst onder druk tenzij stappen in een verdere emissiereductie gezet kunnen worden. Binnen de verkenningen van Proeftuin Natura 2000 Overijssel is aanzuren van mest aangegeven als een potentiële methode om de emissie bij uitrijden verder te reduceren.

Door aanzuren wordt het chemisch evenwicht in de mest tussen ammonium en ammoniak verschoven richting ammonium. Door het aanzuren (pH verlaging van de mest) wordt er dus minder ammoniak in de mest gevormd. Aanzuren van mest kan plaats vinden tijdens de bewaarperiode in de opslag. Daarnaast kan de mest ook vlak voor toediening in een aanzuurinstallatie of op de uitrijdapparatuur tot een willekeurig pH worden aangezuurd.

Onbekend is hoe hoog de emissie is bij het uitrijden van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine, sleufkoutermachine of zodenbemester. Deze uitrijmethoden geven op zich namelijk al een significante emissiebeperking.

Het voorliggend onderzoek had tot doelstelling 1) het vaststellen van de ammoniakemissie bij toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland 2) na te gaan of aanzuren leidt tot een betere gewasopbrengst (ds-opbrengst, voederwaarde, N-benutting en S-opname en samenstelling). Voor het vaststellen van de emissiereductie is een veldonderzoek uitgevoerd, waarbij in verschillende mate aangezuurde mest is uitgereden met een sleepvoetenmachine op grasland. Bij het onderzoek naar de gewasopbrengst is naast mesttoediening met een sleepvoetenmachine ook toediening van onbehandelde en aangezuurde mest met een sleufkouter opgenomen. Bij de opzet van het onderzoek is uitgegaan van rundermest van een gangbaar melkveehouderijbedrijf en mesttoediening op grasland. Het aanzuren van de mest met zwavelzuur (ca 98%) vond plaats op de uitrijdmachine tijdens de toediening. De vergelijkende emissiemetingen zijn op verschillende tijdstippen gedurende het groeiseizoen uitgevoerd om zo ook verschillende weers- en bodemomstandigheden mee te nemen. Voor het onderzoek naar de gewasopbrengst is de mest na de 1e snede toegediend en gedurende de daaropvolgende 2 sneden gemonitord.

In het huidige onderzoek was de ammoniakemissie bij het toedienen van niet aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine gemiddeld 35% van de opgebrachte ammoniumstikstof (NH_4-N). Bij het aanzuren met 2 liter zwavelzuur per m^3 mest was de emissie gemiddeld 33% (25 tot 44%) en bij 4 liter per m^3 mest gemiddeld 27% (18 tot 33%). Het aanzuren gaf een gemiddelde emissiereductie over alle proeven (onafhankelijk van tijdsduur proef) van 7% bij 2 liter zwavelzuur per m^3 mest en 24% bij 4 liter per m^3 mest ten opzichte van niet aangezuurde mest. Uit het verloop van de emissie blijkt dat gedurende het eerste etmaal na uitrijden het aanzuren een duidelijke emissiereductie geeft, maar dat deze reductie daarna afneemt ten gevolge van een alsnog later op gang komende emissie. De pH metingen aan de aangezuurde mest op verschillende tijdstippen tijdens en kort na de mesttoediening gaven een grote spreiding te zien.

In dit onderzoek werd het effect op de grasopbrengst en samenstelling onderzocht van het aanzuren van mest met 2 en 4 l per ton mest bij een eenmalige aanwending van 25 m^3 per ha. De grasopbrengst en de samenstelling werden gemeten in de eerste twee sneden na aanwenden van de mest.

- Er waren geen significante verschillen in opbrengst en voederwaardesamenstelling tussen het gras van de behandelingen die bemest waren met een sleepvoetenmachine en die bemest waren met een sleufkoutermethode.
- In de eerste snede na aanwenden van de mest was de grasopbrengst van de behandelingen die bemest waren met aangezuurde mest 10% hoger (350 kg drogestof bij een gemiddelde opbrengst van ca. 3500 kg drogestof per ha) dan van de behandelingen die bemest waren met onbehandelde mest. Daarbij was er geen verschil in grasopbrengst tussen de behandelingen met 2 l en 4 l zwavelzuur per ton mest. Er waren geen significante verschillen in gehalte aan ruw eiwit en zwavel van het gras tussen de verschillende behandelingen.

Dit leidde tot geen significante verschillen in stikstofopbrengst en N-recovery's tussen de verschillende zuurbehandelingen. De zwavelopbrengst van behandelingen met aangezuurde mest was 15% (2 kg per ha) hoger dan van de behandeling met onbehandelde mest. Er waren geen verschillen in voederwaardekenmerken (VEM, DVE en OEB) tussen verschillende behandelingen.

- In de tweede snede na aanwenden waren er bij een snedeopbrengst van ruim 1500 kg drogestof per ha geen effecten van het aanzuren van mest op de opbrengst en samenstelling van het gras.

Aanbevolen wordt om overmatige toediening van zwavel aan de bodem te vermijden om te hoge zwavelgehaltes in het gewas en uitspoeling te voorkomen. Wanneer zwavel via bemesting wordt aangevuld op basis van het zwavelbemestingsadvies (www.bemestingsadvies.nl), dan kan alleen op zandgronden met lage SLV-waardering een (klein) deel van de mest worden aangezuurd met zwavelzuur. Wanneer zwavel op basis van gewasonttrekking wordt aangevuld dan is op alle grondsoorten een aanvullende S-bemesting via zwavelzuur mogelijk. Bij een dosering van 4 l zwavelzuur per m3 mest kan dan echter niet meer dan globaal een derde deel van de totale mestgift op jaarbasis worden aangezuurd.

Abstract

Low-emission manure application techniques are compulsory in The Netherlands. Low emission manure application on grassland comprises shallow injection and narrow band application by trailing feet. No data are available on the ammonia emission after application of acidified slurry with these techniques.

Field trials were carried out to get better knowledge on the ammonia volatilisation after narrow band application of acidified and non-acidified slurry on grassland. Acidification of the slurry was carried out on the applicator using sulphuric acid (ca 98%). In these emission experiments, the volatilization of NH_3 was determined using the micrometeorological mass balance method. Field trials were also carried out to estimate the effect on grass yield and composition after applying acidified and non-acidified slurry by a trailing foot machine and a shallow injector.

The experiments showed that the mean ammonia volatilisation following the application of the non-acidified slurry by the trailing feet was on average 35% of the total ammoniacal nitrogen applied and varied in the experiments from 27 – 45%. Acidification with 2 l per m^3 slurry (pH varying around 6.8) resulted in an ammonia emission of on average 33% (25-44%) and acidification with 4 l per m^3 slurry (pH varying around 6.3) resulted an ammonia emission of on average 27% (18-33%). Acidification with 2 l per m^3 gave an average emission reduction of 7% and with 4 l per m^3 24% compared to the non-acidified slurry. Acidification of the slurry mainly gave a reduction of emission during the first 24 h after application, but the main reduction decreased in the period afterwards.

The field trials on grassland showed that compared to non-acidified slurry acidification with 2 en 4 L per m^3 slurry resulted in 10% (350 kg per ha) higher dry matter yield and 15% (2 kg per ha) higher sulphuric yield in the first cut after slurry application by a trailing foot machine and a shallow injector. There were no significance differences in nitrogen yield and nutritive value of the grass. Acidification of the slurry had no effect on grass yield and composition in the second cut after slurry application.

Acidification of slurry with sulphuric acid can lead to a too high sulphuric content of the grass and soil loading with sulphate. To prevent such risks only a (small) part of the annually applied slurry can be acidified with sulphuric acid.

1. Inleiding

Reductie van ammoniakemissie (NH_3-emissie) is noodzakelijk om voor veehouders ontwikkelingsruimte te creëren in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Ammoniakemissie bij mest uitrijden is een grote emissiebron. Stikstof die niet emitteert kan door het gras worden benut, waardoor verder op kunstmest kan worden bespaard. Nationaal staat het gebruik van de sleepvoetenmachine in de toekomst onder druk tenzij stappen in een verdere emissiereductie gezet kunnen worden. Ook een verder terugdringen van de emissie bij zodenbemesting zal in de toekomst mogelijk vereist gaan worden. Voor de veehouderij is het dus van belang de ammoniakemissie bij uitrijden verder te reduceren. Binnen de verkenningen van Proeftuin Natura 2000 Overijssel is aanzuren van mest aangegeven als een potentiële methode om de emissie bij uitrijden verder te reduceren.

Huidige situatie mesttoediening en werkingsprincipe aanzuren
Het werkresultaat zoals dit bereikt kan worden bij mesttoediening met een zodenbemester is een erkende methode en behandelingen van de toegediende mest zijn toegestaan zolang het werkresultaat binnen de huidige regelgeving valt. Voor het mogen toepassen van aanzuren zijn in dit kader nog geen specifieke regels voorhanden. Ditzelfde geldt ook voor de toediening met een sleepvoetenmachine, echter deze is niet toegestaan op zandgrond.

Externe factoren (weer, bodem, gewas, mestsamenstelling en mestgift) zijn van invloed op de hoogte van de ammoniakemissie. Naarmate de mest meer onder invloed van deze factoren ligt zal de emissie meer variëren. Het toepassen van aanzuren speelt in op de “mestsamenstelling”. Door aanzuren wordt het chemisch evenwicht in de mest tussen ammonium en ammoniak verschoven richting ammonium volgens:

$$NH^{+}_{4,aq,m} \longleftrightarrow NH_{3,aq,m} + H^{+}$$
$$NH_{3,aq,m} \longleftrightarrow NH_{3,g,m}$$

Door het aanzuren (pH verlaging van de mest) wordt er dus minder ammoniak (NH_3) in de mest gevormd, waardoor er dus potentieel minder van de met de mest opgebrachte ammonium (NH_4^+) als ammoniak kan vervluchtigen. Voor het aanzuren dient bij voorkeur een sterk zuur te worden gebruikt. Het zuur moet geen extra belasting opleveren voor het milieu. Aanzuren van mest kan plaats vinden tijdens de bewaarperiode in de opslag. Daarnaast kan de mest ook vlak voor toediening in een aanzuurinstallatie of op de uitrijdapparatuur tot een willekeurig pH worden aangezuurd.

Bussink *et al.* (1994) hebben een analyse gemaakt van de ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpige toediening van aangezuurde mest. In de veldmetingen werd een gemiddelde totale ammoniakemissie van 60% gevonden (range 29-98% van de toegediende ammoniakale stikstof) bij bovengronds breedwerpig toegediende onbehandelde mest. Door de mest aan te zuren werd een emissiereductie bereikt van 85, 72 en 55% bij respectievelijk een pH 4,5, pH 5,0 en pH 6,0. Huijsmans *et al.* (1994) geven emissiereducties bij toediening van aangezuurde mest met een sleepslangenmachine. Bij aanzuren tot een pH van 6,3-6,7 werd een emissiereductie bereikt van circa 17% ten opzichte van niet behandelde mest, toegediend met een sleepslangenmachine. Bij een pH van circa 5 was de emissiereductie circa 90% tov. niet behandelde mest, toegediend met een sleepslangenmachine. Vanuit Deens onderzoek (Nyord *et al.*, 2010) worden emissiereducties gemeld van circa 50% bij tijdens de toediening aangezuurde rundermest op grasland (pH 6,4) met een sleepslangenmachine ten opzichte van onbehandelde mest uitgereden met een sleepslangenmachine.

Mate van aanzuren
De ammoniakemissie is sterk afhankelijk van de mate van aanzuren én de methode van uitrijden. Ook bij toepassing van aangezuurde mest zal een variatie in de hoogte van de ammoniakemissie optreden (net zoals bij onbehandelde mest). De gevonden resultaten van aanzuren uit eerdere studies zijn nu niet te vertalen naar de huidige gangbare toepassingen met een sleepvoetenmachine of zodenbemester in Nederland. Deze methoden geven op zich al een significante emissiebeperking. Het Deense onderzoek geeft bijvoorbeeld aan dat de onderzochte aangezuurde mest

toegediend met een sleepslangenmachine een hogere ammoniakemissie gaf dan onbehandelde mest toegediend met een zodenbemester.

Probleemstelling
Uitgaande van de huidige toegelaten methoden voor het uitrijden van mest is het van belang vast te stellen in welke mate aanzuren tot een nog effectievere emissiereductie kan leiden. Effectiever dient dan uitgelegd te worden als een lagere ammoniakemissie dan bij onbehandelde mest toegediend met een zodenbemester of met een sleepvoetenmachine. De minimale vereiste aanzuurgraad is cruciaal; aanzuren leidt tot extra kosten en met name bij verder verlagen van de zuurgraad zal een meer dan evenredige toename van het zuurverbruik te verwachten zijn. Daarbij is het natuurlijk ook van belang te weten of een eventuele emissiereductie ook leidt tot een betere gewasopbrengst.

Het voorliggend onderzoek heeft tot doelstelling 1) het vaststellen van de ammoniakemissie bij toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland 2) na te gaan of aanzuren leidt tot een betere gewasopbrengst (ds-opbrengst, voederwaarde, N-benutting en S-opname en samenstelling). In het onderzoek is voor het aanzuren zwavelzuur (ca 98%) gebruikt. Voor het vaststellen van de emissiereductie is een veldonderzoek uitgevoerd, waarbij in verschillende mate aangezuurde mest is uitgereden met een sleepvoetenmachine op grasland. Uit dit onderzoek dient afgeleid te kunnen worden in welke mate minimaal aangezuurd dient te worden om een effectievere emissiereductie te bereiken. Bij het onderzoek naar de gewasopbrengst is naast mesttoediening met een sleepvoetenmachine ook toediening van onbehandelde en aangezuurde mest met een zodenbemester opgenomen. Bij de opzet van het onderzoek is uitgegaan van rundermest van een gangbaar melkveehouderijbedrijf en mesttoediening op grasland. Uitgegaan is van twee stappen van aanzuren: tot een pH van circa 6 en een pH van circa 5,5. In het onderzoek wordt een vergelijking gemaakt met onbehandelde mest. Het aanzuren van de mest vindt plaats op de uitrijdmachine tijdens de toediening. Aangezuurde en onbehandelde mest worden op eenzelfde wijze toegediend. De vergelijkende emissiemetingen zijn op verschillende tijdstippen gedurende het groeiseizoen uitgevoerd om zo ook verschillende weers- en bodemomstandigheden mee te nemen. Voor het onderzoek naar de gewasopbrengst is de mest na de 1^{e} snede toegediend en gedurende de daaropvolgende 2 sneden gemonitoord.

Het onderzoek is afgebakend tot het meten van de ammoniakemissie en het monitoren van de gewasopbrengst. Praktische implementatie en overige effecten op het gras of bodem (eventuele schade) vallen buiten de scope van dit project.

2. Materiaal en methode

2.1 Algemeen

Het onderzoek werd aangelegd op een perceel meerjarig grasland van melkveebedrijf Mts. Kastelijn-Hol in Kamerik. De mest was ook afkomstig van dit bedrijf. De grondsoort wordt getypeerd als klei op veen. Voorafgaand aan de proef is een grondmonster genomen. De analyseresultaten staan in Tabel 1.

Tabel 1. Bodemanalyse (0-10 cm).

Org. Stof (%)	pH	Lutum (%)	NLV (kg N/ha)	P-AL (mg P_2O_5/100 g)	P-PAE (mg P/kg)	K-PAE (mg K/kg)	Mg-PAE (mg Mg/kg)	SLV (Kg S/ha)
21.6	4.9	43	230	45	1.8	117	479	36

Tijdens de metingen waren de bodemomstandigheden goed; dit houdt in dat de bodem niet heel nat was (goed berijdbaar en niet heel droog). In alle metingen is uitgegaan van rundermest afkomstig van het bedrijf en een mestgift van circa 20-25 m^3 ha^{-1}. Het uitrijden van de proefvelden voor de ammoniakmetingen werd met twee machines uitgevoerd om zo de proefvelden zoveel mogelijk tegelijk aan te kunnen leggen. Het toedienen van de onbehandelde mest werd uitgevoerd met een praktijkmachine van een loonwerker: een getrokken tank met een 6 m brede sleepvoetenmachine (Figuur 1). Het toedienen van de aangezuurde mest werd bij de emissie- en gewasopbrengstproeven uitgevoerd met een getrokken tank en een sleepvoetenmachine van 7,20 m. Bij de gewasopbrengstproef werd hiermee ook de onbehandelde mest toegediend en werd ook een zodenbemester aan deze getrokken tank gekoppeld. Het aanzuren van de mest gebeurde op de machine vlak voordat de mest via de verdeelunit over de sleepvoeten of zodenbemesterelementen gedoseerd werd (Figuur 1). Voor het aanzuren werd zwavelzuur (ca 98%) toegepast. Het zuur werd in de mestleiding gedoseerd kort voor de verdeelunit om zo een goede menging te verkrijgen. De machine was hiertoe ontwikkeld met een doseerunit voor het zuur. Een te bereiken pH werd tevoren ingesteld; het doseren van het zuur werd automatisch geregeld op basis van een continue pH meting in de meststroom op de machine. Voorafgaande aan het onderzoek is proef gedraaid met de machine om de mogelijkheden van het instellen van verschillende pH stappen te onderzoeken. Dit bleek niet eenvoudig te zijn. De automatische regeling bleef bij proefdraaien niet geheel stabiel bij variatie van de instelling van de pH. Bij het proefdraaien werd ook duidelijk dat het aanzuren tot onder de pH 5 veel problemen gaf in het stabiel blijven van de pH en in een duidelijk zichtbare schuimvorming van de mest bij het toedienen op het land. Hierdoor ontstond een groot met mest besmeurd oppervlak. Daarom werd besloten om de zuurdosering te regelen op basis van een vast aantal liters zuur per m^3 mest. Voor het bepalen van de hoeveelheid zuur per m^3 mest werd in het laboratorium een titratiecurve gemaakt. Hiervoor werd een mestmonster uit de mestkelder van de beoogde mest gebruikt. Uit deze titratiecurve werd de benodigde hoeveelheid zuur afgeleid om tot een gewenste pH van de mest te komen. Voor het gehele onderzoek (alle metingen) is aangehouden 2 liter zwavelzuur per m^3 mest voor het bereiken van een pH van circa 6 en 4 liter zwavelzuur per m^3 mest voor het bereiken van een pH van circa 5.



Figuur 1. *Sleepvoetenmachines voor het uitrijden van de onbehandelde mest (links) en aangezuurde mest (rechts).*

2.2 Ammoniakemissie

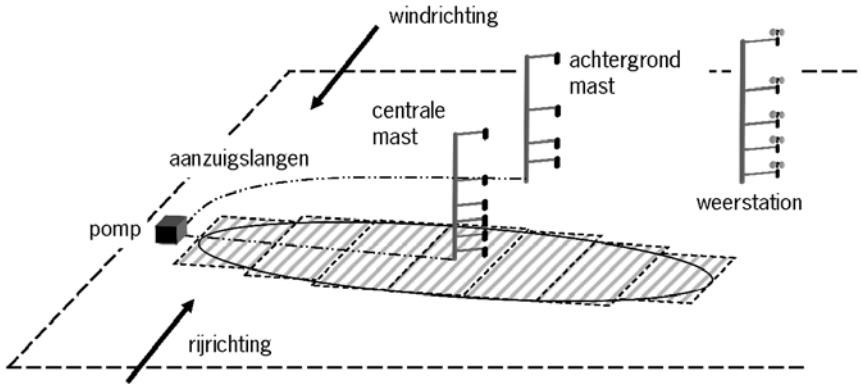
In totaal zijn vier meetseries uitgevoerd, waarin de ammoniakemissie bij mesttoediening met een sleepvoetenmachine en twee stappen van aanzuren is gemeten en vergeleken. Binnen één meetserie werden 3 velden aangelegd: onbehandelde mest en twee velden met verschillende mate van aanzuren. In bijlage 1 wordt een voorbeeld gegeven van de situering van de proefvelden van één van de meetseries. Een meting duurde ca. 4 dagen per proefveld, waarna een nieuwe meting/meetserie opgestart kon worden. De emissiemetingen werden uitgevoerd met de micrometeorologische massabalansmethode onder veldomstandigheden zoals die in de praktijk voorkomen.

2.2.1 Meetmethode

De ammoniakemissie werd gemeten met de micrometeorologische massabalans methode (Figuur 2). De micrometeorologische massabalansmethode berust op de vergelijking van de 'binnenkomende' ammoniakstroom (flux) met de 'uitgaande' ammoniakstroom (Denmead, 1983). Beide fluxen worden gemeten in een denkbeeldig verticaal vlak dat loodrecht staat op de gemiddelde windrichting. Bij deze meetmethode wordt een cirkelvormig bemest proefveld aangelegd van ca 0,15 ha, waarbij de meetmast die de uitgaande ammoniakflux meet in het midden van de cirkel wordt geplaatst (centrale mast). De binnenkomende ammoniakflux wordt gemeten met een mast die bovenwinds aan de rand van de cirkel staat (achtergrond mast). Figuur 2 toont een overzicht van de opstelling van een meting volgens de micrometeorologische massabalans methode. Bij de centrale mast werden op 5 verschillende hoogtes (logaritmisch verdeeld) de bemonsteringspunten geplaatst (op ca. 0,3, 0,6, 1,0, 1,9, en 3,4 m boven maaiveld, +mv). Bij de achtergrondmast waren dit 3 meetpunten (op ca. 0,3, 1,9 en 3,4 m +mv).

De ammoniak in de lucht werd gemeten met behulp van een nat-chemische bemonsteringsmethode. Met impingers werd door middel van een pomp en aanzuigslangen gemiddeld 2,5 l min^{-1} te bemonsteren lucht door gaswasflessen gevuld met 20 ml absorptievloeistof (0,02 M HNO_3) geleid. De ammoniakemissie na het toedienen van mest neemt exponentieel af in de tijd. Daarom werden de monsternameperiodes ingedeeld in de volgende tijdsperiodes (uren na toediening van de mest): 0-1; 1-3; 3-6; 6-9; 9-24; 24-48; 48-72 en 72-96 uren. Het ammoniumgehalte in de absorptievloeistof werd bepaald met een 'foto spectrometer'. De hoeveelheid bemonsterde lucht werd tweemaal per bemonsteringsperiode bepaald met behulp van rotorflowmeters.

De bemeste proefvelden hadden een oppervlakte van ca. 0,15 ha en waren bij benadering rond (diameter ca. 45 m), zodat bij verschillende windrichtingen de aanstroomlengte tot de centrale mast vrijwel gelijk bleef. Een cirkelvormig veld werd verkregen door de mest in banen uit te rijden. De lengte en breedte van deze banen werden opgemeten.



Figuur 2. *Opbouw van een proefveld voor metingen volgens de micrometeorologische massabalansmethode. Diameter proefveld ca. 45 m.*

Met de gemeten ammoniakconcentraties werd per monsternameperiode het concentratieprofiel bepaald, waarbij de concentratie afneemt met de hoogte van het monsternamepunt op de meetmast. Het concentratieprofiel werd gecorrigeerd voor de gemiddelde inkomende ammoniakflux (achtergrondmast bovenwinds), waarbij de ammoniak-concentratie voor alle drie de monsternamepunten ongeveer gelijk is. Tegelijkertijd werd per monsternameperiode op verschillende hoogten de windsnelheid gemeten (paragraaf 2.4), waarmee een windprofiel kon worden opgesteld. Met de windrichting en de afmetingen van een proefveld werd per monsternameperiode de gemiddelde aanstroom-lengte (fetch) tot de centrale mast bepaald. Vervolgens werd met het concentratie- en windprofiel en de fetch, de emissie per monsternameperiode berekend (Denmead, 1983; Mulder & Huijsmans, 1994). De emissie per meetinterval wordt weergegeven als percentage van de met de mest toegediende NH_4-N. De totale (cumulatieve) emissie gedurende een meetsessie wordt verkregen door optelling van de bepaalde emissies in de aaneengesloten meetintervallen.

2.2.2 Metingen

De effecten van toedieningstechniek, mestdosering, veld- en weersomstandigheden op de ammoniakemissie kunnen verstrengeld zijn. Bij de opzet van het onderzoek is geprioriteerd om inzicht te krijgen in het effect van aanzuren bij mesttoediening met een sleepvoetenmachine. Dit betekende dat gewerkt werd met één mestsoort en een vooraf gekozen mestdosering en dat de metingen aan de verschillende stappen van aanzuren zoveel mogelijk gelijktijdig werden uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd in het voorjaar na de 1e snede (begin mei) en na de 2e snede (begin juni) in 2014.

Per meetserie werden drie proefvelden aangelegd met als variant het verschil in aanzuren: onbehandelde mest, aangezuurde mest tot pH 6-6,5 en aangezuurde mest tot pH 5,5-6. Het onderzoek werd gestart zodra de machine voor het aanzuren van de mest beschikbaar kwam; het onderzoek werd daardoor na de 1e snede gestart. De metingen werden na de 1e snede en direct na de 2e snede uitgevoerd. De eerste 2 proeven werden uitgevoerd terwijl al enige grasgroei had plaatsgevonden als gevolg van de latere beschikbaarheid van de machine. De bemesting kon nog wel worden uitgevoerd. Bij de meetserie na de 2e snede volgde het tijdstip van de bemesting meer de gangbare praktijk. Binnen een meetserie van 2 opeenvolgende proeven werden de proefvelden zodanig neergelegd dat de proefvelden elkaar niet beïnvloedden. De meetsessies werden gespreid over de tijd uitgevoerd, opdat ook variatie in de omstandigheden meegenomen wordt. Na de uitvoering van de meetserie na de 1ste snede werd het gehele perceel bemest met dierlijke mest. Tabel 2 geeft een overzicht van de meetseries.

Tabel 2. Proeven en begin- en eindtijdstippen van de meetsessies.

Proef	Veldnummer + mestplaatsing	Startdatum	Starttijdstip (uur:minuut)	Einddatum	Eindtijdstip (uur:minuut)	Totale looptijd (uren)
1	Referentie	1-5-2014	8:43	4-5-2014	21:41	85.0
	Zuur 2 liter		8:28		21:50	85.4
	Zuur 4 liter		9:35		21:31	83.9
2	Referentie	5-5-2014	8:40	8-5-2014	8:42	72.0
	Zuur 2 liter		8:28		9:03	72.5
	Zuur 4 liter		9:07		8:27	71.3
3	Referentie	3-6-2014	9:40	5-6-2014	21:10	59.5
	Zuur 2 liter		9:27		21:19	59.9
	Zuur 4 liter		10:00		21:31	59.5
4	Referentie	6-6-2014	8:58	8-6-2014	18:21	81.4
	Zuur 2 liter		8:48		18:11	81.4
	Zuur 4 liter		9:24		18:00	80.6

Voorafgaand aan de aanleg van ieder proefveld werd de messtank met mest gevuld en de totale machine gewogen. Na het bemesten van ieder proefveld werd de machine terug gewogen. Uit het verschilgewicht en de afmetingen van het proefveld werd de mestgift bepaald. Per proefveld werden twee mestmonsters genomen bij het uitrijden van de mest aan een uitloop van een sleepvoet. De mestmonsters werden geanalyseerd op NH_4-N, N_{totaal}, drogestofgehalte en pH.

Omdat de pH van de mest essentieel is voor de emissie in dit onderzoek werd naast een titratiecurve van de onbehandelde mest per proef ook de gemeten pH van de uitgereden mest gemonitoord. Op verschillende manieren en tijdstippen is de pH van de uitgereden mest gemeten:

- pH metingen door de machine. Iedere 10 sec werd de pH gemeten en vastgelegd in combinatie met GPS gegevens over de locatie van de machine;
- na iedere uitgereden baan van het cirkelvormig veld werd aan de uitloop van de machine gelijk mest opgevangen en in het veld de pH gemeten. Een cirkelvormig veld bestond uit 6 banen, dus per veld werden op deze manier 6 metingen van de pH gedaan;
- per meetveld werden 2 mestmonsters genomen in het veld tijdens het uitrijden. Deze monsters werden koel bewaard en de pH werd een aantal uur later gemeten en vervolgens nog een keer vastgesteld in het laboratorium bij de totale mestanalyse; van één van de niet aangezuurde (onbehandelde) mestmonsters werd in het laboratorium een titratiecurve gemaakt;
- op ieder uitgereden proefveld werd een veldje van circa 5 x 5 m gemarkeerd waar de pH werd gemeten van de uitgereden mest op het grasland. Hiertoe werd een oppervlakte pH meter gebruikt die in de mest op de grond/gras werd gehouden. Op dit gemarkeerde veldje werd per tijdstip 10 keer de pH op verschillende plaatsen gemeten. De pH metingen werden direct na het uitrijden van de mest uitgevoerd en herhaald op de tijdstippen waarop ook de wisselingen van de ammoniakemissiemetingen plaatsvonden om zo ook een beeld te krijgen van het verloop van de pH van de mest na het moment van uitrijden.

Gedurende een gehele meetsessie werd de windsnelheid met behulp van cup-anemometers (Vector Instruments type A100R) op 6 hoogtes (logaritmisch verdeeld) gemeten. De gemiddelde meethoogten waren 0,30, 0,40, 0,85, 1,40, 2,40 en 3,60 m +mv. De windrichting werd op 3,7 m hoogte gemeten (Vector Instruments W200P). De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid werden met een rotronic (Hygromer) op 1,5 m hoogte bepaald. De neerslag werd op 0,5 m hoogte bepaald met een regenmeter volgens het weegprincipe. De weersgegevens werden verzameld met behulp van een datalogger, waarin de gemiddelden van de waarnemingen iedere 15 minuten werden opgeslagen. In Bijlage II worden de weersomstandigheden gedurende de perioden van de ammoniakemissiemetingen weergegeven.

In Tabel 3 staan per proef de gemiddelde weergegevens tijdens de eerste 4 monsternameperiodes na de mesttoediening.

Tabel 3. Gemiddelde windsnelheid (m s^{-1}) op ca. 2 m hoogte, temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) gedurende de eerste 9 uur na toedienen van de mest en de hoeveelheid neerslag (mm) gedurende de gehele meetperiode voor iedere meetserie.

Proef		Wind (m s^{-1})	T (°C)	RV (%)	Neerslag (mm)
1	0 tot 1 uur	0.7	12.2	85	0
	1 tot 3 uur	0.9	13.1	82	0
	3 tot 6 uur	1.0	17.1	68	0
	6 tot 9 uur	1.9	17.1	65	0
2	0 tot 1 uur	2.9	10.8	62	0
	1 tot 3 uur	2.5	14.7	51	0
	3 tot 6 uur	2.6	17.9	43	0
	6 tot 9 uur	2.2	18.9	41	0*
3	0 tot 1 uur	2.1	18.2	64	0
	1 tot 3 uur	2.0	19.0	63	0
	3 tot 6 uur	1.8	19.7	60	0
	6 tot 9 uur	1.5	19.1	66	0**
4	0 tot 1 uur	2.1	17.5	55	0
	1 tot 3 uur	2.2	20.0	49	0
	3 tot 6 uur	1.7	22.9	40	0
	6 tot 9 uur	1.7	24.6	37	0***

** uiteindelijk 4,2 mm regen gevallen zie bijlage 2*
*** uiteindelijk 16,2 mm regen gevallen zie bijlage 2*
**** uiteindelijk 2,4 mm regen gevallen zie bijlage 2*

2.3 Gewasopbrengst

2.3.1 Proefopzet

Het effect van aanzuren met zwavelzuur tijdens het aanwenden van de mest op de gewasopbrengst werd middels een veldproef op grasland onderzocht. De mest werd aangewend met een sleepvoetenmachine en een zodenbemester. De zodenbemester kon echter onvoldoende diep in de kleibodem worden gedrukt voor voldoende diepe sleufjes waardoor de werking meer overeenkwam met een sleufkoutermachine. In deze rapportage zal deze methode daarom steeds als sleufkouter methode worden aangeduid. Met beide aanwendingsmethoden werd onbehandelde mest en aangezuurde mest met 2 en 4 liter zwavelzuur per m^3 aangewend. Daarnaast werden er velden aangelegd zonder bemesting.
De proef bestond dus uit de volgende zeven behandelingen:

1. Sleepvoet + onbehandelde mest
2. Sleepvoet + 2 l zwavelzuur per m^3 mest
3. Sleepvoet + 4 l zwavelzuur per m^3 mest
4. Sleufkouter + onbehandelde mest
5. Sleufkouter + 2 l zwavelzuur per m^3 mest
6. Sleufkouter + 4 l zwavelzuur per m^3 mest
7. Geen bemesting

Alle behandelingen werden onderzocht volgens het principe van een gewarde blokkenproef met vier herhalingen. De afmetingen lengte x breedte van de veldjes was: 12 x 6 m. In bijlage 3 is een schematisch overzicht van het proefveld weergegeven.
De mest werd na de eerste snede op 1 mei aangewend. De ingestelde mestgift was 25 m^3 per ha. Na aanleg werden alle velden bemest met 30 kg P_2O_5 en 100 kg K_2O per ha.

2.3.2 Proefuitvoering

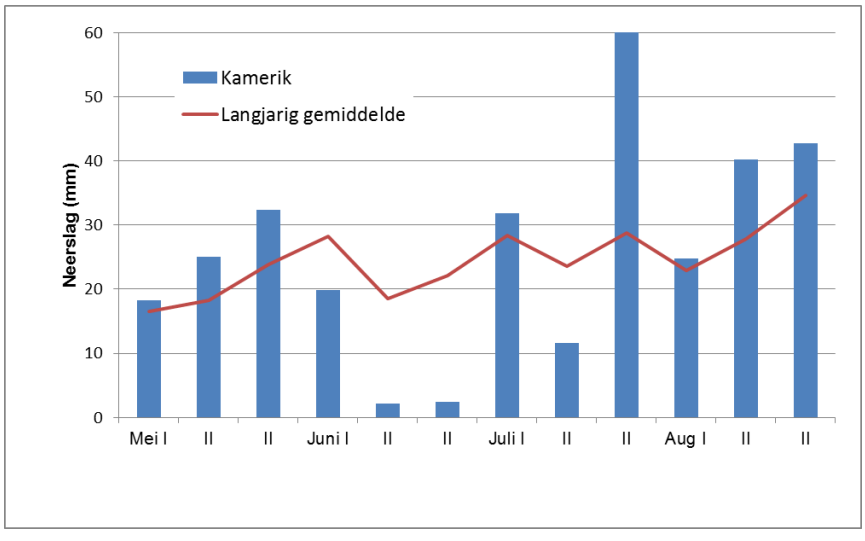
In Tabel 4 zijn de teeltwerkzaamheden weergegeven die gedurende de proefperiode hebben plaatsgevonden.

Tabel 4. Data verschillende teeltactiviteiten tijdens de proefperiode.

Datum	Activiteit
1 mei	Drijfmest aanwenden, 25 m^3 per ha
2 mei	Kunstmest strooien: 30 kg P_2O_5 en 100 kg K_2O per ha
12juni	Oogst eerste snede na mest aanwenden
16 juni	Kunstmest strooien: 30 kg P_2O_5 en 100 kg K_2O per ha
6 augustus	Oogst tweede snede na mest aanwenden

2.3.3 Weersomstandigheden

De hoeveelheid neerslag gedurende het groeiseizoen van mei tot en met augustus kwam met 315 mm aardig overeen met het langjarige gemiddelde van 294 mm. De verdeling over periode was echter erg onregelmatig (Figuur 3). De perioden juni en half juli waren (veel) droger dan normaal, terwijl de tweede helft van juli veel natter was dan normaal.



Figuur 3. Neerslag per decade in de proefperiode van weerstation Kamerik (bron: www.weeractueel.nl) en het langjarig gemiddelde van weerstation Zegveld (bron: KNMI).

2.3.4 Waarnemingen

Voor het vaststellen van de mestdosering werd per aanwendingsmethode voor en na het aanwenden de mestcombinatie gewogen en werd tevens de bemeste oppervlakte gemeten.
Per behandeling werd tijdens het aanwenden van de mest een mestmonster genomen door vier keer een hoeveelheid mest vanuit een mestkouter in een emmer te laten lopen. Vervolgens werd hieruit een submonster genomen. Deze monsters werden gekoeld bewaard en na twee weken onderzocht door BlggAgroXpertus op het gehalte aan drogestof (ds), stikstof-totaal (N-totaal), ammoniumstikstof (NH_4-N), fosfaat (P_2O_5), kali (K_2O), zwavel (S) en magnesium (MgO).
Per veldje werden direct na aanwenden van de mest (binnen 2 minuten) van de verschillende behandelingen pH metingen in de strookjes mest uitgevoerd. Hiertoe werd een oppervlakte pH meter gebruikt die in de mest op de grond/gras werd gehouden. Tijdens het aanwenden van de mest werden pH metingen uitgevoerd door de machine. Iedere 10 sec werd de pH gemeten en vastgelegd in combinatie met GPS gegevens over de locatie van de machine.
De grasopbrengst van de eerste en de tweede snede na aanwenden werd bepaald door per veldje een strook uit te maaien met een proefveldmaaier (Haldrup) met een oppervlakte van 10 x 1,5 m^2. Tijdens de oogst werd per veldje een monster genomen voor de bepaling van het gehalte aan drogestof, en voederwaarde samenstelling.

3. Resultaten

3.1 Ammoniakemissie

Mestsamenstelling en mestgift

In Tabel 5 is de mestgift en de gemiddelde mestsamenstelling per proefveld weergegeven. De beoogde mestgiften konden goed gerealiseerd worden met de machines en liepen weinig uiteen binnen de proeven. Het gemiddelde N-gehalte van de mest was 4,3 g kg^{-1}, het ammoniumgehalte 2,0 g kg^{-1} en drogestofgehalte 8,6%. De gemiddelde pH van de mestmonsters was bij de niet aangezuurde mest 7,1, bij aanzuren met 2 liter zuur per m^3 mest 6,8 en bij 4 l zuur per m^3 mest 6,3.

Tabel 5. Mestgift (m^3 ha^{-1}) en gemiddelde samenstelling van de mest.

Proef	Startdatum	Behandeling	Mestgift (m^3 ha^{-1})	totaal-N (g kg^{-1})	ammonium-N (g kg^{-1})	droge stof (g kg^{-1})	pH
1	1-5-2014	referentie	23.5	4.65	2.16	91.36	7.1
		zuur 2 L/m^3	21.9	4.62	2.16	91.51	6.6
		zuur 4 L/m^3	22.4	4.62	2.19	93.13	6.0
2	5-5-2014	referentie	21.3	4.63	2.11	90.29	7.1
		zuur 2 L/m^3	19.8	4.24	1.98	84.33	6.6
		zuur 4 L/m^3	19.9	4.24	2.00	85.73	6.1
3	3-6-2014	referentie	21.6	4.00	1.89	80.80	7.2
		zuur 2 L/m^3	19.8	4.05	1.90	79.97	7.1
		zuur 4 L/m^3	20.2	4.06	1.93	81.74	6.5
4	6-6-2014	referentie	20.9	4.23	2.02	83.02	7.1
		zuur 2 L/m^3	20.4	4.20	1.98	82.75	7.0
		zuur 4 L/m^3	20.6	4.16	2.00	83.81	6.5

Ammoniakemissie

In Figuur 4 staan de emissieverlopen van de metingen. Tabel 6 geeft de totaal gemeten ammoniakemissie voor de verschillende proefvelden per meetserie. Alle metingen gaven het karakteristieke beeld van een verloop van de ammoniakemissie na mesttoediening: gedurende de eerste dag na toediening (de eerste 9 uur overdag) vond een groot aandeel van de emissie plaats en gedurende de daaropvolgende dagen een duidelijk lagere emissie tot een niveau van nauwelijks emissie.

De ammoniakemissie bij de referentie (niet aangezuurde mest) was gemiddeld 35% van de opgebrachte ammoniumstikstof NH_4-N en varieerde van 27 tot 45%. Bij het aanzuren met 2 liter zwavelzuur per m^3 mest was de emissie gemiddeld 33% (25 tot 44%) en bij 4 liter per m^3 mest gemiddeld 27% (18 tot 33%). De verschillen in de gemeten ammoniakemissie tussen de verschillende proeven kunnen een gevolg zijn van de omstandigheden waaronder de metingen zijn uitgevoerd. Deze omstandigheden kunnen variëren als gevolg van andere weersomstandigheden, bodemgesteldheid, mestverdeling en samenstelling en de wijze van toediening. Het aanzuren gaf een gemiddelde emissiereductie over alle proeven (onafhankelijk van tijdsduur proef) van 7% bij 2 liter zwavelzuur per m^3 mest en 24% bij 4 liter per m^3 mest ten opzichte van niet aangezuurde mest. Uit het verloop van

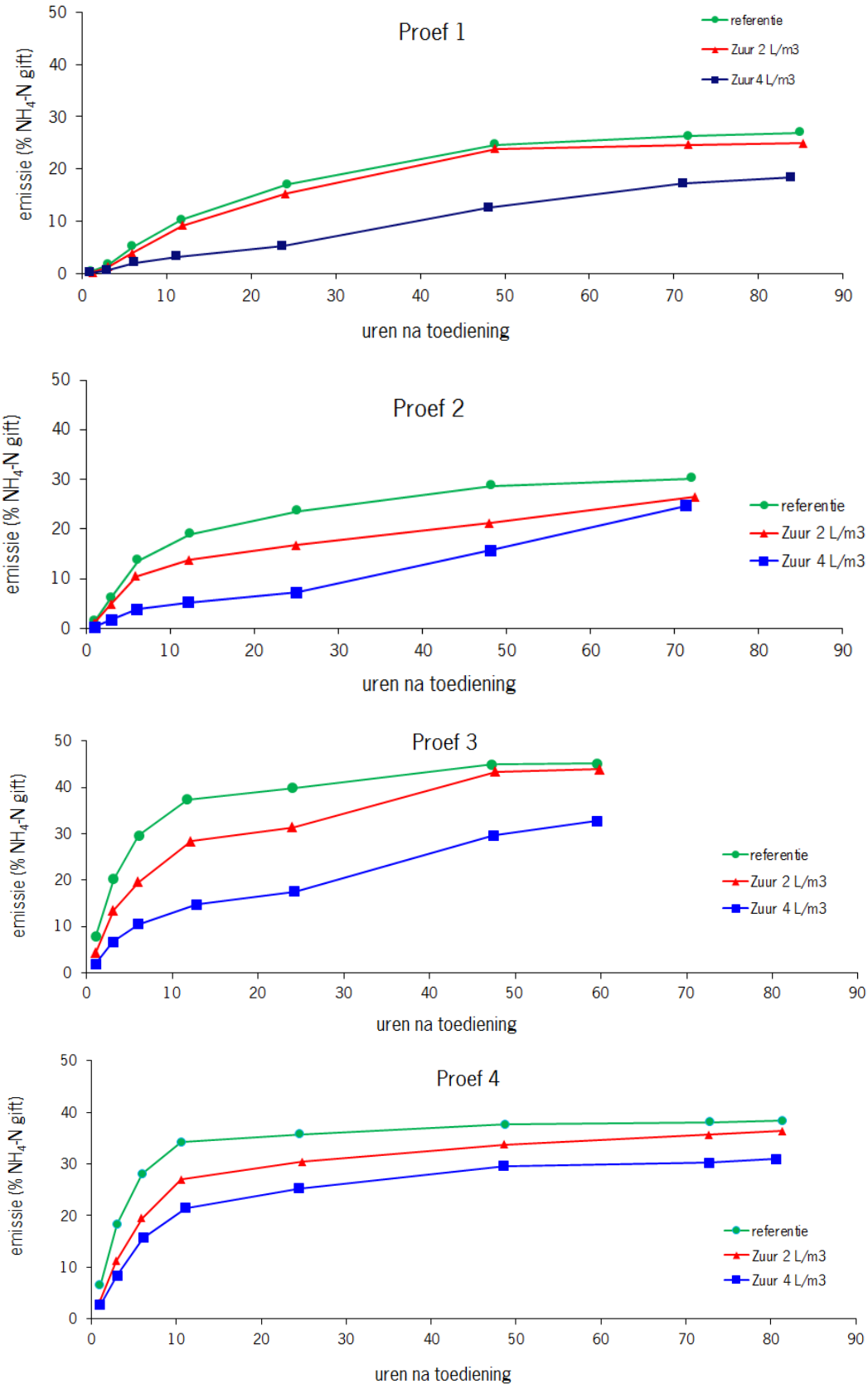
de emissie blijkt dat gedurende het eerste etmaal na uitrijden het aanzuren een duidelijke emissiereductie geeft, maar dat deze reductie daarna afneemt ten gevolge van een alsnog later op gang komende emissie (Figuur 4 en Tabel 7).

Tabel 6. *Cumulatieve emissie na uitrijden van de mest als % van de opgebrachte ammoniumstikstof NH_4-N en de emissiereductie die bereikt wordt door het aanzuren ten opzichte van onbehandelde mest.*

Proef	Startdatum	Behandeling	pH (mestmonster)	Ammoniakemissie (% NH_4-N gift)	Emissiereductie t.o.v. referentie (%)
1	1-5-2014	referentie	7.1	26.9	
na 85 uur		zuur 2 L/m^3	6.6	25.0	7
		zuur 4 L/m^3	6.0	18.3	32
2	5-5-2014	referentie	7.1	30.1	
na 72 uur		zuur 2 L/m^3	6.6	26.5	12
		zuur 4 L/m^3	6.1	24.7	18
3	3-6-2014	referentie	7.2	45.1	
na 60 uur		zuur 2 L/m^3	7.1	43.9	3
		zuur 4 L/m^3	6.5	32.8	27
4	6-6-2014	referentie	7.1	38.4	
na 80 uur		zuur 2 L/m^3	7.0	36.4	5
		zuur 4 L/m^3	6.5	31.0	19

Tabel 7. *Gemiddelde emissiereductie door het aanzuren ten opzichte van onbehandelde mest op verschillende tijdstippen na het uitrijden van de mest.*

Aantal uur na uitrijden	Emissiereductie (%)	
	Aanzuren 4 l m^{-3}	Aanzuren 2 l m^{-3}
12	60	21
24	56	19
48	37	11
72	25	7
84	25	6
Einde meting	24	7



Figuur 4. *Ammoniakemissie (% NH_4-N gift) na mesttoediening (cumulatief) bij de niet aangezuurde (referentie) en de aangezuurde mest.*

pH van de aangezuurde mest

De zuurgraad van de mest (pH) is op verschillende manieren en tijdstippen gemeten (Tabel 8). Uit deze metingen blijkt duidelijk dat er een relatief grote variatie optreedt in de gemeten pH tussen proeven maar ook binnen een proef bij de verschillende methoden of momenten van de pH metingen. De pH die rechtstreeks op de machine gemeten wordt is over het algemeen lager dan de pH van mest opgevangen achter de machine, mestmonsters en na titratie van de mest met de opgegeven hoeveelheid zuur.

Tabel 8. Gemeten pH van de mest op verschillende momenten tijdens of na het uitrijden van de mest.

Proef	Startdatum	Behandeling	pH machine	pH mest-monster *)	pH mest-baan (n=6)	pH mest op gras direct na uitrijden (n=10)	pH titratie
1	1-5-2014	referentie		7.0		7.6 (7.4-7.8)	
		zuur 2 L/m^3	6.2 (n=22; 5.7-6.7)	6.5	6.9 (6.6-7.0)	7.0 (6.8-7.2)	6.6
		zuur 4 L/m^3	5.2 (n=22; 4.7-6.5)	5.9	6.5 (6.3-6.6)	6.2 (6.0-6.4)	6.1
2	5-5-2014	referentie		7.2	7.4 (7.3-7.4)	7.1 (7.0-7.2)	
		zuur 2 L/m^3	6.3 (n=24; 5.8-7.0)	6.6	6.9 (6.7-7.3)	6.3 (6.3-6.4)	6.7
		zuur 4 L/m^3	5.5 (n=23; 5.0-6.7)	6.2	6.1 (5.9-6.7)	5.9 (5.3-6.1)	6.3
3	3-6-2014	referentie		7.2		7.6 (7.3-7.9)	
		zuur 2 L/m^3	6.5 (n=22; 6.0-7.0)	7.0	6.6 (6.5-6.7)	6.7 (6.6-7.0)	6.5
		zuur 4 L/m^3	5.7 (n=22; 5.0-6.6)	6.3	6.1 (5.8-6.3)	5.4 (5.2-5.6)	5.9
4	6-6-2014	referentie		7.1		7.7 (7.5-7.8)	
		zuur 2 L/m^3	6.5 (n=25; 6.1-6.9)	6.9	6.7 (6.6-7.0)	7.2 (6.9-7.4)	6.5
		zuur 4 L/m^3	5.9 (n=24; 5.1-6.6)	6.3	6.0 (4.9-6.5)	6.2 (5.7-6.6)	6

**) gemiddelde van pH gemeten aan mestmonster op locatie en naderhand in laboratorium*

3.2 Gewasopbrengst

3.2.1 Mestgift en mestsamenstelling

In Tabel 9 is de samenstelling en de pH van de mest (gemeten in het monster) per behandeling weergegeven. De mestsamenstelling van de verschillende behandelingen liepen nauwelijks uiteen. Het gemiddelde drogestofgehalte en daarmee ook de gemiddelde gehalten aan nutriënten waren van de mest aangewend met de sleepvoetbehandelingen iets (3% relatief) hoger dan van de mest van de sleufkouterbehandelingen. Door het toevoegen van 2 en 4 L zwavelzuur per m^3 mest werd het zwavelgehalte van de mest verhoogd van gemiddeld 0,64 g kg^{-1} naar 1,20 resp. 2,61 g kg^{-1}. De pH van de mest werd verlaagd van gemiddeld 7,1 naar 6,8 resp. 6,3.

Tabel 9. Samenstelling (g kg^{-1}) en pH van de mest per behandeling.

Machine	Zuur-behandeling	Drogestof	N-totaal	N-NH_4	P_2O_5	K_20	MgO	S	pH
Sleepvoet	Onbehandeld	9.16	4.87	2.29	1.49	6.70	1.23	0.64	7.07
Sleepvoet	2 l/m^3	8.97	4.82	2.23	1.51	6.68	1.25	1.33	6.80
Sleepvoet	4 l/m^3	9.35	4.89	2.23	1.49	6.54	1.21	2.64	6.30
Sleufkouter	Onbehandeld	8.81	4.71	2.10	1.47	6.36	1.21	0.63	7.13
Sleufkouter	2 l/m^3	8.86	4.60	2.04	1.47	6.44	1.20	1.07	6.87
Sleufkouter	4 l/m^3	9.02	4.71	2.15	1.44	6.44	1.20	2.57	6.30

In Tabel 10 zijn de gemiddelde mestgiften per aanwendingsmethode en de nutriëntengiften per behandeling weergegeven. De beoogde mestgift van 25 m^3 ha^{-1} kon vrij goed gerealiseerd worden met de beide machines. De gemiddelde mestgift op de behandelingen met de sleepvoetenmethode was ca. 5% hoger dan op de behandelingen met de sleufkoutermethode. Samen met de iets hogere gehalten van de mest (Tabel 9) resulteerde dit in 7-10% hogere nutriëntengiften op de behandelingen met de sleepvoetenmethode t.o.v. de behandelingen met de sleufkoutermethode.

Tabel 10. Mestgift (m^3 ha^{-1}) en mineralengift (kg ha^{-1}) per behandeling.

Machine	Zuur-behandeling	Mestgift	N-totaal	N-NH_4	P_2O_5	K_20	MgO	S
Sleepvoet	Onbehandeld	25.5	124	58	38	171	31	16
Sleepvoet	2 l/m^3	25.5	123	57	39	170	32	34
Sleepvoet	4 l/m^3	25.5	125	57	38	167	31	67
Sleufkouter	Onbehandeld	24.3	114	51	36	155	29	15
Sleufkouter	2 l/m^3	24.3	112	50	36	156	29	26
Sleufkouter	4 l/m^3	24.3	114	52	35	156	29	62

3.2.2 Grasopbrengst en samenstelling

In bijlage 4 zijn de resultaten per veld weergegeven. De opbrengst- en samenstellingsparameters werden geanalyseerd door middel van variantieanalyse met behulp van de procedure ANOVA van het statistische programma Genstat (Genstat Committee, 2006). Uit de analyse van de data bleek dat er bij geen enkele opbrengst- en voederwaardeparameter een interactie bestond tussen de factoren aanwendingsmethode en zuurbehandeling. Daarom zijn resultaten in deze paragraaf weergegeven als gemiddelde van de aanwendingsmethoden (Sleepvoet en Sleufkouter) en van de zuurbehandelingen (0, 2 en 4 l zuur per ton mest).

Eerste snede na mest aanwenden

Effect van aanwendingsmethode

De gemiddelde drogestofopbrengst van de snede na aanwenden van de beide aanwendingmethoden was circa 3750 kg per ha (Tabel 11). Er waren geen significante verschillen in opbrengst en voederwaardesamenstelling tussen het gras van de velden die bemest waren met een sleepvoetenmachine en die bemest waren met een sleufkoutermachine.

Tabel 11. Gemiddelde opbrengst en voederwaardegegevens van het gras per aanwendingsmethode.

	Machine	
	Sleepvoet	Sleufkouter
Verse opbrengst (kg/ha)	25714	25144
Droge stofgehalte (%)	14.9	14.7
Droge stofopbrengst (kg/ha)	3824	3689
Ruw eiwitgehalte (g/kg ds)	152	148
Zwavel gehalte (g/kg ds)	3.9	3.7
Stikstof opbrengst (kg/ha)	93	87
Zwavel opbrengst (kg/ha)	15	14
N-benutting (kg ds/kg N)[1)]	5.1	4.5
N-recovery (%)[2)]	11.3	8.0
S-recovery (%)[3)]	9.0	7.1
VEM per kg ds	874	882
DVE (g/kg ds)	79	79
OEB (g/kg ds)	-2	-6

[1)] N-benutting = (Ds-opbrengst bemeste beh. – Ds-opbrengst onbemeste beh.)/ toegediende N uit mest
[2)] N-recovery = (N-opbrengst bemeste behandeling – N-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende N uit mest
[3)] S-recovery = (S-opbrengst bemeste behandeling – S-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende S uit mest

Effect van aanzuren

De verse opbrengst van het gras werd door een bemesting met 25 m^3 runderdrijfmest per ha ruim 4300 kg per ha hoger ten opzicht van het onbemeste gras (Tabel 12). Door het toevoegen van zuur werd de verse opbrengst nog eens ruim 2900 kg per ha hoger. Het drogestofgehalte van het bemeste gras was gemiddeld 1,8% (absoluut) lager dan van het onbemeste gras.
De drogestofopbrengst van de behandeling zonder bemesting was met bijna 3200 kg per ha al behoorlijk hoog. Door een bemesting met 25 m^3 runderdrijfmest per ha zonder zuurtoevoeging werd de drogestofopbrengst met bijna 350 kg per ha verhoogd tot 3525 kg per ha. Door het toevoegen van zuur werd de grasopbrengst nog eens met bijna 350 kg drogestof per ha verhoogd. Er was geen verschil in grasopbrengst tussen de behandelingen met 2 l en 4 l zwavelzuur per ton mest. Er waren geen significante verschillen in gehalte aan ruw eiwit en zwavel van het gras tussen de verschillende behandelingen. De verschillen in stikstofopbrengst tussen de verschillende behandelingen waren beperkt. Alleen de stikstofopbrengst van de bemeste behandeling met 4l zuur per ton was significant hoger (17 kg per ha) dan van de onbemeste behandeling. Er waren daardoor ook geen verschillen in N-recovery's tussen de verschillende zuurbehandelingen. De zwavelopbrengst van de beide bemeste behandelingen met aangezuurde mest was gelijk en was 2 kg per ha hoger dan van de bemeste behandeling met onbehandelde mest. De S-recovery van de behandeling met 2 l zwavelzuur per ton was daardoor twee keer zo hoog dan die van de behandeling met 4 l zwavelzuur per ton, omdat de zwavelgift met 2 l zuur per ton de helft is ten opzicht van de zwavelgift met 4 l zuur per ton. Er waren geen verschillen in voederwaardekenmerken (VEM, DVE en OEB) tussen verschillende behandelingen.

Tabel 12. Gemiddelde opbrengsten en voederwaardegegevens van het gras van de onbemeste en van de verschillende zuurbehandelingen.

	Geen mest	Zuur (l/ton)		
		0	2	4
Verse opbrengst (kg/ha)	19139[a]	23492[b]	25794[c]	26999[c]
Droge stofgehalte (%)	16.6[a]	15.0[b]	14.9[b]	14.4[b]
Droge stofopbrengst (kg/ha)	3184[a]	3525[b]	3852[c]	3892[c]
Ruw eiwitgehalte (g/kg ds)	155	150	146	155
Zwavel gehalte (g/kg ds)	3.7	3.7	3.9	3.9
Stikstof opbrengst (kg/ha)	79[a]	85[ab]	90[ab]	96[b]
Zwavel opbrengst (kg/ha)	12[a]	13[a]	15[b]	15[b]
N-benutting (kg ds/kg N)[1)]	-	2.8[a]	5.6[b]	5.8[b]
N-recovery (%)[2)]	-	4.6	9.8	14.4
S-recovery (%)[3)]	-	8.4[a]	10.7[b]	5.0[a]
VEM per kg ds	886	879	880	875
DVE (g/kg ds)	81	79	78	80
OEB (g/kg ds)	-1	-5	-8	0

Verschillende letters in een rij geven significante verschillen weer ($p<0.05$).

[1)] N-benutting = (Ds-opbrengst bemeste beh. – Ds-opbrengst onbemeste beh.)/ toegediende N uit mest

[2)] N-recovery = (N-opbrengst bemeste behandeling – N-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende N uit mest

[3)] S-recovery = (S-opbrengst bemeste behandeling – S-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende S uit mest

Tweede snede na aanwenden

In bijlage 5 zijn de resultaten per veld weergegeven. Uit de analyse van de data bleek evenals bij de eerste snede na aanwenden dat er bij geen enkele opbrengst- en voederwaardeparameter een interactie bestond tussen de factoren aanwendingsmethode en zuurbehandeling. Daarom zijn resultaten in deze paragraaf weergegeven als gemiddelde van de aanwendingsmethoden (Sleepvoet en Sleufkouter) en van de zuurbehandelingen (0, 2 en 4 l zuur per ton mest).

Effect van aanwendingsmethode

De tweede snede na aanwenden van de mest was een lichte snede met een gemiddelde opbrengst van ruim 1500 kg drogestof (Tabel 13). Er waren geen significante verschillen in opbrengst en voederwaardesamenstelling tussen het gras van de velden die bemest waren met de sleepvoetenmachine en die bemest waren met sleufkouter.

Effect van aanzuren

De tweede snede na aanwenden van de mest was ondanks een groeiperiode van zeven weken een lichte snede (Tabel 14). Tussen de verschillende zuurbehandelingen zaten geen significante verschillen in grasopbrengst en voederwaarde samenstelling. De grasopbrengst van de onbemeste behandeling was bijna 1400 kg drogestof per ha. De drogestofopbrengst van de bemeste behandelingen was beperkt hoger dan van de onbemeste behandeling. De grasopbrengst van de bemeste behandelingen met zuur was wel hoger dan van de onbemeste behandelingen, maar niet hoger dan die van de bemeste behandeling zonder zuur. Wat betreft de samenstelling van het gras was alleen het S-gehalte van de bemeste behandelingen met zuur wat hoger dan van het gras van de onbemeste behandeling.

Tabel 13. Gemiddelde opbrengst en voederwaardegegevens van het gras per aanwendingsmethode.

	Machine	
	Sleepvoet	Sleufkouter
Verse opbrengst (kg/ha)	8077	7741
Droge stofgehalte (%)	19.4	19.9
Droge stofopbrengst (kg/ha)	1555	1533
Ruw eiwitgehalte (g/kg ds)	189	187
Zwavel gehalte (g/kg ds)	6.3	6.2
Stikstof opbrengst (kg/ha)	47	46
Zwavel opbrengst (kg/ha)	10	10
N-benutting (kg ds/kg N)[1)]	1.5	1.5
N-recovery (%)[2)]	4.2	3.7
S-recovery (%)[3)]	3.4	4.4
VEM per kg ds	883	892
DVE (g/kg ds)	87	88
OEB (g/kg ds)	26	24

[1)] N-benutting = (Ds-opbrengst bemeste beh. – Ds-opbrengst onbemeste beh.)/ toegediende N uit mest
[2)] N-recovery = (N-opbrengst bemeste behandeling – N-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende N uit mest
[3)] S-recovery = (S-opbrengst bemeste behandeling – S-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende S uit mest

Tabel 14. Gemiddelde opbrengst en voederwaardegegevens van het gras van de onbemeste en van de verschillende zuurbehandelingen.

	Geen mest	Zuur (l/ton)		
		0	2	4
Verse opbrengst (kg/ha)	6545[a]	7554[ab]	8163[b]	8010[b]
Droge stofgehalte (%)	20.6[a]	20.0[ab]	19.4[b]	19.5[b]
Droge stofopbrengst (kg/ha)	1364[a]	1501[ab]	1578[b]	1555[b]
Ruw eiwitgehalte (g/kg ds)	192	190	185	189
Zwavel gehalte (g/kg ds)	6.2	6.0	6.2	6.5
Stikstof opbrengst (kg/ha)	42	46	47	47
Zwavel opbrengst (kg/ha)	8[a]	9[ab]	10[b]	10[b]
N-benutting (kg ds/kg N)[1)]	-	1.1	1.8	1.6
N-recovery (%)[2)]	-	3.2	4.3	4.4
S-recovery (%)[3)]	-	3.9	5.1	2.6
VEM per kg ds	900	877	884	901
DVE (g/kg ds)	90	87	87	89
OEB (g/kg ds)	27	27	23	25

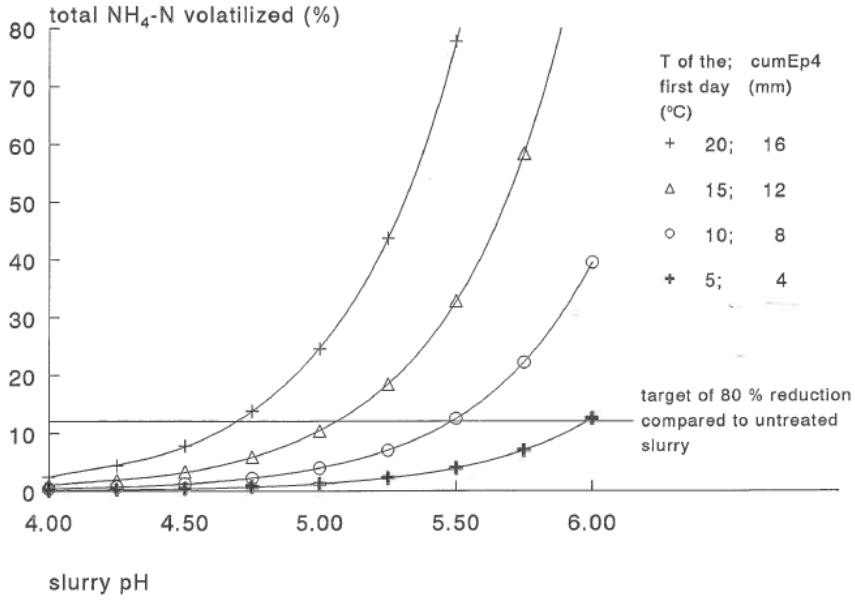
Verschillende letters in een rij geven significante verschillen weer ($p<0.05$).
[1)] N-benutting = (Ds-opbrengst bemeste beh. – Ds-opbrengst onbemeste beh.)/ toegediende N uit mest
[2)] N-recovery = (N-opbrengst bemeste behandeling – N-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende N uit mest
[3)] S-recovery = (S-opbrengst bemeste behandeling – S-opbrengst onbemeste behandeling)/ toegediende S uit mest

4. Discussie

4.1 Emissieonderzoek

Alle experimenten zijn goed verlopen. De gebruikte machines hebben de mest goed uit kunnen rijden en de uitvoering van de metingen verliep volgens de vooraf bepaalde meetstrategie. Ook in deze metingen vindt de piek in de emissie plaats in de eerste uren na toediening, zoals dit ook in andere emissieonderzoeken met dierlijke mest is aangetoond (Huijsmans *et al.*, 2001 en 2003). Uit het emissieverloop (Figuur 4 en Tabel 7) blijkt dat de emissie uit aangezuurde mest later op gang komt. Een mogelijke verklaring voor de uiteindelijk lagere emissiereductie dan verwacht is dat de mest met ammonium nog onvoldoende door de bodem is opgenomen. Bij een snellere opname door de bodem zou deze emissie mogelijk niet meer opgetreden zijn en het aanzuren geresulteerd hebben in een hogere emissiereductie.

De emissiereductie is mogelijk ook beperkt door de snel stijgende pH van de mest na het uitrijden. De pH metingen aan de mest op het gras in de periode na toediening geven ook een stijgende lijn aan en daarna weer kort een daling tot stabiel (Bijlage 6). Bussink *et al.* (1994) geven aan dat bij vers aangezuurde mest de stijging van de pH een gevolg is van de CO_2 emissie met name bij de kort voor uitrijden aangezuurde mest. Het lijkt dat een pH 6 is bereikt, maar zodra echter deze CO_2 eruit gaat doordat de mest aan de atmosfeer wordt blootgesteld loopt de pH op. Deze emissie is sneller dan die van NH_3, waarschijnlijk omdat de vers aangezuurde mest nog niet in evenwicht was en nog veel CO_3 (carbonate) bevatte. Bussink *et al.* (1994) vonden ook bij de relatief hogere pH waarden van vers aangezuurde mest lagere reducties bij bovengronds verspreiden dan bij de lagere pH van aangezuurde mest in een stal. Daarnaast zijn de proeven uitgevoerd onder relatief warme omstandigheden na de 1e snede. De relatief hoge temperatuur is zeer bepalend voor het effect van het aanzuren. Bussink *et al.* (1994) geven voor bovengronds verspreide mest aan dat de emissie sterk afhankelijk is van de temperatuur gedurende de eerste dag na uitrijden en de cumulatieve verdamping tijdens de vier dagen na uitrijden (Figuur 5). Tijdens de uitgevoerde proeven 1 t/m 4 waren de temperatuur gedurende de eerste dag en cumulatieve verdamping gedurende de vier dagen na uitrijden respectievelijk 16 °C en 9.5 mm, 17 °C en 8,1 mm, 19 °C en 12,4 mm en 22 °C en 14,5 mm en daarmee volgens Figuur 5 in potentie hoog emitterende omstandigheden.



Figuur 5. *Verwachte ammoniakemissie voor verschillende pH, cumulatieve verdamping en temperatuur bij bovengronds breedwerpige mesttoediening (Bussink et al, 1994).*

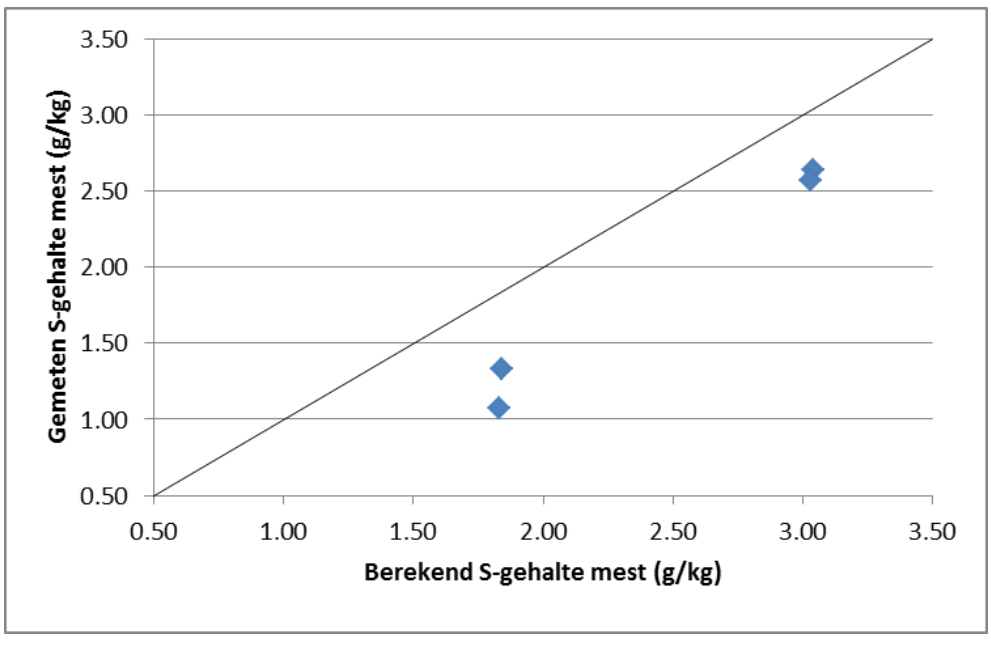
Elke emissieproef moet gezien worden als één meting. De verschillende proeven kunnen gezien worden als herhalingen, echter de omstandigheden waaronder gemeten is, zullen verschillend zijn voor de grond, de mest en het weer. Vanuit eerder onderzoek, uitgevoerd op grasland en bouwland, blijkt dat er veel herhalingen nodig zijn om statistisch onderbouwde uitspraken te kunnen doen over effecten van bodem- en weersomstandigheden en mestsamenstelling op de ammoniakemissie (Huijsmans *et al.*, 2001 en 2003; Huijsmans & Schils, 2009).

Binnen Nederland wordt momenteel voor mesttoediening met een sleepvoetenmachine een gemiddelde ammoniakemissie van 26% aangehouden (Huijsmans en Schils, 2009). De huidige gemiddelde ammoniakemissie van 35% bij de onbehandelde mest is duidelijk hoger dan deze emissiefactor. Deze hogere emissiefactor kan liggen aan de huidige praktijk van uitrijden met een sleepvoetenmachine, maar mogelijk ook aan de omstandigheden waaronder de mest is uitgereden. Nadere analyse van de gemeten emissies en omstandigheden en eventueel meerdere metingen onder de huidige praktijkomstandigheden kunnen hier meer helderheid over geven.

Een verband tussen de emissie en pH in de verschillende proeven is moeilijk te leggen. Ondanks de spreiding lijkt de pH daling door 2 l m^{-3} mest te beperkt om een aanzienlijke emissiereductie te bereiken (behalve bij proef 2). Aanzuren met 4 l m^{-3} leidt tot een betere pH daling om ook daadwerkelijk de emissie te beperken.

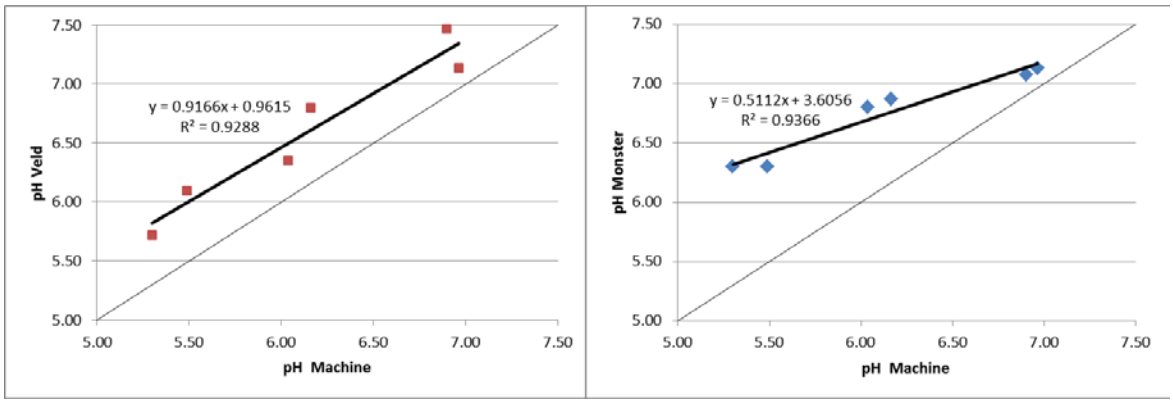
4.2 Gewasmonitoring

In het onderzoek werd bij beide aanwendingsmethoden de mest aangezuurd met 2 en 4 l zwavelzuur per ton mest. Deze dosering werd geregeld door een automatische doseerunit op de machine. Op basis van de zuurdosering en het S-gehalte van de onbehandelde mest kan berekend worden wat het S-gehalte van de aangezuurde mest zou moeten worden. In Figuur 6 is dit berekende S-gehalte uitgezet tegen het gemeten S-gehalte. Hieruit blijkt dat alle gemeten S-gehaltes van de aangezuurde mest lager uitvallen dan de berekende S-gehaltes. Dit kan mogelijk veroorzaakt worden doordat in het protocol voor analyse van het S-gehalte van mest geen rekening wordt gehouden met S-toevoegingen. Daardoor is het mogelijk dat niet alle S in de analyse wordt meegenomen.



Figuur 6. *Relatie tussen berekende en de gemeten S-gehalte van de aangezuurde mest.*

In Figuur 7 is de relatie tussen de pH van de mest gemeten door de machine en direct gemeten na aanwenden in het veld en de relatie tussen de pH van de mest gemeten door de machine en gemeten in het monster op het laboratorium weergegeven. Hieruit blijkt dat de pH gemeten met de machine steeds lager was dan zowel de pH gemeten in het veld, direct na aanwenden, als de pH gemeten in het monster. De pH gemeten in het veld, direct na aanwenden was steeds ongeveer 0,5 eenheden hoger dan de pH gemeten door de machine. Het verschil tussen de pH gemeten door de machine en de pH gemeten in het monster was afhankelijk van het pH-niveau/zuurdosering. Naarmate het pH-niveau lager was als gevolg een hogere zuurdosering was het verschil tussen de beide meetmethoden groter.



Figuur 7. *Relatie tussen pH van de mest gemeten door de machine en direct gemeten na aanwenden in het veld (links) en relatie tussen pH van de mest gemeten door de machine en gemeten in het monster op het laboratorium (rechts).*

In dit onderzoek werd de mest aangewend met een sleufkoutermachine en een zodenbemester. De sleufjes die door de zodenbemester werden gemaakt waren onvoldoende diep om alle mest netjes in de sleufjes te brengen. In dit rapport zijn de behandelingen met de zodenbemester daarom ook aangeduid als “sleufkouter”. Het verschil in wijze van mest aanwenden tussen de beide methoden “sleepvoet” en “sleufkouter” is erg beperkt (zie figuur 8). Dit is een verklaring voor het feit dat er geen verschil in gewasopbrengst was tussen deze beide methoden.



Figuur 8. *Links veldje bemest met sleepvoetmachine en rechts met zodenbemester.*

Een klein verschil in mestdosering resulteerde samen met iets hogere gehalten van de mest in 7-10% hogere nutriëntengiften op de behandelingen met de sleepvoetenmethode t.o.v. de behandelingen met de sleufkoutermethode. Dit leidde echter niet tot een significant hogere opbrengst van de behandelingen die bemest waren met de sleepvoetenmethode t.o.v. de behandelingen die bemest waren met de sleepkoutermethode. Ook leidde het niet tot verschillen in N-benutting en in N- en S-recovery’s.

De gemiddelde opbrengst van de eerste snede na aanwenden was ca. 3500 kg drogestof per ha. De groeiperiode van deze snede was zes weken. De opbrengst van de tweede snede was maar ruim 1500 kg drogestof per ha

terwijl de groeiperiode ruim zeven weken was. Hierbij dient bedacht te worden dat deze snede alleen bemest werd met fosfaat en kali uit kunstmest en dus geen stikstofbemesting heeft gehad. Verder waren de omstandigheden in de eerste periode van 2 á 3 weken na het maaien van de eerste snede na aanwenden van de mest erg droog.

Het verschil in stikstofopbrengst in de snede na aanwenden tussen onbehandelde mest en aangezuurde mest met 4 l/ton zwavelzuur was met 11 kg per ha net niet significant. Uit de emissiemetingen bleek dat de gemiddelde emissie van de onbehandelde mest 35% was en van de aangezuurde mest met 4 l zwavelzuur per ton 27% (tabel 6). In de monitoringsproef werden er met de onbehandelde en de aangezuurde mest met 4 l/ton zwavelzuur praktisch gelijk hoeveelheden NH_4-N toegediend, nl. 55,3 resp. 55,1 kg per ha. Wanneer deze toegediende NH_4-N wordt verminderd met de gemeten emissieverliezen uit het emissieonderzoek dan kwam er bij de behandelingen met onbehandelde mest uiteindelijk 55,5- 35,1% = 35,9 kg NH_4-N in de bodem terecht en bij de behandelingen met aangezuurde mest met 4 l/ton zwavelzuur 55,1 – 26,7% = 40,4 kg. Dit betekent dat er in principe door het aanzuren 4,5 kg meer NH_4-N beschikbaar is voor opname door het gras. De stikstofopbrengst van de behandelingen met aangezuurde mest met 4 l/ton zwavelzuur was echter 11 kg hoger. Dit betekent dat er naast een hogere stikstofbeschikbaarheid ook nog andere oorzaken zijn geweest die gezorgd hebben voor een beter stikstofopname van het gras. Mogelijk heeft de extra S-gift door toevoeging van zwavelzuur gezorgd voor extra stikstofopname.

In dit onderzoek is alleen een positief effect van aanzuren van mest op de opbrengst gevonden in de snede direct na aanwenden. De drogestofopbrengst van de behandelingen met aangezuurde mest was in die snede ca. 10% hoger dan van de behandelingen met onbehandelde mest. In de tweede snede na aanwenden werd er geen effect meer gevonden op de opbrengst. In de praktijk worden niet allen sneden maar gemiddeld drie van de vijf (alleen maaien) tot zeven (maaien +weiden) sneden per jaar bemest met organische mest. Verder werd in dit onderzoek in tegenstelling tot de praktijk de bemesting met organische mest niet aangevuld met stikstof uit kunstmest waardoor het stikstofbemestingsniveau wat lager was dan normaal in de praktijk. De gewasgroei per kg toegediende stikstof zal daardoor wat hoger zijn dan in de praktijk. Bovenstaande verschillen met de praktijk betekenen dat het effect van het aanzuren van mest op de opbrengst op jaarbasis in de praktijk kleiner zullen zijn dan 10%.

4.3 Zwavelbemesting en gebruik zwavelzuur

Zwavelopname door het gewas en dier
Een goede voorziening met zwavel is van belang voor een optimale gewasgroei en bij dieren essentieel voor de vorming van eiwit. Het gemiddeld S-gehalte van ingekuild gras is 3,1 g per kg drogestof (www.blgg.agroxpertus.nl). Afhankelijk van de opbrengst neemt gras jaarlijks 30-50 kg S op (in de vorm van sulfaat). Het minimaal benodigd S-gehalte in het rantsoen voor melkgevende koeien: is 2 g S/kg ds en voor droogstaande koeien 1 g S/kg ds. De maximale S opname door herkauwers is 80 g S per dag. Dit komt overeen met een S-gehalte van circa 4 g S/kg ds. Een overmaat van zwavel in het rantsoen kan de koper en seleniumopname verminderen. Bij S-rijk gras (4,5 g S/kg ds) en S-rijk water (250 mg sulfaat/l) is het maximum bereikt en mag er geen S meer in krachtvoer zitten.

Bemestingsadvies zwavel
Het bemestingsadvies voor zwavel op grasland (www.bemestingsadvies.nl) is afhankelijk van de grondsoort en het zwavel leverend vermogen (SLV). Zwaveltekorten komen vooral op zandgrond voor, en met name in de eerste drie sneden. Op zandgrond varieert het zwaveladvies van 15 tot 40 kg S per ha op jaarbasis voor de SLV-waarderingen van vrij laag tot zeer laag. Bij een SLV-waardering van voldoende en hoog wordt geen S-bemesting meer gadviseerd. Aangeraden wordt om de adviesgiften niet te overschrijden. Te hoge giften zijn weliswaar niet nadelig voor de opbrengst, maar kunnen wel leiden tot een slechte opname van spoorelementen door het gras. Bovendien daalt de benutting van spoorelementen door het dier. Verder leidt een te hoge S-gift tot extra zwaveluitspoeling, wat niet gewenst is.
Voor klei en veengronden zijn geen specifieke adviezen voor zwavelbemesting omdat op deze gronden tekorten vrijwel niet voorkomen. Op veengrond kunnen in de eerste snede S-tekorten voorkomen. S-bemesting wordt echter afgeraden omdat later in het seizoen door een hoge S-mineralisatie veel S vrijkomt. Dit leidt tot (zeer) hoge S-gehalten in het gras.

Bemesting met runderdrijfmest en zwavelzuur

Het S-gehalte van runderdrijfmest is gemiddeld 0,6 kg per m^3. Dit komt echter maar gedeeltelijk beschikbaar voor het gewas. Bij een jaarlijkse drijfmestgift van 50-55 m^3 per ha betekent dit dat voor aanvulling met kunstmest de adviesgift met circa 5 kg S per ha verlaagd kan worden. Op zandgrond varieert het zwaveladvies uit kunstmest dan van 10 tot 35 kg S per ha op jaarbasis voor de SLV-waarderingen van vrij laag tot zeer laag. Voor zangronden met een SLV-waardering van voldoende en hoog en voor klei en veengrond is het zwaveladvies al 0 kg per ha.
Wanneer echter als uitgangspunt wordt genomen dat er niet meer zwavel bemest mag worden dan dat er onttrokken wordt en dat gras gemiddeld 40 kg S per ha onttrekt (zie onder kopje "Zwavelopname door het gewas en dier") dan is er naast een drijfmestgift van 50-55 m^3 per ha op alle grondsoorten nog ruimte voor circa 35 kg S uit aanvullende bemesting.
Een liter zwavelzuur bevat 0,6 kg S [1]. Wanneer de drijfmest wordt aangezuurd met 2 l zwavelzuur per m^3 dan wordt er per m^3 drijfmest dus 1,2 kg S gegeven. Om de ruimte voor aanvullende S-gift niet te overschrijden kan er dus maximaal 35 : 1,2 ≈ 30 m^3 aangezuurde drijfmest per ha op jaarbasis worden gegeven. Uit dit onderzoek is gebleken dat minimaal 4 l zwavelzuur per m^3 drijfmest moet worden toegediend voor een substantiële reductie van ammoniakemissie bij het uitrijden van de mest. Wanneer de drijfmest wordt aangezuurd met 4 l zwavelzuur per m^3 dan wordt er per m^3 drijfmest dus 2,4 kg S gegeven. Er is dan nog maar ruimte voor een drijfmestgift van 35 : 2,4 ≈ 15 m^3 per ha op jaarbasis. Ofwel ruwweg 1/3 van de totale mestgift op jaarbasis mag aangezuurd worden met 4 l zwavelzuur per m^3 mest.
De Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) wijst in haar advies "Bemesting met zwavelhoudende meststoffen" van 9 oktober 2014 op de risico's van het gebruik van zwavelhoudende meststoffen en de noodzaak voor regels om overmatige toediening te voorkomen (http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2015/01/28/bemesting-met-zwavelhoudende-meststoffen.html).

1 1 liter H_2SO_4 = 1,8356 kg /3.059 (omrekeningsfactor van S naar H_2SO_4) = 0,6 kg S

5. Conclusie en aanbevelingen

Amoniakemissie

In het huidige onderzoek was de ammoniakemissie bij het toedienen van niet aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine gemiddeld 35% van de opgebrachte ammoniumstikstof NH_4-N. Bij het aanzuren met 2 liter zwavelzuur per m^3 mest was de emissie gemiddeld 33% (25 tot 44%) en bij 4 liter per m^3 mest gemiddeld 27% (18 tot 33%). Het aanzuren gaf een gemiddelde emissiereductie over alle proeven (onafhankelijk van tijdsduur proef) van 7% bij 2 liter zwavelzuur per m^3 mest en 24% bij 4 liter per m^3 mest ten opzichte van niet aangezuurde mest. Uit het verloop van de emissie blijkt dat gedurende het eerste etmaal na uitrijden het aanzuren een duidelijke emissiereductie geeft, maar dat deze reductie daarna afneemt ten gevolge van een alsnog later op gang komende emissie. De pH metingen aan de aangezuurde mest op verschillende tijdstippen tijdens en kort na de mesttoediening gaven een grote spreiding te zien.

Gewasmonitoring

In dit onderzoek werd het effect op de grasopbrengst en samenstelling onderzocht van het aanzuren van mest met 2 en 4 l per ton bij een eenmalige aanwending van 25 m^3 per ha na de 1^e snede. De mest werd aangewend met een sleepvoetenmachine en een sleufkoutermethode. De grasopbrengst en de samenstelling werden gemeten in de eerste twee sneden na aanwenden van de mest. Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er waren geen significante verschillen in opbrengst en voederwaardesamenstelling tussen het gras van de behandelingen die bemest waren met een sleepvoetenmachine en die bemest waren met een sleufkoutermethode.
- In de eerste snede na aanwenden van de mest was de grasopbrengst van de behandelingen die bemest waren met aangezuurde mest 10% hoger (350 kg drogestof bij een gemiddelde opbrengst van ca. 3500 kg drogestof per ha) dan van de behandelingen die bemest waren met onbehandelde mest. Daarbij was er geen verschil in grasopbrengst tussen de behandelingen met 2 l en 4 l zwavelzuur per ton mest. Er waren geen significante verschillen in gehalte aan ruw eiwit en zwavel van het gras tussen de verschillende behandelingen. Dit leidde tot geen significante verschillen in stikstofopbrengst en N-recovery's tussen de verschillende zuurbehandelingen. De zwavelopbrengst van behandelingen met aangezuurde mest was 15% (2 kg per ha) hoger dan van de behandeling met onbehandelde mest. Er waren geen verschillen in voederwaardekenmerken (VEM, DVE en OEB) tussen verschillende behandelingen.
- In de tweede snede na aanwenden waren er bij een snedeopbrengst van ruim 1500 kg drogestof per ha geen effecten van het aanzuren van mest op de opbrengst en samenstelling van het gras.

Gebruik van zwavelzuur

Aanbevolen wordt om overmatige toediening van zwavel aan de bodem te vermijden om te hoge zwavelgehaltes in het gewas en uitspoeling te voorkomen. Wanneer zwavel via bemesting wordt aangevuld op basis van het zwavelbemestingsadvies, dan kan alleen op zandgronden met lage SLV-waardering een (klein) deel van de mest worden aangezuurd met zwavelzuur. Wanneer zwavel op basis van gewasonttrekking wordt aangevuld dan is op alle grondsoorten een aanvullende S-bemesting via zwavelzuur mogelijk. Bij een dosering van 4 l zwavelzuur per m^3 mest kan dan echter niet meer dan globaal een derde deel van de totale mestgift op jaarbasis worden aangezuurd.

6. Literatuur

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

Nyord, A., Adamsen, A.P., Liu, D., Petersen, S.O. & M. Norregaard Hansen, 2010.
Notat om SyreN-projekt; (onderzoeksnotitie)

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, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Pub., Den Haag.

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

Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & M.M.W.B. Hendriks, 2001.
Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. Netherlands Journal of Agricultural Science 49: 323-342.

Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & G.D. Vermeulen, 2003.
Effect of application method, manure characteristics, atmosphere and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. Atmospheric Environment 37: 3669-3680.

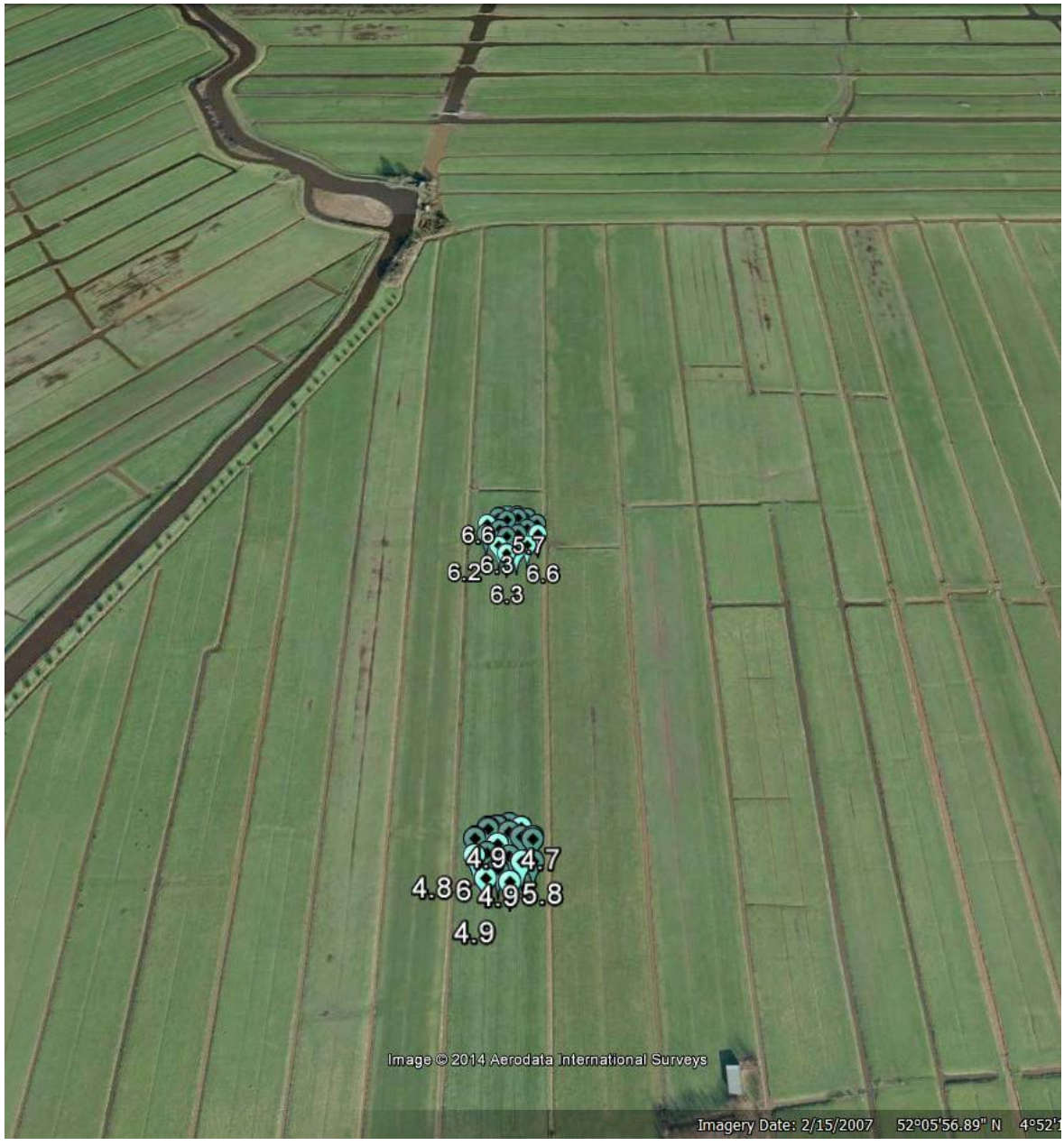
Huijsmans, J.F.M. & R.L.M. Schils, 2009.
Ammonia and nitrous oxide emissions following field-application of manure: state of art measurements in the Netherlands. Proceedings 655, International Fertiliser Society, 35 pp.

Mulder, E.M. & J.F.M. Huijsmans, 1994.
Beperking ammoniakemissie bij mesttoediening; overzicht metingen DLO-veldmeetploeg 1990-1993. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 18. DLO, Wageningen, pp. 71.

Andere bronnen:
www.bemestingsadvies.nl
www.blggagroxpertus.nl

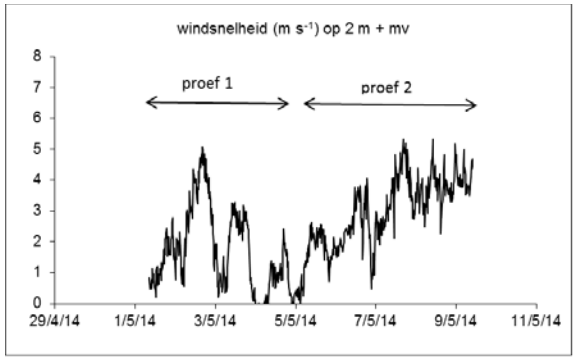
Bijlage I.
Situering proefvelden

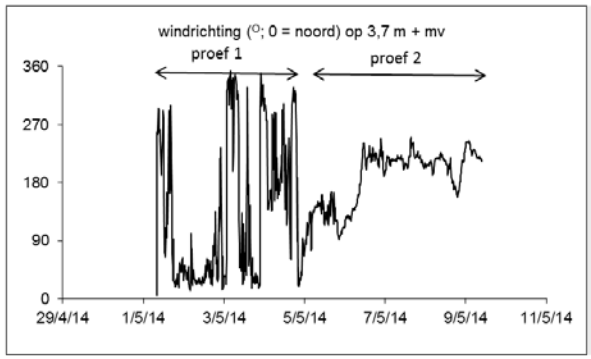
In de figuur zijn 2 proefvelden te zien die zijn aangelegd door de machine met aangezuurde mest. Door GPS communicatie was het mogelijk om via de pH waarde gemeten door de machine de proefvelden weer te geven.

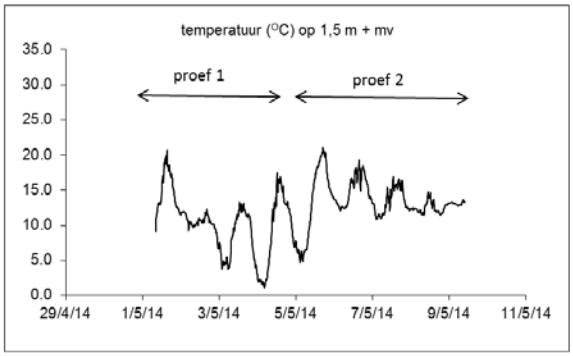


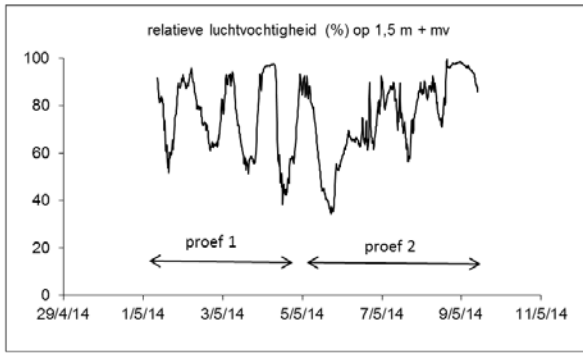
Bijlage II.
Weersomstandigheden tijdens de metingen

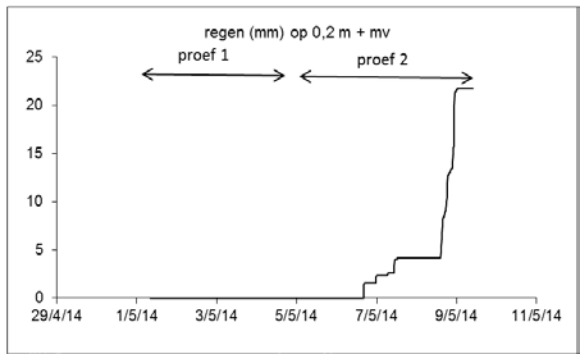
Weersomstandigheden tijdens proef 1 en 2
proef 1: 01-05-2014 tot 05-05-2014, proef 2: 05-05-2014 tot 10-05-2014.



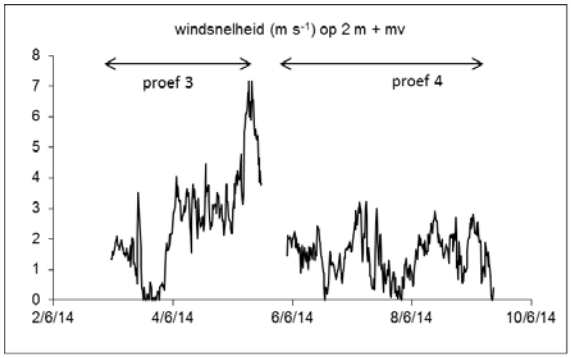


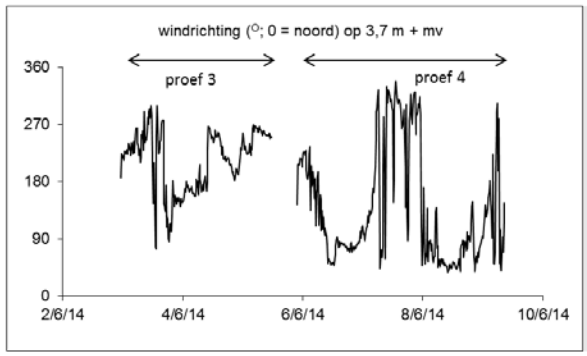


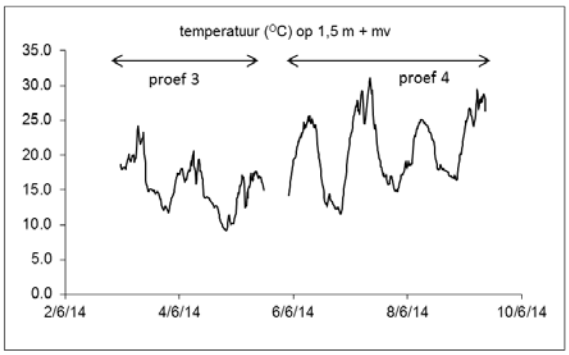


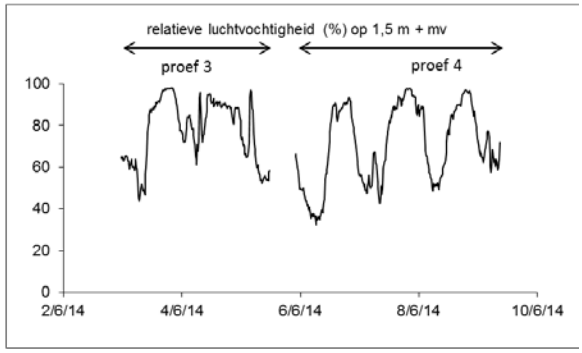


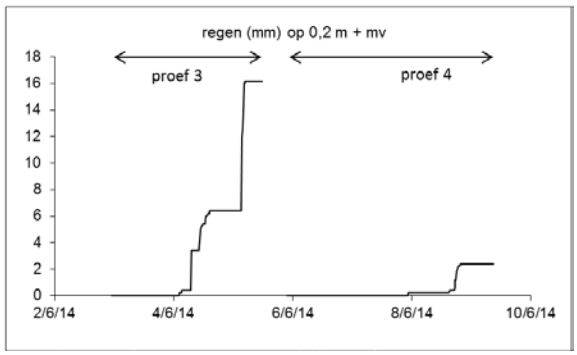
Weersomstandigheden tijdens proef 3 en 4
proef 3: 03-06-2014 tot 06-06-2014, proef 4: 06-06-2014 tot 10-06-2014.





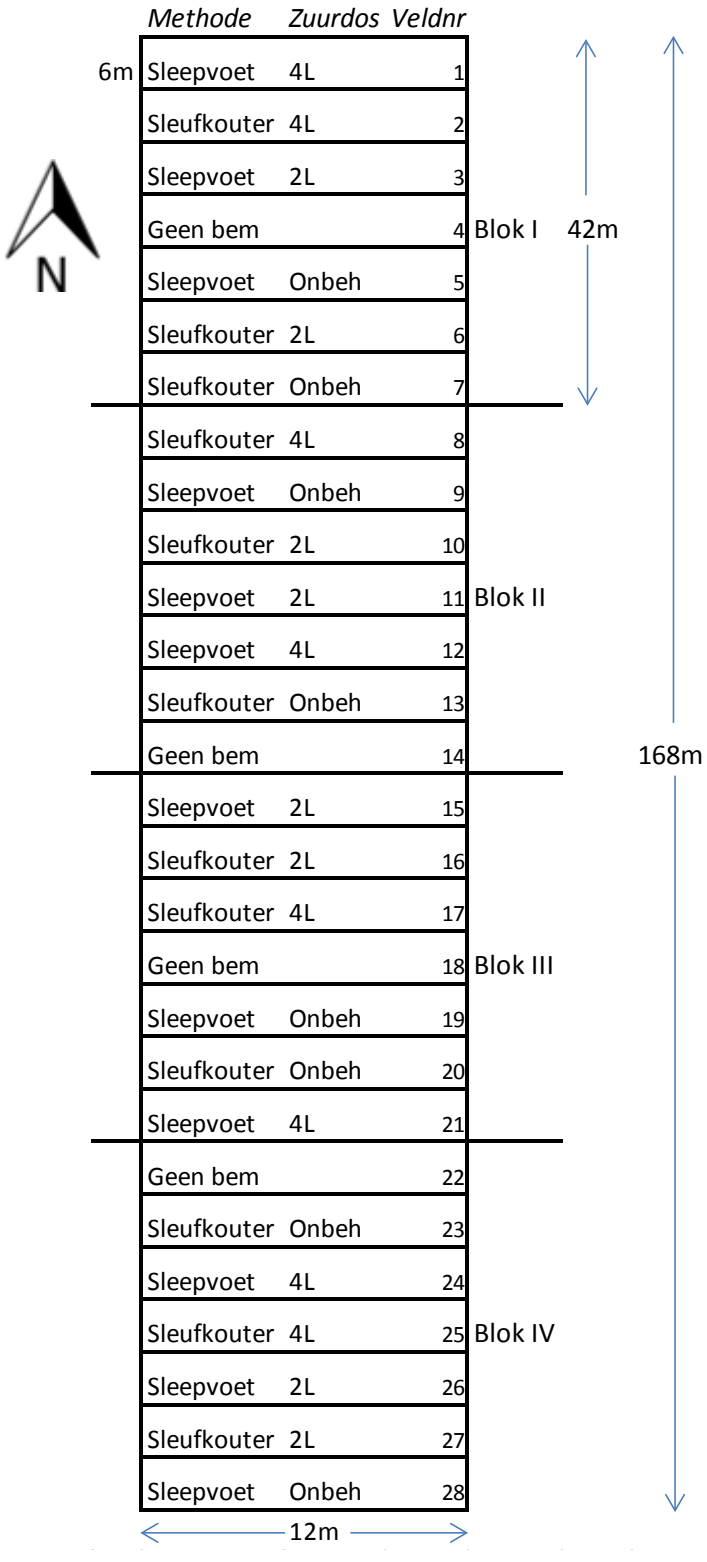






Bijlage III.

Proefveldschema gewasmonitoring



Bijlage IV.

Gewasopbrengst en samenstelling per veld, eerste snede na mest aanwenden

Veldnr	Blok	Machine	Zuurbeh.	Verse opbr.	Ds%	Ds-opbr.	RE-geh.	S-geh.	N-opbr.	S-opbr.	N-benutting	N-recovery	S-recovery	VEM	DVE	OEB
			(l/ton)	(kg/ha)		(kg/ha)	(g/kg ds)	(g/kg ds)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg ds/kg N)	(%)	(%)	per kg ds	(g/kg ds)	(g/kg ds)
1	1	Sleepvoet	4	27184	13.7	3735	155	4.1	92.6	15.3	6.78	18.6	8.9	863	78	1
2	1	Sleufkouter	4	25057	14.8	3719	158	3.5	94.0	13.0	7.39	21.9	6.1	865	79	3
3	1	Sleepvoet	2	23590	14.3	3364	147	3.6	79.1	12.1	3.93	8.1	8.4	870	77	-6
4	1	Geen bemesting	-	17778	16.2	2872	150	3.2	68.9	9.2	-	-	-	869	78	-4
5	1	Sleepvoet	0	21667	14.8	3208	151	3.4	77.5	10.9	2.65	6.8	10.3	888	80	-5
6	1	Sleufkouter	2	22424	14.2	3177	144	3.3	73.2	10.5	2.73	3.8	5.0	876	77	-9
7	1	Sleufkouter	0	22564	13.9	3131	141	3.3	70.6	10.3	2.26	1.5	7.5	893	78	-12
8	2	Sleufkouter	4	26667	13.9	3702	159	4.0	94.2	14.8	1.88	6.7	4.7	870	80	4
9	2	Sleepvoet	0	23333	14.2	3322	160	4.2	85.0	14.0	-1.30	-1.1	12.6	883	81	4
10	2	Sleufkouter	2	26437	15.2	4027	137	4.2	88.3	16.9	4.83	1.6	19.5	909	76	-25
11	2	Sleepvoet	2	28506	15.5	4406	162	4.1	114.2	18.1	7.33	22.1	18.0	868	81	6
12	2	Sleepvoet	4	26667	15.6	4161	153	4.1	101.9	17.1	5.30	12.1	7.6	895	81	-3
13	2	Sleufkouter	0	23729	16.0	3793	160	3.5	97.1	13.3	2.67	9.3	9.3	872	81	4
14	2	Geen bemesting	-	20513	17.0	3487	155	3.4	86.5	11.9	-	-	-	881	80	0
15	3	Sleepvoet	2	23881	15.4	3688	130	4.0	76.7	14.8	2.44	-7.9	2.6	869	72	-19
16	3	Sleufkouter	2	26667	14.8	3955	144	3.8	91.1	15.0	5.13	4.1	4.5	911	80	-11
17	3	Sleufkouter	4	27879	13.5	3768	153	3.7	92.2	13.9	3.37	4.9	0.1	910	83	-5
18	3	Geen bemesting	-	19672	17.2	3382	160	4.1	86.6	13.9	-	-	-	894	83	2
19	3	Sleepvoet	0	26667	14.5	3875	150	3.7	93.0	14.3	3.90	5.1	2.8	878	79	-5
20	3	Sleufkouter	0	25355	14.9	3779	160	3.4	96.8	12.8	3.48	8.9	-6.6	877	81	4
21	3	Sleepvoet	4	27717	15.1	4192	167	4.0	112.0	16.8	6.38	20.0	4.2	865	82	10
22	4	Geen bemesting	-	18592	16.1	2994	154	4.0	73.8	12.0	-	-	-	901	82	-3
23	4	Sleufkouter	0	21333	15.8	3367	120	4.3	64.6	14.5	3.25	-8.0	16.3	891	72	-28
24	4	Sleepvoet	4	27500	14.4	3961	138	3.8	87.5	15.1	7.60	10.8	4.5	892	77	-14
25	4	Sleufkouter	4	27322	14.3	3901	155	3.7	96.7	14.4	7.92	20.1	3.9	841	77	2
26	4	Sleepvoet	2	28571	14.9	4246	156	3.9	106.0	16.6	9.99	25.7	13.3	870	80	1
27	4	Sleufkouter	2	26275	15.0	3949	154	4.0	97.3	15.8	8.54	21.0	14.7	870	79	-1
28	4	Sleepvoet	0	23286	16.0	3728	155	3.9	92.5	14.5	5.80	14.8	15.4	852	78	2

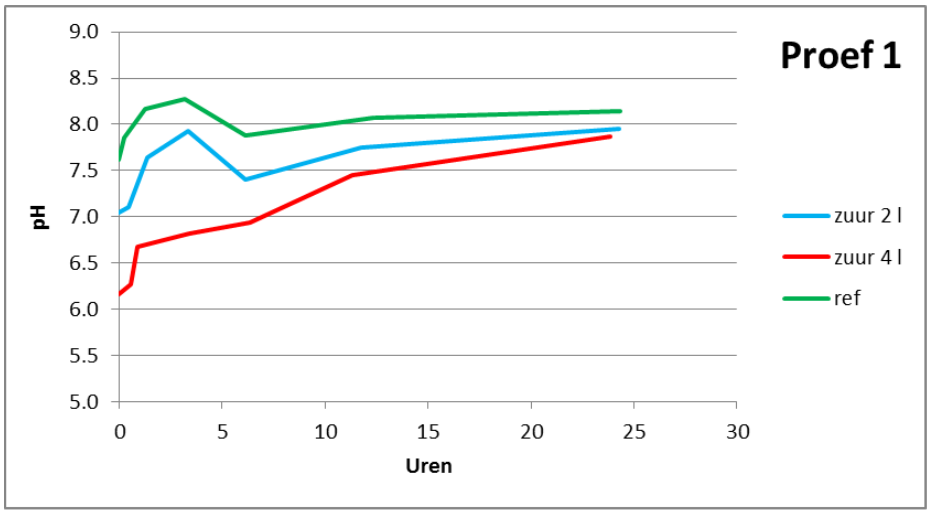
Bijlage V.

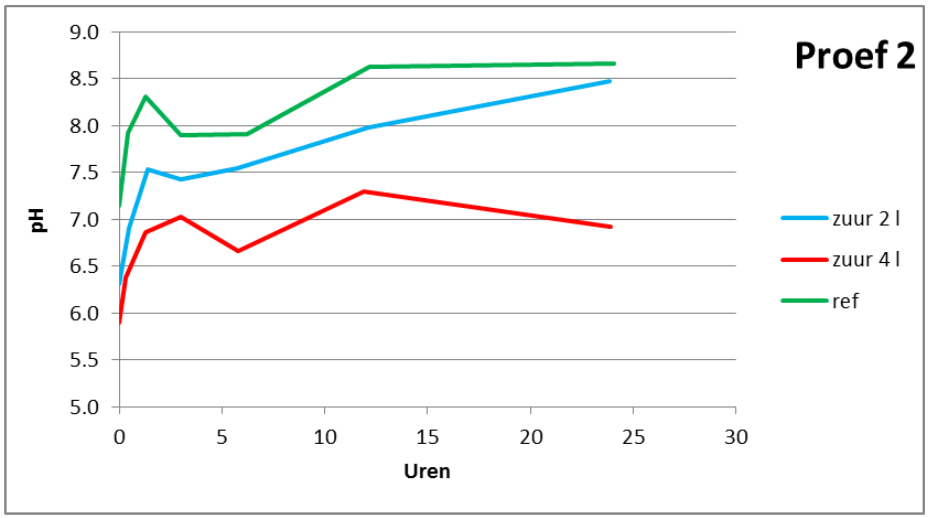
Gewasopbrengst en samenstelling per veld, tweede snede na mest aanwenden

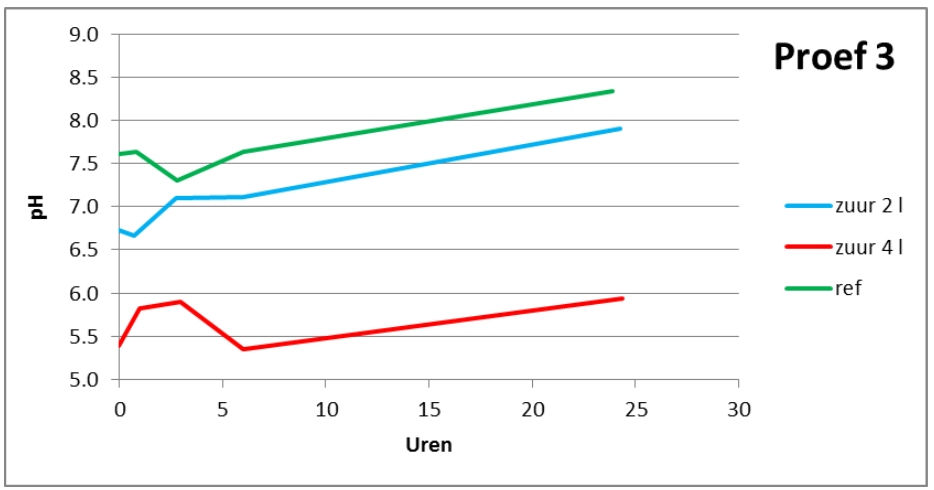
Veldnr	Blok	Machine	Zuurbeh.	Verse opbr.	Ds%	Ds-opbr.	RE-geh.	S-geh.	N-opbr.	S-opbr.	N-benutting	N-recovery	S-recovery	VEM	DVE	OEB
			(l/ton)	(kg/ha)		(kg/ha)	(g/kg ds)	(g/kg ds)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg ds/kg N)	(%)	(%)	per kg ds	(g/kg ds)	(g/kg ds)
1	1	Sleepvoet	4	7871	19.0	1493	192	7.0	45.9	10.5	2.61	7.4	6.4	903	90	27
2	1	Sleufkouter	4	7000	21.0	1468	185	4.7	43.5	6.9	2.68	6.1	1.4	853	84	25
3	1	Sleepvoet	2	6407	20.3	1300	171	4.5	35.6	5.9	1.10	-0.7	-0.6	757	70	24
4	1	Geen bemesting	-	5333	21.8	1162	196	5.2	36.4	6.0	-	-	-	878	89	32
5	1	Sleepvoet	0	6264	21.1	1325	181	5.0	38.4	6.6	1.28	1.5	3.5	805	77	28
6	1	Sleufkouter	2	7407	19.8	1468	176	5.2	41.3	7.6	2.74	4.4	6.1	874	84	17
7	1	Sleufkouter	0	5990	21.0	1256	187	5.5	37.6	6.9	0.82	1.0	5.7	874	86	26
8	2	Sleufkouter	4	6761	21.4	1445	199	5.9	46.0	8.5	-0.58	0.3	0.8	923	94	30
9	2	Sleepvoet	0	8756	19.4	1698	194	6.1	52.7	10.4	1.48	5.5	14.1	911	92	28
10	2	Sleufkouter	2	9293	18.1	1683	190	7.0	51.2	11.8	1.54	4.9	14.5	917	92	23
11	2	Sleepvoet	2	9524	19.0	1810	198	4.9	57.3	8.9	2.39	9.3	2.5	895	91	32
12	2	Sleepvoet	4	9495	16.9	1608	170	7.3	43.7	11.7	0.76	-1.6	5.4	905	86	9
13	2	Sleufkouter	0	9353	18.7	1752	189	5.4	53.0	9.5	2.10	6.4	9.5	870	87	27
14	2	Geen bemesting	-	7619	19.8	1511	189	5.3	45.7	8.0	-	-	-	892	89	25
15	3	Sleepvoet	2	6769	20.4	1383	181	7.6	40.1	10.5	0.93	0.7	4.4	906	89	17
16	3	Sleufkouter	2	7071	20.3	1432	184	6.5	42.2	9.3	1.48	2.7	1.2	906	89	20
17	3	Sleufkouter	4	7879	19.9	1568	196	7.2	49.2	11.3	2.63	8.8	3.7	905	91	30
18	3	Geen bemesting	-	5905	21.5	1267	193	7.1	39.1	9.0	-	-	-	920	93	25
19	3	Sleepvoet	0	8039	19.4	1557	196	6.9	48.8	10.7	2.28	7.6	10.5	882	89	31
20	3	Sleufkouter	0	8615	19.0	1635	195	6.0	51.0	9.8	3.21	10.4	5.3	879	89	31
21	3	Sleepvoet	4	8955	19.0	1706	193	6.1	52.7	10.4	3.45	10.6	2.0	906	91	27
22	4	Geen bemesting	-	7324	20.7	1516	189	7.0	45.8	10.6	-	-	-	908	90	24
23	4	Sleufkouter	0	6385	21.1	1347	176	7.7	37.9	10.4	-1.48	-6.9	-1.6	909	88	14
24	4	Sleepvoet	4	8502	19.1	1624	191	7.0	49.6	11.4	0.85	3.0	1.1	904	89	27
25	4	Sleufkouter	4	7619	20.0	1527	189	6.9	46.2	10.5	0.10	0.3	-0.1	905	90	24
26	4	Sleepvoet	2	9312	18.5	1724	200	7.5	55.2	12.9	1.66	7.4	6.7	933	95	31
27	4	Sleufkouter	2	9524	19.1	1820	180	6.7	52.4	12.2	2.72	5.9	6.1	887	85	19
28	4	Sleepvoet	0	7027	20.4	1435	199	5.6	45.7	8.0	-0.64	-0.1	-15.5	885	90	34

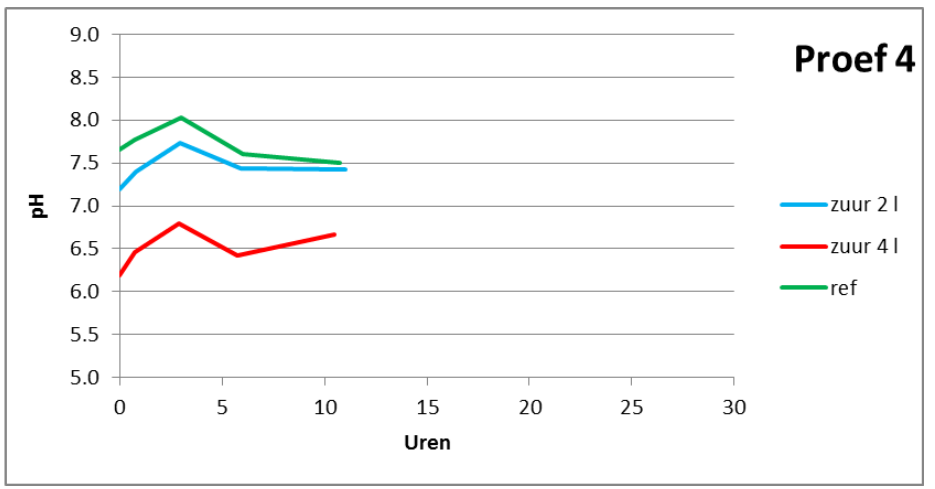
Bijlage VI.

Verloop van de pH van de mest na toediening op het gras











Proeftuin Natura 2000 Overijssel
Postbus 240
8000 AE Zwolle

T 088 888 66 77
F 088 888 66 70
E info@proeftuinnatura2000.nl
W www.proeftuinnatura2000.nl

LinkedIn: Proeftuin Natura 2000 Overijssel
Twitter: @ProeftuinN2000

Mede mogelijk gemaakt door:

provincie overijssel
Ministerie van Economische Zaken
LTO NOORD FONDSEN
ZuivelNL

Uitgevoerd door:

LTO NOORD
WAGENINGEN UR For quality of life
projecten LTO NOORD