



Stikstofwerking van mineralenconcentraat onder gecontroleerde omstandigheden

Effecten van aanzuren, vocht en toedieningstechniek

R.P.J.J. Rietra en G.L. Velthof



ALTERRA
WAGENINGEN UR

Stikstofwerking van mineralenconcentraat onder gecontroleerde omstandigheden

Effecten van aanzuren, vocht en toedieningstechniek

R.P.J.J. Rietra en G.L. Velthof

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van Interreg IVB en het Beleidsondersteunend onderzoekthema Interreg IVB NWE, project Biorefine, BO-project Biorefine Interreg BO-20-004-046, BO-project mineralenconcentraten BO-20-004-017.

Alterra Wageningen UR
Wageningen, maart 2014

Alterra-rapport 2518
ISSN 1566-7197

Rietra, R.P.J.J. en G.L. Velthof, 2014. *Stikstofwerking van mineralenconcentraat onder gecontroleerde omstandigheden; Effecten van aanzuren, vocht en toedieningstechniek*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2518. 34 blz.; 7 fig.; 11 tab.; 27 ref.

Mineralenconcentraten geproduceerd uit dierlijke mest zouden het gebruik van stikstofkunstmest in Nederland ten dele kunnen vervangen. In een potproef met gras op zandgrond is de stikstofwerkingscoëfficiënt (NWC) van mineralenconcentraten bepaald in vergelijking tot kalkammonsalpeter (KAS). Daarnaast zijn de emissies van ammoniak (NH_3) en lachgas (N_2O) bepaald. In deze proef werd mineralenconcentraat vergeleken met KAS, varkensdrijfmest, vloeibare ammoniumnitraat en aangezuurd mineralenconcentraat bij verschillende vochtgehalten van de bodem. De NWC van geïnjecteerde mineralenconcentraat was gemiddeld 99 procent ten opzichte van KAS en was hoger dan die van oppervlakkig in stroken toegediende mineralenconcentraat (NWC 79%) en geïnjecteerde dunne varkensmest (NWC 74%). De NWC van aangezuurd mineralenconcentraat was met 104% hoger dan die van KAS, vergelijkbaar met vloeibare NH_4NO_3 (NWC 103%), en er traden geen NH_3 -emissies op na toediening van aangezuurd mineralenconcentraat. De resultaten laten duidelijk zien dat de NWC van mineralenconcentraten in sterke mate wordt bepaald door NH_3 -emissie. Drogere omstandigheden leidden bij alle meststoffen tot een lagere stikstofopname, maar het vochtgehalte had geen effect op de NWC van mineralenconcentraten. De resultaten geven aan dat maatregelen die NH_3 -emissie uit mineralenconcentraten reduceren, leiden tot een verhoging van de stikstofwerking. Een volledige reductie van de ammoniakemissie door aanzuren leidde tot een meststof met dezelfde stikstofwerking als kunstmest.

Trefwoorden: mineralenconcentraten, stikstofwerkingscoëfficiënt, ammoniak, lachgas, varkensmest.



Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

	Samenvatting	5
1	inleiding	7
2	Materiaal en methoden	8
2.1	Potproef	8
2.2	Behandelingen in potproef	10
2.2.1	Inzetten van proef	10
2.2.2	Bemestingsobjecten	11
2.2.3	Grond- en gewasanalyse	14
2.3	Meting van lachgas- en ammoniakemissie	14
2.3.1	Methode	14
2.3.2	Lachgasmissie	14
2.3.3	Ammoniakemissie	15
2.4	Berekeningen en statistische analyse bij potproef	17
3	Resultaten en discussie	18
3.1	Opbrengsten	18
3.2	N-rendement	19
3.3	Lachgasemissie	21
3.4	Ammoniakemissie	22
4	Conclusies	24
	Referenties	25
	Bijlage 1 Metingen per pot	27
	Bijlage 2 Gasanalyses	29
	Bijlage 3 Samenvatting resultaten	31

Samenvatting

Mineralenconcentraten (MC) zijn een product van de scheiding van dierlijke mest in een dunne en dikke fractie, waarbij de nutriënten uit de dunne fractie geconcentreerd worden via omgekeerde osmose. Het resultaat van deze scheiding van dierlijke mest is een MC met voornamelijk stikstof (N) en kalium (K) en een dikke fractie die rijk is aan fosfor (P) en organische stof. MC zou stikstofkunstmest kunnen vervangen, en de dikke fractie maakt transport en export van P beter mogelijk dan onbewerkte dierlijke mest, waardoor mestscheiding kan bijdragen aan een betere benutting van nutriënten in dierlijke mest. Uit voorgaande veldproeven is gebleken dat stikstofwerkingscoëfficiënt (NWC) van mineralenconcentraten lager is dan die van kalkammonsalpeter (KAS). In potproeven bleek geïnjecteerde mineralenconcentraat echter een vergelijkbare NWC te hebben als KAS, waarschijnlijk door een laag verlies aan N als ammoniak (NH_3). De lagere NWC van mineralenconcentraten in veldproeven zijn mogelijk gerelateerd aan weersomstandigheden en ammoniakemissie.

Het doel van het onderhavige onderzoek was om te onderzoeken of de toepassing van MC geoptimaliseerd kan worden en de NWC verhoogd kan worden door beter rekening te houden met bodemvochtgehalte en door gebruik te maken ammoniak-reducerende technieken (aanzuren van MC en injectie). In een kasproef werd mineralenconcentraat vergeleken met varkensdrijfmest, KAS, vloeibare ammoniumnitraat en aangezuurd mineralenconcentraat. Naast bepaling van opbrengsten en werkingscoëfficiënten zijn ook de emissies van NH_3 en lachgas (N_2O) bepaald in de potproef.

De resultaten laten duidelijk zien dat NH_3 -emissie een belangrijke factor is bij de NWC van mineralenconcentraten. Drogere omstandigheden leidden bij alle meststoffen tot een lagere stikstofopname, maar er waren geen aanwijzingen dat het vochtgehalte een invloed heeft op de NWC van mineralenconcentraten.

Het vochtgehalte had een duidelijk effect op de droge stof- en stikstofopbrengst bij alle meststoffen, maar niet op de NWC bij een bepaald vochtgehalte. De NWC van geïnjecteerde mineralenconcentraat was 99% (referentie is steeds KAS) en was hoger dan die van oppervlakkig in stroken toegediende mineralenconcentraat (NWC 79%) en geïnjecteerde dunne varkensmest (NWC 74%). De NWC van aangezuurd mineralenconcentraat was 104%, en was daarmee vergelijkbaar met vloeibare NH_4NO_3 (NWC 103%), en er traden geen NH_3 -emissies op na toediening van aangezuurde mineralenconcentraat. Er trad NH_3 -emissie op uit mineralenconcentraat (oppervlakkig toegediend en geïnjecteerd), geïnjecteerde varkensmest en de geïnjecteerde combinatie van varkensmest en mineralenconcentraat. De NH_3 -emissie van aangezuurd mineralenconcentraat was verwaarloosbaar, net zoals die van KAS en NH_4NO_3 . De N_2O -emissie uit mineralenconcentraat was lager dan die van KAS, waarbij wel moet worden opgemerkt dat de N-gift van mineralenconcentraat lager was dan die van KAS. De totale N_2O -emissie was het hoogst bij varkensmest en de combinatie van varkensmest en mineralenconcentraat.

De resultaten geven aan dat maatregelen die NH_3 -emissie uit mineralenconcentraten reduceren, leiden tot een verhoging van de stikstofwerking. Een volledige reductie van de ammoniakemissie door aanzuren leidde tot een meststof met dezelfde stikstofwerking als kunstmest. Het in de praktijk toepassen van emissie-arme toedieningstechnieken of het aanzuren van mineralenconcentraat leiden tot een betere stikstofwerking van mineralenconcentraten.

1 Inleiding

Mineralenconcentraten (MC) zijn een product van de scheiding van dierlijke mest in een dunne en dikke fractie, waarbij de nutriënten uit de dunne fractie geconcentreerd worden via omgekeerde osmose (Velthof, 2011; Velthof, 2013). Het resultaat van deze scheiding is een MC met voornamelijk stikstof (N) en kalium (K) en een dikke fractie die rijk is aan fosfor (P) en organische stof. Het MC heeft overeenkomsten met vloeibare ammoniumkunstmeststoffen en zou stikstofkunstmest kunnen vervangen. De dikke fractie maakt transport en export van P beter mogelijk dan onbewerkte dierlijke mest. Mestscheiding in combinatie met productie van MC kan daardoor bijdragen aan een betere benutting van nutriënten in dierlijke mest. Mineralenconcentraten vallen onder de definitie van dierlijke mest uit de Nitraatrichtlijn (91/676/EEG). Deze richtlijn beperkt de toepassing van dierlijke mest beperkt tot 170 kg N per ha (of hoger als er een derogatie is voor een hogere mestgift).

De stikstofwerking van MC is in verschillende studies getest en vergeleken met kunstmest. In veldproeven met aardappel en snijmaïs op verschillende gronden varieerde de gemiddelde stikstofwerking van MC van 77% tot 92% (Van Geel en Van Dijk, 2013). De stikstofwerking op grasland varieerde tussen 54% en 81% ten opzichte van KAS en tussen 79% en 102% ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat (Van Middelkoop en Holshof, 2012).

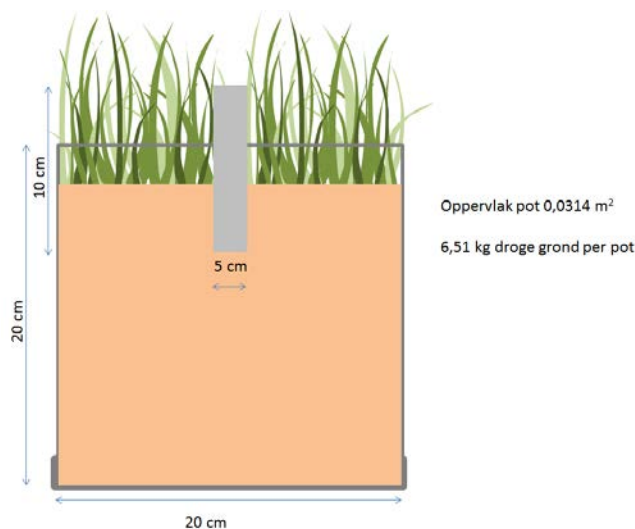
De exacte oorzaak van de variatie in stikstofwerking is niet duidelijk. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een combinatie van factoren: ammoniakemissie, schadelijke effecten hoge ammoniakconcentraties, denitrificatie- lachgasemissie in combinatie met droge of te natte omstandigheden, minder N-opname door plant uit ammoniummeststoffen en/of immobilisatie van N in de bodem (Velthof, 2011). Ammoniakemissie speelt bij dierlijke mest een belangrijke rol door de hoge NH_4 -gehalten en de vaak hoge pH van dierlijke mest. Datzelfde geldt voor MC, omdat het grootste deel van de stikstof in de vorm van NH_4 aanwezig is bij een pH van ongeveer 8 (Velthof, 2011). In onderzoek van Ehler et al. (2012) bleek immobilisatie van N uit mineralenconcentraten laag en geen belangrijke verklaring voor een lagere stikstofwerkingscoëfficiënt dan kunstmest. In dezelfde studie werd aangetoond dat denitrificatie van al in de bodem aanwezig nitraat optrad onder invloed van afbreekbare organische stof in mineralenconcentraten (onder andere in de vorm van vluchtige vetzuren).

Onder vochtige omstandigheden kan denitrificatie en lachgasemissie optreden (De Klein en Van Logtestijn, 1996). Bij droge omstandigheden zou verlies van ammoniak hoger kunnen zijn doordat poriën in de bodem niet gevuld zijn met water en er daardoor minder ammoniak naar de lucht kan ontsnappen. De hypothese is dat MC een vergelijkbare werkingscoëfficiënt hebben als een kunstmeststof als de gasvormige verliezen geminimaliseerd worden. Het onderzoek dat in het onderhavige rapport is beschreven had als doel om onder gecontroleerde omstandigheden in een kas na te gaan wat de effecten zijn van het vochtgehalte van de bodem in combinatie met toedieningstechniek op de stikstofwerking van MC ten opzichte van kunstmest en dierlijke mest. In het onderzoek werd ook de stikstofwerking van aangezuurd MC getest. Door aanzuren wordt het risico op ammoniakemissie beperkt.

2 Materiaal en methoden

2.1 Potproef

In een potproef met gras werden de stikstofwerking en gasvormige emissies bepaald uit MC en verschillende andere meststoffen. Het onderzoek werd uitgevoerd met plastic potten (hoogte 20 cm, buitendiameter 20 cm, binnendiameter 18,7 cm), identiek aan de potten die eerder gebruikt zijn door Klop et al. (2012). De buis in het midden waarmee water werd toegediend had een diameter van 5 cm (figuur 1). De potten zijn van onderen gesloten, zodat geen uitspoeling optreedt. De plastic potten zijn geschikt om gasvormige emissies te meten met een fluxkamer en een foto-akoestische spectrometer.



Figuur 1 Experimentele opzet van de cilindervormige pot in de potproef.

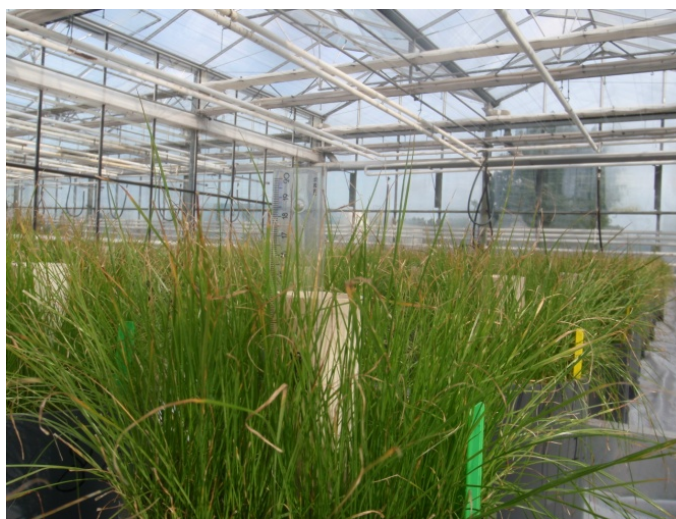
Voor de vochtvoorziening werd een waterbuis (hoogte 10 cm, diameter 5 cm) in het midden van de pot geplaatst. De potproef werd uitgevoerd met een zandgrond van de proefboerderij Droevendaal (onderdeel van Wageningen UR) in Wageningen. Het gehalte aan minerale N in de grond was laag, zodat de N die de planten opnemen voornamelijk afkomstig was van de onderzochte meststoffen. In een eerdere potproef met mineralenconcentraten (Klop et al., 2012) is gebruik gemaakt van grond van dezelfde proefboerderij. Als gewas is gekozen voor gras. Gras is een belangrijk gewas voor toepassing van MC en de methode van toediening (injectie in de bodem of oppervlakkige toediening op de bodem tussen het gras) is relevant is voor de stikstofwerking en de gasvormige verliezen. Daarnaast is gras een geschikt testgewas in een potproef.

In de proef werd één keer bemest en werden twee grassnedes geoogst, omdat in twee snedes de meeste minerale stikstof wordt opgenomen. De potproef is uitgevoerd in een onverwarmde kas in natuurlijk licht in de periode augustus tot en met oktober 2013. Een overzicht van enkele activiteiten in de potproef zijn opgenomen in tabel 1 en figuur 2.

Tabel 1*Belangrijke tijdstippen in de potproef.*

	Activiteit	Datum	Dagen voor of na bemesting
1	Inzaai	17 juni	-50
2	Aftoppen gras	5 juli	-32
3	Gras geknipt tot 10 cm, instellen op vocht	29 juli	-8
4	Bemesting/injectie/tussen gras	6 augustus	0
5	Eerste snede	2 september	28
6	Tweede snede	1 oktober	56

In de proef zijn de effecten van verschillende methoden van de toediening van mineralenconcentraten op grasland onderzocht bij verschillende vochtniveaus. Er waren acht verschillende bemestingsobjecten bij drie verschillende vochtniveau's. De proef is in viervoud uitgevoerd. Het totaal aantal potten was 8 (objecten) * 3 (vochtniveaus) * 4 (herhalingen) = 96 potten.

*5 juli voor het aftoppen**29 juli voor het afknippen**29 juli na afknippen tot 5 cm**6 augustus mestinjectie in bodem***Figuur 2** *Belangrijke tijdstippen in de potproef in beeld.*

2.2 Behandelingen in potproef

2.2.1 Inzetten van proef

De grond is afkomstig uit Wageningen van proefboerderij Droevendaal ('Bio 5 grond') en is arm aan beschikbaar stikstof volgens Blgg-analyses uit 2011 (1170 mg N/kg; C/N ratio: 17; initiële pH-CaCl₂ 5,2; N-leverend vermogen 47 kg/ha).

Tabel 2

Grondanalyse juni 2013.

Methode Naam	Vocht (% t.o.v. vers)	1 M KCl		N-NO ₃ mg / kg droge stof	Gloeiverlies organische stof (%)	Kleifractie < 2 µm (%)
		pH	N-NH ₄ mg / kg droge stof			
Bio5grond	7,3	4,74	0,3	7,3	3,0	4,1

De grond is in 2011 verzameld door Unifarm (onderdeel van Wageningen UR) uit een onbemest perceel, is gehomogeniseerd, gezeefd en vers bewaard onder een overkapping. Het watergehalte van de verse grond in opslag was 7,3% (vocht/massa verse grond x 100%) vooraf aan het vullen van de potten (zie tabel 2). De grond bevatte dus 7,7% water op basis van droge grond (vocht/massa droge grond x 100%). De vloeigrens voor deze grond is vastgesteld op 20,2 ml water per 100 gram droge grond. Bij 60% van de vloeigrens is de hoeveelheid vocht $0,6 \times 22\% = 13\%$. Voor de potproef is de grond dus bevochtigd van 7,7% vocht naar 13% vocht op basis van droge grond.

De grond werd goed gemengd voordat werd bemest met een basisbemesting per pot (tabel 3) en na de basisbemesting werd de grond nogmaals goed gemengd. De basisbemesting werd toegepast om een graszode te ontwikkelen. De basisbemesting was afgestemd op het bemestingsadvies voor gras (zie tabel 3).

Op 17 juni werd 0,8 kg onbemeste grond met drie gram zaad van Engels raaigras (*Lolium perenne* L. Barnhem) over het potoppervlak gestrooid. Hierover is 0,2 kg grond gestrooid voor de kieming van het gras. In totaal werden de potten gevuld met 7 (6 + 0,8 + 0,2) kg verse grond (60% van vloeigrens).

De potten werden afgedekt met doorzichtig plastic om uitdroging tijdens de kiemfase te voorkomen. Op de potten is een papier gelegd om te hoge temperaturen onder het plastic te voorkomen.

Na opkomst van het gras zijn de potten verder gedurende de hele proef op gewicht gehouden met gedemineraliseerd water. Het vochtgehalte dat in de potproef bij aanvang aangehouden werd is een vochtgehalte van 60% van de vloeigrens. Bij dat vochtgehalte is het gras gekiemd. In de week voordat bemest is, zijn de potten op de gewenste verschillende vochniveau's gebracht. Vochniveaus van 50%, 60%, en 80% van de vloeigrens zijn gedurende de potproef in stand gehouden. Het gewicht van de potten is gedurende de potproef constant gehouden met gedemineraliseerd water (zie tabel 4). Aan het gras in de potten is dagelijks of elke twee dagen water toegediend op basis van het gewicht van de potten. De hoeveelheid die steeds werd gegeven was voldoende om het doelgewicht binnen de één of twee dagen in stand te houden. De gemiddelde watergift per dag lag gedurende de proefperiode van 6 augustus tot 1 oktober op 95 ml per dag per pot.

Nadat het gras is opgekomen is het op 5 juli voorzichtig getopt tot 10 cm om de grasgroei te stimuleren (figuur 1). Voor de start van het experiment is het gras op 29 juli geknipt tot ongeveer 5 cm (figuur 2). De hoeveelheid geoogst gras is 18 gram vers per pot gemiddeld. Enige dagen daarna, op 6 augustus, is het experiment gestart met de toediening van de diverse mestsoorten, zoals is aangegeven in tabel 5.

Tabel 3

Basisbemesting (*) met vloeibare meststoffen.

	Beschikbaarheid element	Bemestingsadvies voor eerste* snede (kg / ha) *	Element / pot(**) mg / pot	Zout (mmol / pot)	ml stock
N	47 kg N/ha = vrij laag	82 N (aldaar Tabel 2-8)	226	1 KH ₂ PO ₄ 4,9 KNO ₃	150 ml
P	P-Al klasse = ruim voldoende	25 P ₂ O ₅	30	5,6 Mg(NO ₃) ₂ 5,7 MgSO ₄ 7H ₂ O	
K	K-getal 6 = laag	100 K ₂ O (Tabel 2-14)	228		
Mg	Vrij laag	100 MgO	276		
			ug / pot (**)		
B	Laag		2,5	H ₃ BO ₃	5 ml
Cu	Goed		0,1	CuCl ₂	
Mo			0,05	Na ₂ MoO ₄	
Mn			2,5	MnCl ₂	
Zn	Goed		0,25	ZnCl ₂	
Fe				Fe-EDTA	5 ml

*www.bemestingsadvies.nl, voor stikstof, inzaai grasland in bouwland = advies blijvend grasland (104 kg N/ha bij < 1500 kg ds/ha) + extra N-gift voor opbouw wortels en nieuwe graszode (25 kg N/ha bij inzaaien voor 1e snede) - 47 NLV = 82 kg N/ha).

Rest van adviezen conform grasland zonder klaver eerste snede. De keuze voor < 1500 kg ds/ha is gebaseerd op de eerste snede in Alterra rapport 2314, waarin de onbemeste potten een eerste snede hebben van 3 g ds/pot, en de bemeste potten 9 g ds/pot, dit komt overeenkomt met resp. 1100 kg ds/ha (zeer licht weiden) en 3200 kg ds/ha (maaïen). De opbrengst van de tweede snede bij de onbemeste potten was te laag zodat een iets hogere bemesting dan Alterra-rapport 2314 wordt gebruikt (60 kg N/ha incl NLV), vergelijkbaar met Klop et al, (2012)(50 kg N/ha excl. NLV).

Bij < 2500 kg ds/ha, maaïen, eerste snede, is het bemestingsadvies 100 kg K₂O/ha of te wel 100/1,205 = 83 kg K/ha

**Binnendiameter van pot is 18,7 cm waardoor oppervlak pot 275 cm² is. De watercilinder heeft een diameter van vijf cm waardoor op 20 cm² geen gras groeit. Het oppervlak in de pot met gras is daardoor 255 cm²

Tabel 4

Vocht niveaus gedurende de potproef (vanaf de week voor de bemesting).

% vocht ten opzichte van vloeigrens	Doelgewicht totale pot (gram)
50 %	8244
60 %	8372*
80 %	8628

*het gewicht van de pot+waterbuis is 1372 gram. Er is initieel 7000 gram verse grond bij 60% van de vloeigrens aangebracht in de potten.

2.2.2 Bemestingsobjecten

De dunne varkensmest en het hieruit geproduceerde mineralenconcentraat zijn opgehaald bij de firma Houbraken in Bergeijk, zoals in eerder onderzoek (Velthof, 2011). Beide meststoffen zijn op 7 juni 2013 afgetapt uit een volledig werkende installatie. De dunne varkensmest werd bemonsterd net voordat het gescheiden werd.

De dunne varkensmest en het mineralenconcentraat zijn geanalyseerd door het Chemische Biologische Laboratorium Bodem (CBLB) van Wageningen UR. De mestanalyses zijn twee keer uitgevoerd. De eerste analyse is uitgevoerd na ontvangst van de beide meststoffen om de hoeveelheid in te schatten voor de potproef. De tweede analyse is uitgevoerd direct na de bemesting om zo zeker te zijn van de hoeveelheid stikstof tijdens de toediening, omdat er tijdens het bewaren stikstof verloren zou kunnen gaan. De eerste keer zijn de monsters (tabel 5), nadat ze waren aangezuurd (ter voorkoming van ammoniakvervluchtiging tijdens het drogen) gedroogd, en de tweede keer (tabel 6) zijn de natte monsters vers gedestruerd met H₂SO₄-H₂O₂-Se, een methode die standaard wordt gebruikt voor N- en P-analyses van gewassen (Novozamsky et al., 1983) en ook geschikt is voor dierlijke mest. De meting van het droge stof gehalte bij mineralenconcentraat (zie tabel 5) laat grote verschillen zien tussen de meting bij 70°C en 105°C. De reden hiervoor is onduidelijk. De tweede methode (vers gedestruerd) is daarom achteraf gezien nauwkeuriger omdat de gehalten in mest op één analyse gebaseerd zijn, en niet op twee metingen (gehalte in droge stof én droge stof-analyse). De totale N-analyses in tabel 6 worden verder gebruikt in dit rapport.

Tabel 5

Samenstelling van mest (op basis van vers) in bepaling van aangezuurde mestmonsters.

Methode	Parameters	Apparatuur	Eenheid	Varkens-drijfmest	Mineralen-concentraat
Geen	pH	electrode		7,73	7,91
Drogestof-(DS)bepaling aan aangezuurd monster	DS (vers-105°C)	droogstoof	%	9,5	5,8
	DS (vers-70°C)		%	9,4	8,6
Destructie H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ -Se	N	SFA-Nt/Pt	g/kg	6,0	7,6
	P		g/kg	1,4	0,3
Destructie HNO ₃ -HCl (Aqua Regia)	S	ICP-AES Thermo	g/kg	0,57	0,32
	Ca		g/kg	1,5	0,2
	K		g/kg	3,7	7,3
	Mg		g/kg	1,0	0,0
	Na		g/kg	0,96	1,79
Extractie 0,01 M CaCl ₂ **	anorganisch C	SFA-CaCl ₂	g/kg	0	0
	totaal C		g/kg	2,50	2,69
	Nts		g/kg	4,25	6,95
Extractie 0,1 M NaNO ₃ **	Cl	FIA	g/kg	1,7	6,0
Gloeiverlies	Organische stof	Verlies (105-550°C)	g/kg	66	38
Kurmies	C	spectrofotometer	g/kg	24,9	10,5

*betreft aangezuurde mest, analysis op basis van bij 105°C gedroogd materiaal (behalve voor pH meting). ** alle analysis aan gedroogde grondmonsters.

Beide analyses (tabellen 5 en 6) komen goed overeen. De hoeveelheid met CaCl₂ extraheerbaar N is bij het mineralenconcentraat bijna gelijk aan het totaal N, en de extraheerbare N is bijna gelijk aan het ammoniakale N. Na aanzuren is de hoeveelheid anorganische koolstof (dat is voornamelijk HCO₃) verdwenen.

Zoals verwacht bevat het mineralenconcentraat weinig P ten opzichte van de varkensdrijfmest. De gehalten aan totaal N, P en K van het mineralenconcentraat zijn vergelijkbaar met die gerapporteerd door Velthof (2011), behalve dat het droge stofgehalte (5,8% t.o.v. 3,4%), en het organische stofgehalte relatief hoog is (38 t.o.v. 13,7 g/kg).

Tabel 6

Samenstelling van mest (gebaseerd op vers onaangezuurd materiaal).

Methode	Parameters	Apparatuur	Eenheid	Varkens-drijfmest	Mineralen concentraat	Aangezuurd mineralen concentraat
Drogestof-bepaling	Droge stof (vers-105°C)	Droog stoof	%	7,1	5,8	-
Destructie H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ -Se	N	SFA-Nt/Pt	g/kg	6,25	7,99	-
	P		g/kg	1,49	0,27	-
Extractie 0,01 M CaCl ₂ vers monster*	Anorganisch C	SFA-CaCl ₂	g/kg	3,6	5,8	0,01
	Totaal C		g/kg	6,9	11,4	5,7
	N-NH ₄		g/kg	4,1	7,08	7,35
	N-NO ₃		mg/kg	0,11	0,11	0,00
	Nts		g/kg	4,8	7,75	7,97

*niet additioneel aangezuurd om om N-verlies te voorkomen, dat is bij extractie niet nodig.

In tabel 7 zijn de bemestingsobjecten weergegeven. De proef bestond uit een onbemeste controle, twee kunstmesten (korrelvormige kalkammonsalpeter (KAS) en vloeibaar ammonium nitraat), dunne varkensmest (emissie-arm toegediend), MC (emissiearm en oppervlakkig in stroken toegediend), een mengsel van MC en varkensmest (emissie-arm toegediend) en aangezuurd MC. Het mengsel van MC en varkensmest is onderzocht omdat in de praktijk voor het uitrijden van de mest ook vaak mineralenconcentraat wordt gemengd met dunne varkensmest. De reden hiervoor is dat dan geen aparte apparatuur nodig is voor toediening van mineralenconcentraat.

Tabel 7

Bemestingsobjecten in de potproef.

	Behandeling	Gram per pot	mg N / pot
1	Onbemest		0
2	Oppervlakkig KAS	1,23 gram KAS	330
3	Stroken op oppervlak (SA) Vloeibaar ammonium nitraat (liquid NH_4NO_3)	25 ml van * 38 gram zout/L	330
4	Zodebemesting (IN) Dunne varkensmest (PS)	50 gram VM	313
5	Stroken op oppervlak (SA) Mineralenconcentraten (MC)	26 gram MC	208
6	Zodebemesting (IN) Mineralenconcentraten (MC)	26 gram MC	208
7	Zodebemesting (IN) Mineralenconcentraten gemengd met dunne varkensmest (MC+PS)	25 gram VM + 13 gram MC	260
8	Stroken op oppervlak (SA) Mineralenconcentraten aangezuurd (acid MC)	26 gram MC + 4,55 ml H_2SO_4	208

*38 g NH_4NO_3 per liter = 13,2 g N per liter; 25 ml per pot van 13,2 N per liter geeft 330 mg N per pot.

De

ammoniumnitraatoplossing is gemaakt van laboratoriumkwaliteit NH_4NO_3 .

De N-toediening met de behandelingen is gelijk gesteld aan de hoogste N-hoeveelheid die gebruikt is door Ehlert et al. (2012) en Klop et al. (2012): 120 kg N/ha of 330 mg N per pot. De mest is toegediend op 6 augustus 2013. De hoeveelheid van 120 kg N/ha is gebaseerd op een lichte gift voor de eerste snede gras bij maaien in de praktijk (www.bemestingsadvies.nl). De werkelijke N-giften weken af van de geplande N-gift voor varkensmest en MC (tabel 7) door een onjuiste interpretatie van de analyse gegevens. (De resultaten waren op basis van een droge stof gehalte van 70°C gegeven, terwijl bij berekening van de N-gift was verondersteld dat de gehalten op basis van 105°C waren uitgedrukt).

Voor het object met aanzuren werd het MC drie dagen voor de toediening aangezuurd tot pH 5 met zwavelzuur (H_2SO_4). Uit de resultaten van de titratie van het mineralenconcentraat met zwavelzuur blijkt dat de pH licht toeneemt na één dag (zie tabel 8). In de potproef is een tot pH 5,08 aangezuurd mineralenconcentraat gebruikt. De hoeveelheid anorganische koolstof (voornamelijk HCO_3^-) (zie tabel 6) is bij het MC 5,8 g C kg^{-1} of 0,48 mol $\text{HCO}_3^- \text{kg}^{-1}$. Dat past bij de titratie, waarbij minimaal 0,62 mol H kg^{-1} per 50 gram MC nodig was om een pH van 6 of lager te bereiken. De grotere hoeveelheid zuur die nodig is om de pH te verlagen, dan de hoeveelheid aanwezige bicarbonaat, wordt waarschijnlijk veroorzaakt omdat ook de organische stof bufferend werkt.

Tabel 8

Titratie van 50 gram verse mineralenconcentraat met H_2SO_4 .

	Gewenste pH	ml 2 M H_2SO_4 om gewenste pH te bereiken	pH na 2 uur	pH na 1 dag	ml 2 M H_2SO_4 om gewenste pH te bereiken	Som ml 2 M H_2SO_4 om gewenste pH te bereiken
1	6,5	7	6,55	6,91	0,5	7,5
2	6	7,8	5,92	6,2	0,2	8,0
3	5,5	8	5,55	5,82	0,2	8,2
4	5	8,4	4,92	5,05		8,4
5	4,5	8,6	4,50	4,59		8,6

De meststoffen werden via verschillende methoden toegediend. De buis voor de watertoevoer werd niet verwijderd bij toediening van meststoffen. De per pot te doseren hoeveelheid mest of MC werd voor de proef in plastic potjes (Greiner-centrifuge tubes) afgewogen en koel bewaard. Bij leeggieten van deze potjes bleef vrijwel geen mest of MC achter. KAS werd als korrels oppervlakkig verspreid over de pot. Het MC (in één van de objecten), het aangezuurd MC en de ammoniumnitraatoplossing werden in één strook op de bodem aangebracht (vergelijkbaar met toediening met de sleepvoet). De strook op het oppervlak was 5 cm breed. De mest werd zodanig in de pot gebracht dat het gras zo min mogelijk werd geraakt. Het gras werd bij toediening met de hand opzij geduwd. Varkensmest, mineralenconcentraat (één van de objecten) en het mengsel van mineralenconcentraat en varkensmest werden via zodebemesting toegediend. Zodebemesting werd nagebootst door gras 1 cm

opzij te duwen en door met een plamuurmes één snede in de bodem te maken tot 5 cm diep (zie foto 1 (in Ehlert et al., 2012)).

2.2.3 Grond- en gewasanalyse

De potten werden vier en acht weken na het inzetten geoogst (zie tabel 2). Bij de eerste en de tweede oogst werd het gras op circa 5 cm hoogte geknipt. De versgewichten van de grasmonsters zijn gewogen en de drooggewichten bepaald. De gedroogde grasmonsters zijn geanalyseerd op totaal N en P na zwavelzuur/seleen destructie. Van de overgebleven grond in de potten werd een mengmonster genomen (vier steken per pot) om de hoeveelheid minerale stikstof in de grond te bepalen via een extractie met 1 M KCl.

De grond- en gewasanalyses zijn uitgevoerd conform standaardmethoden door het Chemische Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) van Wageningen UR. CBLB is een door de Raad van Accreditatie (RvA) geaccrediteerd laboratorium voor bodem-, water-, en gewasanalyses. De genoemde tests zijn te vinden op www.rva.nl onder het registratienummer van het CBLB nummer: 342.

2.3 Meting van lachgas- en ammoniakemissie

2.3.1 Methode

Een foto-akoestische gasmonitor (Innova 1312) is gebruikt om emissies van lachgas (N_2O) en ammonia (NH_3) te meten. Met foto-akoestische spectroscopie wordt de concentratie van een gas in de lucht gemeten. Voor beide gassen is dezelfde opstelling gebruikt, zoals beschreven voor Klop et al. (2012) en Lubbers et al. (2011). De opstelling voor de gas-emissiemetingen bestond uit een 4,26 L fluxkamer die bovenop de met gras begroeide pot werd geplaatst. De fluxkamer had een dusdanig formaat dat het nagenoeg luchtdicht aansluit op de begroeide pot. De fluxkamer was via een verwarmde teflonslang (lengte 200 cm; interne diameter 0,3 cm) verbonden met de gasmonitor. De verwarming zorgde ervoor dat er geen condens optrad in de slang (zowel ammoniak als lachgas kunnen in condenswater oplossen).

2.3.2 Lachgasmissie

De lachgasemissie is op tien tijdstippen bepaald: na 2, 6, 7, 9, 14, 20, 28, 34, 41 en 50 dagen na de bemesting. De lachgasemissie werd bepaald door de lachgasconcentratie te meten voordat de fluxkamer op de begroeide pot werd geplaatst en nogmaals 30 minuten nadat de pot was geplaatst. De emissie is berekend als het concentratieverschil tussen beide lachgasconcentraties (ΔC in $\mu\text{L N}_2\text{O} / \text{L}$ of ppm), gedeeld door het tijdsverschil tussen de metingen (Δt in minuten, 25 à 30 minuten) en het oppervlak van de pot ($A=0,0314 \text{ m}^2$). De emissie is als volgt berekend:

$$\text{N}_2\text{O emissie (ug N/m}^2\text{/uur)} = \Delta C \cdot V \cdot \Delta t^{-1} \cdot M_v^{-1} \cdot \rho^{-1} \cdot b$$

waarin

- $V = 4,26 \text{ L}$, het volume van de headspace in de fluxkamer en de slangen (2,81 L fluxkamer op pot + 1,45 L ruimte in pot tussen gras, en 1,5 m slang met binnendiameter van 2 mm).
- $M_v = 23,7 \text{ L/mol}$, het molair gasvolume (bij gemiddeld 16°C en 101325 Pa).
- ρ , de mol massa van N in N_2O ($28 \text{ g N/mol N}_2\text{O}$).
- b , een conversiefactor (60 min/uur).

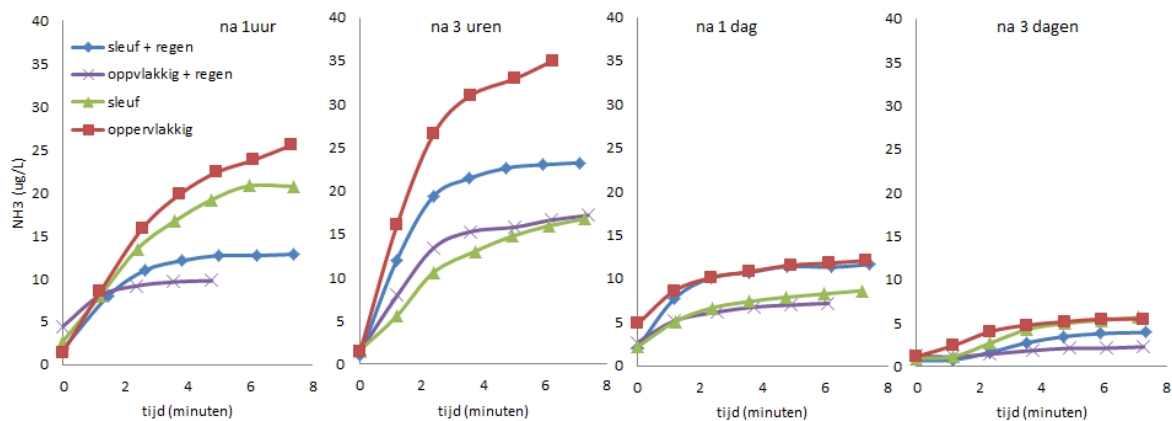
De nauwkeurigheid van de lachgasemissie-bepaling wordt voor een belangrijk deel bepaald door het verschil met de achtergrondconcentratie. De N_2O -emissie is berekend met de aanname van een lineaire toename in de gasconcentraties tussen de twee meetpunten. Uit metingen van Velthof en Oenema (1995) blijkt de toename van lachgasemissie in de headspace van fluxkamers lineair in de tijd te verlopen.

2.3.3 Ammoniakemissie

Tests

Het meten van ammoniakemissie met gesloten fluxkamers is onderwerp van discussie (Blanes-Vidal et al., 2007). Door een gesloten kamer (fluxkamer) op de pot met gras te zetten kan een flux worden gemeten uit de toename van de NH_3 -concentratie in de headspace, aannemende dat de flux niet gehinderd wordt door de toenemende concentratie. Deze techniek wordt toegepast bij N_2O . In het geval van NH_3 is de ervaring echter dat de concentratietoename afvlakt in de tijd (Chaoui et al., 2009). De emissieflux lijkt dus te worden geremd door de toenemende NH_3 -concentratie in de headspace van de fluxkamer. Een ander effect dat zou kunnen optreden is dat NH_3 in evenwicht komt met vocht in de fluxkamer en slangen.

Er zijn een aantal tests uitgevoerd, waarbij gras in een sleuf of oppervlakkig is bemest. De NH_3 -concentratie is met een fluxkamer bepaald. De NH_3 -concentratie nam gedurende de meettijd (tien minuten) toe (figuur 3), maar er trad een sterk afvlakking op van de toename in de tijd. De interpretatie van de metingen lijken op het bereiken van een 'evenwicht' binnen ongeveer 10 minuten. Eerder sloot Klop et al. (Klop et al., 2012) de fluxkamer gedurende hier mist tekst af, om pas na 30 minuten een NH_3 -meting te doen. Een lineaire toename werd aangenomen tussen de gasconcentratie op het moment van sluiten van de fluxkamer en het moment van meten. Dat lijkt in het geval van NH_3 niet juist.

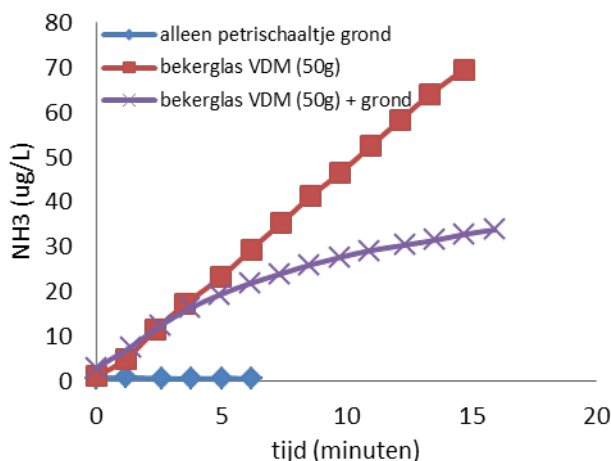


Figuur 3 Ammonia gasconcentraties in gesloten fluxkamer boven potten met gras. De graszoden zijn daarvoor gestoken uit een grasveld. Gemeten is na de bemesting met varkensdrijfmest: één uur, drie uren, na één dag en na drie dagen na bemesting. De mest is toegediend via oppervlakkige toediening, oppervlakkig met watertoediening, injectie in een sleuf en injectie in een sleuf met watertoediening.

Een ander probleem bij NH_3 -metingen met fluxkamers is dat de detectie van de NH_3 -concentratie met de gasmonitor een duidelijk vertraging laat zien bij de meting, dit in tegenstelling tot andere gassen. Deze vertraging wordt geïnterpreteerd in de literatuur als binding van NH_3 aan de plastic slangen, de meetcel en in vocht in het systeem (Schmol et al., 2001; Zhang et al., 2007; Rom en Zhang, 2010). Deze binding maakt dat de NH_3 -metingen beïnvloed zijn voordat een evenwicht bereikt wordt. Om dergelijke problemen (binding van NH_3 aan plastics, binding van NH_3 in vocht in slangen) te voorkomen, of de insteltijd zo gering mogelijk te laten zijn, moeten grote concentratieverschillen tussen opeenvolgende NH_3 -metingen worden voorkomen.

Een aantal tests is gedaan om de NH_3 -emissie te bepalen uit mest en uit mest in aanwezigheid van grond. De grond is daarbij niet gemengd met de mest, maar in de fluxkamer gezet naast een bekglas met mest. De NH_3 -concentratie in de gesloten fluxkamer nam lineair toe als functie van de tijd. De NH_3 -emissie uit alleen mest was dus constant gedurende de meettijd. De NH_3 -concentratie bij een beker mest in de aanwezigheid van verse grond in de fluxkamer nam niet lineair toe. Omdat de

mest niet in contact was met de grond, kan worden geconcludeerd dat de geëmitteerde NH₃ uit de mest wordt gebonden aan de verse grond.



Figuur 4 Ammonia gasconcentraties in fluxkamer met alleen grond, bekerglas met alleen varkensdrijfmest, en hetzelfde bekerglas met drijfmest inclusief een Petri schaalte met verse grond.

Bij de potproef zijn alle metingen van NH₃-emissie kortstondig bepaald (maximaal vijf minuten) om het effect van een afvlakkende emissie zo gering mogelijk te houden. De emissiemetingen dienen daarom zo kort mogelijk te zijn, maar dienen ook dan niet als absoluut geïnterpreteerd te worden maar als een maat voor de werkelijke NH₃-emissie. Een berekeningsmethode om de initiële flux te berekenen (op tijdstip nul) door de data te beschrijven met een niet-lineair model dat wordt gegeven door Blanes-Vidal et.al. (2007) en Chaoi et al. (2009). Die aanpak wordt in onderhavig onderzoek niet gebruikt, omdat verondersteld wordt dat de emissiemetingen slechts een maat zijn voor de werkelijke emissie.

Ammoniakmetingen in de potproef

Ammoniak-emissiemetingen zijn bij alle potten uitgevoerd tijdens de eerste drie dagen na de bemesting. De eerste meting vond plaats op dag van bemesting. De ammoniakemissie werd bepaald door de ammoniak-gasconcentratie te bepalen voordat de fluxkamer op de pot gesteld wordt en elke minuut na plaatsing van de fluxkamer, gedurende 4 minuten. De flux is berekend op basis van het concentratieverschil tussen 0 en 4 minuten. De emissie is berekend als het concentratieverschil tussen twee ammoniak gasconcentraties (ΔC in $\mu\text{L NH}_3 / \text{L}$ of ppm), gedeeld door het tijdsverschil tussen de metingen (Δt , werkelijke tijd in minuten, steeds één à vijf) en het oppervlak van de pot ($A=0,0314 \text{ m}^2$). De emissie is berekend volgens:

$$\text{NH}_3 \text{ emissie (ug N/m}^2\text{/sec)} = \Delta C \cdot V \cdot \Delta t^{-1} \cdot M_v^{-1} \cdot \rho^{-1} \cdot b$$

waarin

- $V=4,26 \text{ L}$, het volume van de headspace in de fluxkamer en de slangen,
- $M_v = 23,7 \text{ L/mol}$, het molair volume (bij gemiddeld 16°C en 101325 Pa),
- ρ , de molmassa van N in NH₃ (14 g N/mol NH_3), en
- b , een conversiefactor ($1/60 \text{ min/sec}$).

De NH₃-emissie is bepaald op één, twee en drie dagen na de bemesting. Aangezien er alleen verhoogde NH₃-emissies waren tijdens de eerste dag na de bemesting is de berekening van de emissie gebaseerd op die data. Na de potproef is opnieuw bemest om een herhaling van de meting te krijgen. Na de bemonstering van de grond voor de N-mineraal-bepaling van de grond, zijn de gaten in de grond met kwartszand gevuld, en is opnieuw bemest en is opnieuw de NH₃-emissie bepaald.

2.4 Berekeningen en statistische analyse bij potproef

De werking van een meststof wordt beoordeeld door de stikstofopname uit een meststof relatief ten opzichte die uit een standaardmeststof. Daarbij kan eventueel ook de minerale stikstof in de bodem meegenomen worden, als vrijgekomen uit de meststof, als die op het einde van de potproef nog aanwezig is. In de huidige proeven was de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem op het einde van de potproef klein en is niet meegenomen in de berekening. Doordat in de potproef de toegediende hoeveelheid stikstof niet in alle behandelingen identiek was, zijn er geen werkingscoëfficiënten berekend op basis van de opbrengst van het gras.

De stikstofopname uit de meststof wordt berekend als de:

1) N-rendement (in Engels: Apparent Nitrogen Recovery, ANR) in %:

$$\text{ANR} = (\text{N}_{\text{gras, product}} - \text{N}_{\text{gras, onbemest}}) / \text{N}_{\text{gift, product}} \times 100\%$$

De stikstofopname is berekend als de droge stof opbrengst per pot vermenigvuldigd met het per pot bepaalde stikstofgehalte van het gras. De N_{gras} -opname door het gras is in de potproef gelijk aan de opname van geoogste delen, dus zonder de stikstofopname door de stoppel en de wortels.

2) N-werkingscoëfficiënt (NWC in %):

$$\text{NWC} = \text{ANR}_{\text{behandeling}} / \text{ANR}_{\text{referentie meststof}} \times 100\%$$

Er zijn twee grassnedes geoogst. Daarom is de ANR en de NWC berekend op basis van de eerste snede en op basis van de som van beide snedes.

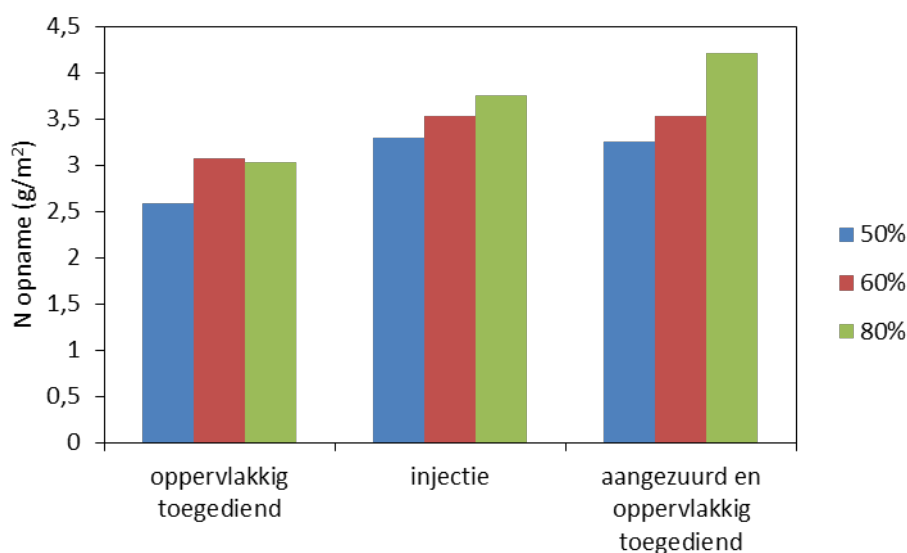
De data (opbrengst droge stof, stikstofopname, ANR, NWC) zijn statistisch geanalyseerd met Genstat 16th edition (VS Ltd International). Tweeweg-ANOVA's zijn uitgevoerd voor de factoren bemesting en bodemvocht en de interacties daartussen. Een drieweg-ANOVA is uitgevoerd voor de N_2O en NH_3 -emissies inclusief de factor meetmoment. Verschillen tussen groepen zijn getoetst met Fisher's beschermde LSD analyse. Behalve de NH_3 -emissie waren alle geteste gegevens normaal verdeeld. De NH_3 -emissie was niet normaal verdeeld, ook niet na log transformatie, en getoetst door gebruik te maken van een éénweg-ANOVA gebaseerd op rangnummers (Kruskal-Wallis toets).

3 Resultaten en discussie

3.1 Opbrengsten

De droge stof-opbrengst en de totale N-opname werden significant beïnvloed door het bemestingsobject en het vochtgehalte van de bodem, zoals te zien is in tabel 9. Het beeld wordt vertroebeld doordat de N-gift niet bij alle objecten hetzelfde was. In de volgende paragraaf wordt de ANR gebruikt waarbij de vergelijking tussen de verschillende objecten nauwelijks wordt beïnvloed door de verschillende N-giften. De drie objecten met mineralenconcentraat (MC) hadden dezelfde N-gift. In figuur 5 is te zien dat de N-opname bij oppervlakkig toegediende MC lager was dan bij geïnjecteerde MC of aangezuurde MC.

De droge stof-opbrengst nam significant toe als functie van het vochtgehalte, onafhankelijk van de behandeling. De stikstofopname nam ook significant toe als functie van het vochtgehalte (figuur 5), alleen het verschil tussen 50% en 60% vocht was niet significant (zie tabel 9).



Figuur 5 N-opname uit mineralenconcentraat als functie van vochtgehalte en toedieningstechniek.

Gebruik van vloeibare ammoniumnitraat en aangezuurde MC leidde tot de hoogste droge stof-opbrengst.

Ook Klop et al. (2012) vonden de hoogste opbrengst bij vloeibare ammoniumnitraat. De variatie bij de hoogste vochtbehandeling bij PS was groot door twee sterk afwijkende potten (bijlage 1, behandeling 4 vocht 3). De redenen voor de deze sterke verschillen konden niet achterhaald worden.

De minerale N-gehalten in de bodem waren na de twee grassneden bij de meeste potten beneden de detectiegrens ($<0,11 \text{ mg N m}^{-2}$). Alleen bij KAS, NH_4NO_3 en aangezuurde MC was bij de laagste vochtgehalten nog een kleine hoeveelheid mineraal N traceerbaar ($<0,8 \text{ mg N m}^{-2}$). Aangezien de N-opname van de laagste en de hoogste vochtgehalten verschillen (varieert van 0,5 tot $1,1 \text{ g N m}^{-2}$) moet aangenomen worden dat een deel van de N-gift verloren is gegaan of nog in de pot zat.

Tabel 9

Droge stof opbrengst en N-opbrengst (som van eerste en tweede snede; n=4), bij verschillende bodemvochtgehalten (50, 60 en 80%). Zie bijlage 3 voor gegevens van eerste snede en standaarddeviatie.

Behandeling	N gift g / m ²	Droge stof opbrengst (g / m ²)				N-opname (g / m ²) ^a			
		50 %	60 %	80 %	gem. ^b	50 %	60 %	80 %	gem. ^b
Controle	0	30	26	41	32 a	0,4	0,3	0,5	0,4 a
SA; KAS	10,5	190	220	296	235 d	4,9	5,3	6	5,4 d
SA; NH ₄ NO ₃	10,5	220	253	336	269 e	5,1	5,4	6,1	5,5 d
IN; PS	10,0	157	184	247	196 c	3,4	3,9	4,5	3,9 c
SA; MC	6,6	135	167	198	167 b	2,6	3,1	3	2,9 b
IN; MC	6,6	151	170	194	172 b	3,3	3,5	3,8	3,5 c
IN; MC +PS	8,3	165	190	230	195 c	3,6	3,8	4,1	3,8 c
SA; aangezuurd MC	6,6	172	199	271	214 cd	3,3	3,5	4,2	3,7 c
ANOVA ^c		a	b	c		a	a	b	
N bron		<0,001				<0,001			
bodemvocht		<0,001				<0,001			
Nbron*bodemvocht		0,063				0,948			

^aPot oppervlak: 0,0314 m².

^b Gemiddelde.

^c Waarden in kolommen met verschillende letters verschillen significant (P<0,05).

3.2 N-rendement

Zoals eerder gesteld, wordt de vergelijking tussen verschillende behandelingen vertroebeld doordat de N-gift niet bij alle objecten hetzelfde was. De N-rendementen worden niet of nauwelijks beïnvloed door de verschillende N-giften omdat de N-opname bij relatief lage giften lineair gerelateerd is met de N-gift. Dat is ook gebleken in een sterk vergelijkbare proefopzet, die eerder gebruikt is door Ehlert et al. (2012), waarin twee verschillende N-giften werden gebruikt voor KAS en mineralenconcentraten. Verder was de hoeveelheid minerale N die na 58 dagen (twee grassnedes) nog aanwezig was in de bodem verwaarloosbaar laag; alleen bij KAS, NH₄NO₃ en aangezuurde MC kon een beperkte hoeveelheid minerale N worden gemeten (<0,8 mg N m⁻²). Deze hoeveelheid minerale N in de pot is klein ten opzichte van de N-opname door gras, en is daarom niet mee gerekend in de berekening van ANR.

De ANR varieerde van 17 tot 41% bij de eerste grassnede (zie bijlage 3) en van 30 tot 55% voor de som van beide grassnedes (tabel 10), afhankelijk van het bodemvochtgehalte en het bemestingsobject. Het effect van het bodemvochtgehalte op de ANR en NWC was significant voor de eerste grassnede. Bij de totale ANR was er alleen statistisch significant verschil tussen 50 en 60% en 50 en 80%, maar niet tussen 60 en 80% (zie tabel 10). De laagste ANR werd bepaald voor varkensmest (30 - 39%) en oppervlakkig aangebrachte MC (33 - 41%), terwijl de hoogste ANR bepaald werden bij de referentiemeststoffen (KAS en vloeibare NH₄NO₃) en aangezuurde MC (43 - 55%).

Tabel 10

N-elementrendement (ANR) en N-werkingscoëfficiënt (NWC) (n=4) van som van twee snedes, waarbij de behandeling met KAS bij hoogste bodemvocht gesteld is op 100% ^c, of waarbij de behandeling met KAS per vochtgehalte op 100% is gesteld ^d.

Behandeling vocht controle	ANR (%)				NWC (%) ^c				NWC (%) ^d			
	50 %	60 %	80 %	gem. ^a	50 %	60 %	80 %	gem. ^a	50 %	60 %	80 %	gem. ^a
	n/a	n/a	n/a		n/a	n/a	n/a		n/a	n/a	n/a	
SA; KAS	43	47	52	47 bc	82	90	=100%	91 bc	=100%	=100%	=100%	100 bc
SA; NH ₄ NO ₃	45	48	53	49 c	87	93	101	94 c	106	103	101	103 c
IN; PS	30	36	39	35 a	58	69	76	68 a	70	77	76	74 a
SA; MC	33	41	38	37 a	64	79	72	72 a	78	88	72	79 a
IN; MC	44	48	49	47 bc	84	93	93**	90 bc	102	103	93	99 bc
IN; MC +PS	39	42	43	41 ab	74	80	82	79 ab	91	89	82	87 ab
SA; aangezuurd MC	43	48	55	49 c	83	93	106	94 c	101	103	106	104 c
ANOVA ^b	a	ab	b		a	ab	b					
N bron		<0,001				<0,001				<0,001		
bodemvocht		0,012				0,012				0,633		
		0,998				0,998				0,997		
bron*bodemvocht												

^a gemiddelde.

^b waarden in kolommen met verschillende letters verschillen significant (P<0,05).

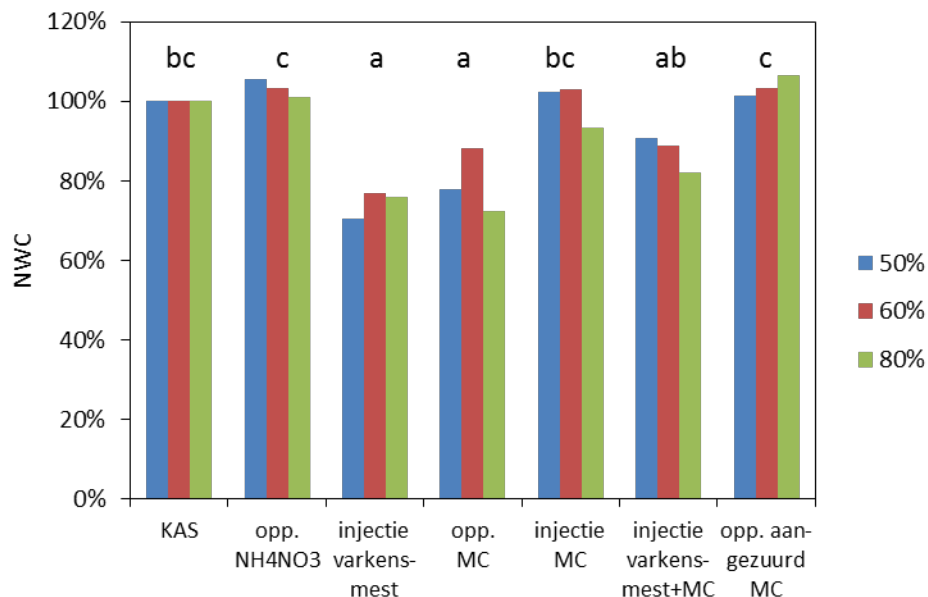
**grote variatie door twee sterk afwijkende potten.

Zoals eerder vermeld, waren er bij de injectie bij mineralenconcentraat bij het hoogste vochtgehalte twee sterk afwijkende potten (IN, MC 80%). Hierdoor is het verschil tussen de oppervlakkig toepassing van MC, en de injectie, niet significant verschillend. Als we specifiek kijken naar de data bij 50% en 60% vocht, dan is de NWC bij injectie significant hoger dan bij oppervlakkig toegediende MC (t-toets p<0,01).

In figuur 6 is een samenvatting van de werkingscoëfficiënten gegeven. In deze figuur is de NWC-gegeven waarbij KAS op 100% is gesteld bij elk afzonderlijk vochtgehalte, in tegenstelling tot tabel 10 waar KAS bij het hoogste vochtgehalte op 100% is gesteld. De NWC van geïnjecteerde MC (IN MC) en aangezuurd MC (acid MC) was statistisch significant gelijk aan die van KAS en vloeibare ammonium nitraat (SA NH₄NO₃).

Het mengsel van varkensmest en mineralenconcentraat had een N-werking die ligt tussen de werkingen van de twee afzonderlijke meststoffen (figuur 6). Er is dus geen interactie waardoor de werking van het mengsel afwijkt van die van de afzonderlijke meststoffen.

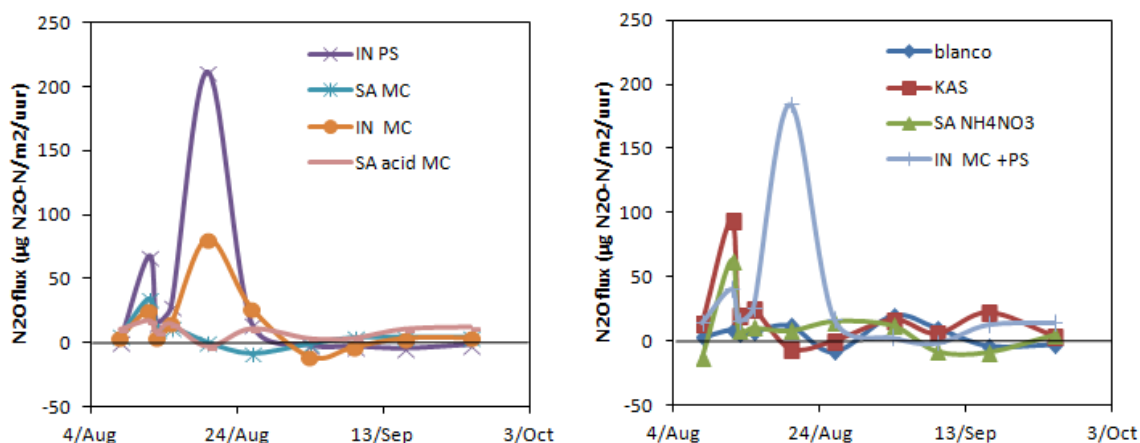
In een potproef van Klop et al. (2012) was de stikstofwerking van oppervlakkig toegediende mineralenconcentraat 36 - 62% % ten opzichte van KAS en die van geïnjecteerde mineralenconcentraat 92%. In een potproef van Ehlert et al. (2012) bedroeg de stikstofwerking van geïnjecteerd mineralenconcentraat 76 - 97%. Alle potexperimenten laten zien dat de stikstofwerking van emissie-arm toegediende mineralenconcentraat onder gecontroleerde omstandigheden vergelijkbaar is met KAS. Er is nog iets organische N aanwezig in mineralenconcentraten, waardoor de werking ten opzichte van KAS geen 100% bedraagt. In veldproeven is de werking lager dan in potproeven. In een serie graslandproeven (2009-2012) van Holshof en Van Middelkoop varieerde de N-werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten tussen 54 en 81% en was gemiddeld 75% ten opzichte van KAS op zand en 58% op klei. De N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat was in deze proeven hoger: 89% op zand en 92% op klei. Mogelijk is het toedienen van N in een vloeibare vorm een oorzaak van de lagere werking van mineralenconcentraten vergeleken met het korrelvormige KAS. Vloeibare meststoffen leiden op grasland vaker tot een lagere opbrengst dan toedienen van korrelmeststoffen. Dit zou samen kunnen hangen met de ruimtelijke verdeling van de N-bemesting. In de potproef leidde vloeibare NH₄NO₃ niet tot een lagere werking dan KAS (figuur 6), hetgeen mogelijk wordt veroorzaakt door de manier van toediening (handmatig in de potproef en met een machine in het veld).



Figuur 6 N-werkingscoëfficiënt (NWC) bij verschillende meststoffen en bodemvochtgehalten. De behandeling met KAS is bij elk afzonderlijk vochtgehalte op 100% gesteld. Waarden met verschillende letters verschillen significant ($P < 0,05$). De verschillen tussen de afzonderlijke vochtgehalten zijn niet significant per meststof (behalve bij de afwijkende potten bij IN MC 80%)(zie bijlage 3, tabel 3).

3.3 Lachgasemissie

In figuur 7 wordt het verloop van de lachgasemissie in de tijd weergegeven. De lachgasemissie nam snel toe na toediening van de meststoffen. De hoogste lachgasemissie trad op één dag na toediening van water rond dag 6 en dag 14.



Figuur 7 Gemiddelde lachgasemissie per behandeling bij de hoogste bodemvochtgehalten (codes uit tabel 7: IN zodebemesting, en SA stroken op oppervlak, KAS kalkammonsalpeter, PS dunne varkensmest, MC mineralenconcentraat).

De N_2O -emissie wordt als nitraat aanwezig is in de bodem, bepaald door het bodemvochtgehalte en de temperatuur (De Klein en Logtestein, 1996). De hoogste N_2O -emissie werd gemeten bij het hoogste vochtgehalte. De totale lachgasemissie was laag (minder dan 1% van de toegediende N). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door relatief lage vochtgehalten. Denitrificatie is optimaal als 100% van de

poriën met water gevuld zijn. Als meer dan 80% van de poriën gevuld zijn neemt de denitrificatie toe, maar is die nog niet zo hoog als 100% van de poriën gevuld zijn (Klein en Logtestijn, 1996). De hoogste lachgasemissie treedt op rond een water-gevuld poriënvolume van 80%, omdat bij volledig zuurstofloze omstandigheden N_2O wordt omgezet in N_2 . De in de potproeven gebruikte grond had een vochtgehalte van 50, 60 en 80% van de vloeigrens en dit komt overeen met een water-gevuld poriënvolume van respectievelijk ongeveer 22, 27 en 37%.

De totale N_2O -emissie uit geïnjecteerde mineralenconcentraat was hoger dan uit oppervlakkig toegediende mineralenconcentraat, maar dit verschil was niet significant (tabel 11). In veldonderzoek van Velthof en Mosquera (2011a) naar N_2O -emissie uit toegediende mest en incubatieproeven van Velthof en Hummelink (2011b) met mineralenconcentraten en mest, was de N_2O -emissie bij inwerken hoger dan bij oppervlakkige toediening. Velthof en Hummelink (2011b) geven aan dat verschillende factoren hierbij een rol spelen zoals i) de hogere N-gift aan de bodem door de lagere ammoniakemissie bij inwerken, ii) het plaatsen van N in diepere lagen, die zuurstofarmer zijn (gunstig voor lachgasproductie) en iii) de lokaal hoge N-concentraties bij injectie en plaatsing.

Er was geen significant verschil in N_2O -emissie tussen mineralenconcentraat en aangezuurd mineralenconcentraat (tabel 11). De N_2O -emissie uit mineralenconcentraat was statistisch significant lager dan die van KAS, waarbij wel moet worden opgemerkt dat de N-gift van mineralenconcentraat lager was dan die van KAS. Dit kan mogelijk hebben bijgedragen aan een lagere emissie. De totale N_2O -emissie was het hoogst bij varkensmest en de combinatie van varkensmest en mineralenconcentraat. Blijkbaar leidde de toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof tot een verhoogde denitrificatie-activiteit (afbreekbare organische stof is een energiebron van bacteriën) of verhoogde zuurstofconsumptie (leidend tot verhoogde denitrificatie activiteit). Klop et al (2012) vonden ook een hoge N_2O -emissie uit varkensmest. Varkensmest bevat gemakkelijke afbreekbare organische stof, vaak in de vorm van vluchtige vetzuren. Mineralenconcentraten bevatten ook vluchtige vetzuren (maar veel minder dan varkensmest) en toediening van mineralenconcentraten leidde tot een verhoogde denitrificatie-activiteit in een studie van Ehlert et al. (2012).

3.4 Ammoniakemissie

De NH_3 -emissie is op één tijdstip bepaald; de dag van de mesttoediening. De dag er na kon geen significante NH_3 -emissie meer worden gemeten. Er is geen totale NH_3 -emissie berekend, omdat niet bekend was hoe de emissie in de tijd is verlopen. NH_3 -emissie wordt in onderstaande tabel daarom uitgedrukt in $\text{g N m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$. De emissiemeting van NH_3 werd herhaald na afloop van de potproef. Er was geen significant verschil tussen beide metingen ($\chi^2=0,369$). Ook bij deze twee meetsessies kon geen emissie meer worden vastgesteld op de dag na de bemesting.

Er waren geen significante verschillen in NH_3 -emissie tussen de verschillende vochtgehalten. Dit was wel verwacht op basis onderzoek van Roelle en Aneja (2002), waarin werd gevonden dat hier mist een stuk tekst. Bemesting had wel een significante invloed op de NH_3 -emissie. De hoogste emissie werd gemeten bij oppervlakkig toegepaste mineralenconcentraten, gevolgd door het geïnjecteerde mengsel van mineralenconcentraat en varkensmest, geïnjecteerde varkensmest en geïnjecteerde mineralenconcentraat. Er werd geen NH_3 -emissie gemeten bij KAS, vloeibare NH_4NO_3 en aangezuurde MC. Het mineralenconcentraat is een ammoniumhoudende meststof met een hoge pH 9. Het is daardoor een meststof met een kans op ammoniakemissie. Velthof en Hummelink (2011) vonden dat bij oppervlakkige toediening de NH_3 -emissie van mineralenconcentraten vergelijkbaar of hoger was dan die van oppervlakkig toegediende varkensmest. Het emissiearm toedienen van mineralenconcentraat leidde tot een forse reductie van de ammoniakemissie, net zoals bij varkensmest. De over alle incubatieproeven van Velthof en Hummelink (2011) gemiddelde ammoniakemissie bij emissiearm toedienen van concentraat was statistisch significant lager dan die van emissiearm toegediende varkensmest.

De in het onderhavige onderzoek maximale NH_3 -emissie bij oppervlakkig toegediende mineralenconcentraat ($1,0 \text{ g N m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$) is relevant ten opzichte van de totale N-bemesting ($0\text{-}10 \text{ g N m}^{-2}$). Het is, zoals eerder aangegeven, onzeker hoe lang deze emissie duurde zodat het niet duidelijk is hoe

hoog de totale NH_3 -emissie is geweest. Aan de andere kant leidt een meetmethode met een gesloten flux kamer, zoals in deze studie is toegepast, ertoe dat de werkelijke emissie onderschat wordt omdat er geen of luchtbeweging is boven het mestoppervlak (Blanes-Vidal et al., 2007). De emissiemetingen van NH_3 mogen daarom niet als absolute waarden gebruikt worden, maar als een maat voor verschillen in NH_3 -emissie tussen de verschillende behandelingen.

In veldproeven van Huijsmans en Hol (2011) gedurende één jaar was de NH_3 -emissie bij zodebemesting bij graan gemiddeld 3% van de met concentraat toegediende ammoniumstikstof en 12% bij toediening via de sleepslangendoseermachine. Op grasland bedroeg de ammoniakemissie bij zodebemesting bij grasland gemiddeld 8% van de toegediende ammoniumstikstof bij concentraat en 26% bij runderdrijfmest. De ammoniakemissie bij zodebemesting bij aardappelen was in 2010 16-20% van de toegediende ammoniumstikstof bij toediening met een sleepslangendoseermachine.

Het aanzuren van mineralenconcentraat resulteerde tot een te verwaarlozen emissie van NH_3 . Het aanzuren van mest wordt in Denemarken gezien als een goede technologie om NH_3 -emissies uit mest te beperken, en bij een praktijksituatie met varkensdrijfmest leidde het tot een emissiereductie van 70% tijdens opslag en 67% tijdens uitrijden bij een tot een pH van 6,3 (Kai, 2008). Naast emissie-arme toediening kan het risico op ammoniak-emissie na toediening van mineralenconcentraten ook worden beperkt door het aanzuren van het concentraat. In een studie van Bussink et al. (1994) werd de ammoniakemissie uit dunne rundermest oppervlakkig toegediend aan grasland met 85, 72 en 55%, gereduceerd door aanzuren van mest tot respectievelijk een pH van 4,5, 5,0 en 6,0. Het moet wel worden aangegeven dat er verschillende nadelen kleven aan aanzuren, zoals schuimvorming, benodigde hoeveelheid zuur (en veiligheidsaspecten bij gebruik van zuur) en het feit dat er met zuur ook een anion (sulfaat, nitraat, chloor of organische anionen) wordt toegediend die tot bepaalde effecten kan leiden.

Tabel 11

*Gemiddelde en standaarddeviatie van gemiddelde N_2O -emissies gedurende de potproef ($n=40$), en de gemiddelde NH_3 -emissie op dag van de behandeling ($n = 6^{**}, 7^*$ or 8).*

Treatment vocht	N_2O -N emission ($\text{mg N m}^{-2} 56 \text{ dag}^{-1}$)				NH_3 -N emission ($\text{g N m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$)		
	50 %	60 %	80 %		50 %	60 %	80 %
controle	2 ± 3	5 ± 4	6 ± 2	ab	$0 \pm 0^{**}$	$0 \pm 0^{**}$	$0 \pm 0^{**}$
SA; KAS	17 ± 3	11 ± 5	19 ± 1	c	0 ± 0	0 ± 0	$0 \pm 0^*$
SA; NH_4NO_3	-2 ± 3	2 ± 3	10 ± 4	a	$0 \pm 0^{**}$	$0 \pm 0^{**}$	$0 \pm 0^{**}$
IN; PS	12 ± 5	21 ± 9	34 ± 10	d	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	$0.2 \pm 0.1^*$
SA; MC	3 ± 3	11 ± 4	6 ± 4	ab	$0.9 \pm 0.2^{**}$	$0.6 \pm 0.3^{**}$	1.0 ± 0.3
IN; MC	9 ± 5	3 ± 6	16 ± 11	b	$0.1 \pm 0.1^{**}$	$0.1 \pm 0.2^{**}$	0.2 ± 0.4
IN; MC +PS	17 ± 12	11 ± 10	37 ± 12	d	$0.4 \pm 0.3^{**}$	$0.4 \pm 0.2^{**}$	0.4 ± 0.2
SA; aangezuurd MC	-1 ± 5	-3 ± 5	10 ± 8	a	$0 \pm 0^{**}$	$0 \pm 0^{**}$	0 ± 0
ANOVA	a	a	b				
N bron		$<0,001$				$\chi^2 < 0,001$	
bodemvocht		$<0,001$				$\chi^2 = 0,407$	
N bron*bodemvocht		0,002					

4 Conclusies

De belangrijkste resultaten van de potproef worden opgesomd.

- Het vochtgehalte had een duidelijk effect op de droge stof- en stikstofopbrengst bij alle meststoffen, maar niet op de N-werkingscoëfficiënt.
- De N-werkingscoëfficiënt van geïnjecteerd mineralenconcentraat (MC) bedraagt 104% ten opzichte van kalkammonsalpeter (KAS) en is daarmee vrijwel gelijk aan de N-werkingscoëfficiënt van vloeibare NH_4NO_3 t.o.v. KAS (103%). De werking van geïnjecteerde varkensmest was beduidend lager: 74% ten opzichte van KAS.
- De werking van geïnjecteerd mineralenconcentraat (99%) was hoger dan die van oppervlakkig in stroken toegediende mineralenconcentraat (79%).
- De werking van oppervlakkig toegediende aangezuurde mineralenconcentraat was gelijk aan die van KAS en vloeibare NH_4NO_3 .
- De N_2O -emissie uit mineralenconcentraat was lager dan die van KAS, waarbij wel moet worden opgemerkt dat de N-gift van mineralenconcentraat lager was dan die van KAS. De totale N_2O -emissie was het hoogst bij varkensmest en de combinatie van varkensmest en mineralenconcentraat. Dit geeft aan dat de toediening van organische stof met varkensmest een belangrijke factor is die de N_2O -emissie bepaald.
- De NH_3 -emissie van aangezuurd mineralenconcentraat was verwaarloosbaar, net zoals die van KAS en NH_4NO_3 . Er trad NH_3 -emissie op uit mineralenconcentraat (oppervlakkig toegediend en geïnjecteerd), geïnjecteerde varkensmest en de geïnjecteerde combinatie van varkensmest en mineralenconcentraat.

De resultaten geven aan dat maatregelen die NH_3 -emissie uit mineralenconcentraten reduceren, leiden tot een verhoging van de stikstofwerking. Een volledige reductie van de ammoniakemissie door aanzuren leidde tot een meststof met dezelfde stikstofwerking als kunstmest. Het in de praktijk toepassen van emissie-arme toedieningstechnieken of het aanzuren van mineralenconcentraat leiden tot een beter stikstofwerking van mineralenconcentraten.

Referenties

- Bussink, D.W., Huijsmans, J.F.M., EN J.J.M.H. Ketelaars, 1994. Title Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry surface applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42, pp. 293- 309.
- Chaoui, H., F. Montes, C.A. Rotz en T.L. Richard, 2009. Volatile ammonia fraction and flux from thin layers of buffered ammonium solution and dairy cattle manure. *Transactions of the ASABE*, 52, 1695-1706.
- DeKlein, C.A.M. en R.S.P. VanLogtestijn, 1996. Denitrification in grassland soils in The Netherlands in relation to irrigation, N-application rate, soil water content and soil temperature. *Soil Biology & Biochemistry*, 28, 231-237.
- Ehlert, P., J. Nelemans en G.L. Velthof, 2012. Stikstofwerking van mineralenconcentraten: stikstofwerkingscoëfficiënten en verliezen door denitrificatie en stikstofimmobilisatie bepaald onder gecontroleerde omstandigheden, Alterra-rapport 2292, Wageningen UR, Wageningen.
- Hoeks, P., van, J.C. Middelkoop, A.P. Philipsen, B. Talens, D.W. Bussink, A.J. Bos, W. van Dijk, J. J. Schröder, G. Abbink en N. van Eekeren, 2012. Bemestingsadvies, Animal Sciences Group, Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, Lelystad.
- Houba, V.J.G., E.J.M. Temminghoff, G.A. Gaikhorst en W. van Vark, 2000. Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31, 1299-1396.
- Huijsmans, J.F.M. en J.M.G. Hol, 2011. Ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat op beteeld bouwland en grasland. *Plant Research International* 398, Wageningen, 26 p.
- Geel, van W., W. van den Berg, W. van Dijk en R. Wustman, 2011. Aanvullend onderzoek mineralenconcentraten 2009-2010 op bouwland en grasland. Samenvatting van de resultaten uit de veldproeven en bepaling van de stikstofwerking. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Wageningen. PPO nrs. 32 501 792 00 en 32 501 793 00.
- Geel, van W., W. van den Berg, en W. van Dijk, 2012. Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. PPO rapport nr. 475, *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Wageningen.
- Kai, P., P. Pedersen, J.E. Jensen, M.N. Hansen en S.G. Sommer, 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *Europ. J. Agronomy* 28, 148–154.
- Klop, G., G.L. Velthof en J.W. van Groenigen, 2012. Application technique affects the potential of mineral concentrates from livestock manure to replace inorganic nitrogen fertilizer. *Soil Use and Management*, 28, 468-477.
- Lubbers, I.M., L. Brussaard, W. Otten en J.W. van Groenigen, 2011. Earthworm-induced N mineralization in fertilized grassland increases both N₂O emission and crop-N uptake. *European Journal of Soil Science*, 62, 152-161.
- Novozamsky, I., V.J.G. Houba, R. Vaneck en W. Vanvark, 1983. A novel digestion technique for multi-element plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14, 239-248.
- Roelle, P.A. en V.P. Aneja, 2002. Characterization of ammonia emissions from soils in the upper coastal plain, North Carolina. *Atmospheric Environment* 36, 1087–1097.
- Rom, H.B. en G.Q. Zhang, 2010. Time Delay for Aerial Ammonia Concentration Measurements in Livestock Buildings. *Sensors*, 10, 4634-4642.
- Rose A.J., S. Muktar, R.E. Lacey, B.W. Shaw en C.B. Parnell, 2003. Assessment of Ammonia Adsorption on to Polymer Tubing. Paper number 034106, An ASAE meeting presentation. Written for presentation at the 2003 ASAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE Riviera Hotel and Convention Center Las Vegas, Nevada, USA 27- 30 July 2003
- Schmohl, A., A. Miklos en P. Hess, 2001. Effects of adsorption-desorption processes on the response time and accuracy of photoacoustic detection of ammonia. *Applied Optics*, 40, 2571-2578.
- van Geel, W. en van W. Dijk, 2013. Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en risico's : deskstudie in het kader van Energierijk, ACRRES Wageningen UR, Lelystad.

-
- van Middelkoop, J.C. en G. Holshof, 2012. Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland = N fertilizer value of mineral concentrates on grassland, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Velthof, G.L. en O. Oenema, 1995. Nitrous oxide fluxes from grasslands in the Netherlands. I. Statistical analysis of flux chamber measurements. *Eur. J. Soil Sci.* 46, 533–540.
- Velthof, G.L. 2011. Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten, Alterra –rapport 2211, Wageningen UR, Wageningen.
- Velthof, G.L., 2013. Mineral Concentrates Pilot; synthesis of the results of 2011. Alterra report 2363, Wageningen UR, Wageningen.
- Velthof G.L. en E. Hummelink 2011a. Ammoniak- en lachgasemissie na toediening van mineralenconcentraten. Resultaten van laboratoriumproeven in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2180. 46 blz
- Velthof, G.L. en J. Mosquera, 2011b. The impact of manure application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, pp. 298-308.
- VROM, 2002. Regeling ammoniak en veehouderij. *Staatscourant* 1 mei 2002, 82, Den Haag.
- Zhang, W., Z. Wu en Q. Yu, 2007. Photoacoustic spectroscopy for fast and sensitive ammonia detection. *Chinese Optics Letters*, 5, 677-679.

Bijlage 1 Metingen per pot

Tabel 1

Opbrengst en grasanalyses per pot. De mest (behandeling) en vochtcodes zijn te vinden in resp. tabel 7 en tabel 4 van de tekst.

pot nummer	mest	vocht	Gras 1 ^e snede				Gras 2 ^e snede				bodem		
			massa	ds	N	P	massa	ds	N	P	N-NH4	N-NO3	vocht
			g	%	g / kg	g / kg	g	%	g / kg	g / kg	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%
12	1	1	0.71	40	12.9	3.36	0.207	20	15.2	3.41	0	0	9.5
13	1	1	0.37	37	13.1	3.78	0.257	16	13.8	3.57	0.1	0	9.8
14	1	1	0.38	35	14.2	3.67	0.48	22	12.7	3.07	0.1	0	9.4
66	1	1	0.61	42	12.1	3.53	0.19	14	13.6	3.67	0	0	9.8
15	1	2	0.36	35	13.9	2.97	0.431	22	12	2.66	0.1	0	7.3
22	1	2	0.47	34	13.2	3.03	0.533	25	11	2.6	0	0	7.6
24	1	2	0.64	37	14.4	3.11	0.49	21	13.4	2.92	0.1	0	7.4
62	1	2	0.41	38	13.1	3.09	0.462	22	12.4	3.02	0.1	0	7.7
9	1	3	1.05	38	12.2	3.76	0.399	18	15.4	4.22	0.1	0	12.7
59	1	3	0.71	43	11.7	3.82	0.566	22	13.7	4.19	0.1	0	13
78	1	3	0.76	37	12.1	3.84	0.513	20	15	4.32	0.1	0	12.5
84	1	3	0.66	37	12.6	3.79	0.532	20	14.4	4.18	0.1	0	12.3
32	2	1	3.49	26	33.2	3.15	3.543	26	19.7	2.94	2.2	0.3	9.4
25	2	1	3.66	26	28.2	2.92	2.348	24	19.3	2.76	0.8	1	10.4
30	2	1	5.52	26	23.7	2.36	2.301	25	17.7	2.96	0.5	0.1	9.5
37	2	1	4.08	26	25.8	2.75	2.672	26	18.4	2.79	0.6	0.3	9.5
36	2	2	3.49	29	28.2	2.79	3.585	27	19.3	2.52	0.9	0.5	7.5
49	2	2	1.93	26	34.1	2.83	3.16	25	22.7	2.54	5.9	7.7	7.1
50	2	2	2.7	30	32.9	2.6	2.766	26	21	2.6	0.6	0.5	7.6
64	2	2	2.89	27	30.9	2.94	3.324	26	21.4	2.48	0.4	0.2	7.6
68	2	3	7.92	26	20	2.71	2.612	26	15.2	3.66	0.2	0	13.1
81	2	3	6.29	25	22	2.44	2.56	27	15.8	3.45	0.1	0.1	13.7
87	2	3	6.85	25	22.7	2.4	2.538	26	16.3	3.73	0.5	0	13
100	2	3	5.32	26	24.6	2.41	3.071	28	16	3.33	0.2	0.1	12.9
52	3	1	4.8	29	24.5	2.64	3.669	30	16.3	2.91	0.3	0.1	9.6
54	3	1	4.75	29	23.1	2.47	3.008	30	16.7	2.89	0.4	0.1	9.7
73	3	1	5.16	29	25.4	2.45	2.783	30	16.6	2.85	0.4	0.1	8.5
88	3	1	4.65	28	24.8	2.56	2.894	29	17.5	2.86	0.4	0.1	9.9
56	3	2	3.66	30	27.9	2.71	2.674	27	19.3	2.85	0.3	0.1	7.3
57	3	2	3.63	27	25	2.57	2.618	26	20.7	2.77	0.6	0.3	7.3
91	3	2	4.24	27	25.1	2.66	3.718	29	19.2	2.56	0.3	0.2	6.3
96	3	2	3.97	28	26.1	2.68	3.138	29	20.7	2.81	0.7	0.2	7.1
4	3	3	6.46	27	19.4	2.07	2.851	31	14.9	3.48	0	0	13.1
27	3	3	8.62	27	17.5	2.58	3.571	30	13.6	3.62	0.2	0	12.6
89	3	3	8.06	28	19.1	2.61	3.253	29	15.9	3.76	0.1	0	12.5
98	3	3	6.44	27	22	2.26	2.921	27	16.2	3.67	0.2	0	12.3
10	4	1	3.37	26	27	3.27	2.96	28	13.7	3.66	0.2	0	8.7
38	4	1	3.11	27	26.3	2.91	2.387	27	15	3.56	0.1	0	8.9
65	4	1	2.28	26	31.5	2.91	2.684	25	15.8	3.44	0.1	0	9.6
77	4	1	3.33	24	26.2	3.05	2.992	27	14.1	3.27	0	0	8.8
16	4	2	2.33	27	29.1	3.26	2.896	27	15.8	3.15	0.2	0	6.6
34	4	2	2.05	27	27.4	2.9	2.586	26	15.9	2.89	0	0	6.9
44	4	2	2	29	26.9	2.67	2.971	26	16.7	2.97	0.1	0	6.9
53	4	2	1.84	27	30.4	2.97	3.055	26	17.9	3.33	0.2	0.1	7.3
51	4	3	5.64	26	19.8	3.49	2.389	25	14.5	4.83	0	0	12.3
67	4	3	5.01	24	20.2	3.46	2.654	26	13.6	4.61	0.2	0	12.2
86	4	3	5.25	26	19.5	3.21	2.245	26	14.5	4.85	0.1	0	11.8
94	4	3	5.11	25	20.8	3.15	2.679	28	13.6	4.51	-0.1	0	12.6
40	5	1	3.1	29	20.1	2.91	2.37	29	14.1	3.59	0	0	9.8
63	5	1	3.63	28	20.9	3.04	1.832	26	14.3	3.51	0.1	0	9.6

pot nummer	mest	vocht	Gras 1 ^e snede				Gras 2 ^e snede				bodem		
			massa	ds	N	P	massa	ds	N	P	N-NH4	N-NO3	vocht
			g	%	g / kg	g / kg	g	%	g / kg	g / kg	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%
76	5	1	3.07	30	21.4	2.5	2.128	28	14.2	3.74	0	0	9.4
79	5	1	3.31	28	20.8	2.82	1.556	25	15	3.78	0	0	9.8
6	5	2	1.61	29	24.6	2.84	1.897	25	16.2	3.35	0.5	0.1	8
17	5	2	2.84	30	21	2.77	1.747	27	14	3.17	0.2	0.1	7.9
70	5	2	2.23	26	23.5	3.28	2.142	27	14.7	3.32	0.1	0	7.3
90	5	2	2.87	27	21.9	3.23	1.67	26	14.4	3.53	0	0	9
39	5	3	4.22	27	16.7	3.23	1.865	27	12.9	4.17	0	0	11.2
55	5	3	5.45	27	14.7	3.06	1.222	23	14.9	4.89	0.1	0	14.2
83	5	3	4.05	27	17.6	3.23	2.286	28	13.2	4.13	0	0	12.4
92	5	3	4.17	28	15.6	3.01	1.562	27	14.1	4.58	0	0	13.2
18	6	1	2.67	26	29.4	3.1	2.922	30	14.2	3.39	0.1	0	9.4
19	6	1	3.02	26	25.4	2.81	2.614	28	14	3.12	-0.1	0	9
26	6	1	2.87	29	24.7	2.33	1.955	27	15.9	3.32	0.1	0.1	9.4
82	6	1	3.03	27	25.2	2.52	2.28	28	13.9	3.22	0	0	9.2
48	6	2	2.28	26	27.8	2.77	2.622	28	15.2	2.96	-0.1	0	6.9
60	6	2	1.82	27	30.6	2.76	2.736	28	16.1	2.94	0.1	0.1	7.1
75	6	2	2.24	26	31	2.71	2.877	29	15.7	2.82	0.2	0	7.5
80	6	2	1.47	26	32.5	2.84	2.919	28	16.3	2.91	0.1	0.1	6.7
46	6	3	5.15	26	18.3	2.73	2.512	29	13.3	4.25	0	0	12.4
47	6	3	0.94	37	11.9	3.69	0.67	28	14.6	4.46	0.1	0	13.4
85	6	3	5.32	22	30.3	2.56	3.912	28	14.2	3.79	0.1	0	11.3
95	6	3	3.82	25	19.9	2.79	2.07	30	14.7	4.58	0.1	0	12.8
20	7	1	2.96	27	25.6	2.78	2.657	31	14.3	3.29	0.1	0	9.7
29	7	1	3.87	27	21	2.91	2.629	31	13.6	3.66	0.1	0	8.9
74	7	1	2.97	27	26	2.76	2.479	28	14.5	3.69	0.3	0.1	9.1
97	7	1	3.85	26	24.7	3.37	2.452	27	14.8	3.89	0	0	9.1
31	7	2	2.89	28	26.3	2.62	2.17	27	15.6	3.32	0.1	0.1	7.3
3	7	2	2.97	27	26.2	2.84	2.555	29	14.3	3.15	0.2	0	6.9
7	7	2	2.83	28	27.3	2.64	2.475	25	15.9	3.04	0.1	0.1	7
61	7	2	2.57	25	29.7	3.03	2.244	27	15.6	3.35	0.1	0.1	7.1
21	7	3	5.44	25	19.4	3	2.25	25	15	4.46	0	0	9.6
33	7	3	5.83	27	17.3	2.99	1.925	25	15.5	4.68	0.1	0	12.7
69	7	3	4.73	26	19.6	2.81	2.135	25	15.2	4.67	0.1	0	12.5
93	7	3	5.1	28	18.4	2.63	1.474	23	15.7	5.27	0.1	0	12.5
8	8	1	4.38	28	18	2.63	2.099	28	13.7	3.22	0.2	0	10
11	8	1	3.96	30	18.6	2.65	2.727	28	14.5	3.14	0.2	0	9.1
23	8	1	3.39	30	22.2	2.53	2.073	27	15.7	3.25	0	0	9.1
41	8	1	4.17	29	19.6	2.69	2.255	28	15	3.6	0.1	0	9.2
2	8	2	2.71	28	25.4	2.82	2.533	29	15.4	3.16	1	0.1	6.9
42	8	2	3.47	29	18.7	2.32	2.223	28	15.2	2.76	1.2	0.1	7.2
43	8	2	3.34	29	21.3	2.7	2.596	29	15.5	2.85	0.3	0.1	7.1
45	8	2	2.4	29	21.1	2.56	2.375	26	16.9	2.93	0.7	0.1	7.6
28	8	3	5.95	27	16.1	2.86	2.342	27	13.9	3.95	0	0	12.8
35	8	3	6.86	28	16.3	3.05	2.128	26	15.2	4.34	0	0	13.7
72	8	3	5.3	26	16.3	2.95	2.868	29	12.9	4.01	0.2	0	12.6
99	8	3	6.32	27	15.7	2.81	2.292	28	14.4	4.36	0	0	12.3

Bijlage 2 Gasanalyses

Tabel 1

Lachgas en ammoniakemissie tijdens potproef. Lachgas flux in $\mu\text{g N}_2\text{O-N/m}^2/\text{uur}$ (meetijd 30 minuten) en $\text{NH}_3\text{-N}$ emissie in $\mu\text{g NH}_3\text{-N/m}^2/\text{sec}$ (meetijd 4 minuten). Berekend bij 16 °C (23,7 L/mol) en potoppervlak van 314 cm^2 .

mest	vocht	pot	N ₂ O											NH ₃	
			08/08	12/08	13/08	15/08	20/08	26/08	03/09	09/09	16/09	25/09	6/08	7/10	
1	1	12	8	0	1	-8	15	19	7	-3	23	-1	0	0	
1	1	13	-6	-2	3	-10	-4	4	13	-5	21	10	0		
1	1	14	-5	-20	9	-2	-2	9	8	-18	12	-4	0	0	
1	1	66	-8	-2	-3	-24	-11	15	12	-14	25	11	0		
1	2	15	7	10	-8	-16	-9	-9	7	13	-11	0	0	0	
1	2	22	1	-5	12	2	-5	13	10	2	-7	21	0		
1	2	24	14	2	1	-3	-14	8	4	6	-2	-1	0	0	
1	2	62	2	-1	5	8	-14	2	11	4	-14	5	0		
1	3	9	-1	13	9	2	16	-9	30	10	3	-4	0	0	
1	3	59	7	4	-5	-1	9	-6	10	11	0	0	0		
1	3	78	-6	14	9	10	9	-17	15	4	-11	12	0	0	
1	3	84	12	6	12	19	14	0	25	16	-4	-18	0		
2	1	32	1	88	1	-6	15	0	31	-1	9	-1	0	0	
2	1	25	28	63	9	2	16	5	4	2	14	-12	0	0	
2	1	30	13	-4	-8	9	-2	1	9	3	14	0	0	0	
2	1	37	17	73	5	-4	9	-6	21	-6	14	-1	0	0	
2	2	36	16	60	3	14	9	24	31	5	18	-3	0	0	
2	2	49	13	71	4	12	13	2	14	1	14	0	0	0	
2	2	50	6	62	28	9	-1	18	15	-4	5	11	0	0	
2	2	64	-2	69	4	17	3	14	24	-7	7	6	0	0	
2	3	68	7	94	7	20	-8	1	25	10	18	5	0	0	
2	3	81	13	87	14	16	-9	0	26	0	26	5	0	0	
2	3	87	34	121	46	48	-5	-4	5	7	18	0	0		
2	3	100	-2	74	14	16	-1	4	10	6	28	6	0	0	
3	1	52	29	10	7	12	-8	14	-1	7	-5	-17	0	0	
3	1	54	13	11	8	-10	-23	-2	8	20	-9	5	0		
3	1	73	17	15	-1	19	-9	22	4	13	-5	-9	0	0	
3	1	88	18	-3	2	2	-9	13	-3	12	-3	-14	0		
3	2	56	0	-1	-4	4	0	-9	9	1	10	-8	0	0	
3	2	57	0	-2	-2	9	-13	-8	-1	-5	3	-13	0		
3	2	91	7	-2	19	12	-18	-22	8	7	-9	3	0	0	
3	2	96	8	-12	0	-13	-6	-6	5	4	1	-1	0		
3	3	4	-8	66	-1	9	7	16	-2	-30	-14	11	0	0	
3	3	27	-18	60	12	2	5	28	35	3	-15	3	0		
3	3	89	-22	76	9	14	4	0	17	-3	-4	5	0	0	
3	3	98	-5	47	13	17	16	17	-2	0	-1	0	0		
4	1	10	10	46	28	38	49	33	-3	2	5	-14	2	2	
4	1	38	3	54	-7	21	31	16	21	4	-1	-6	1	0	
4	1	65	3	56	18	23	97	66	37	10	-10	-2	1	0	
4	1	77	5	53	16	47	45	34	8	14	1	-16	2	1	
4	2	16	-3	30	12	13	9	26	63	-8	8	-12	1	2	
4	2	34	3	38	0	10	11	29	6	-16	5	1	3	0	
4	2	44	-5	81	16	25	7	3	-9	-1	4	-13	3	1	
4	2	53	2	56	28	19	9	17	3	12	6	2	2	2	
4	3	51	-2	65	21	47	264	39	0	0	12	3	4	1	
4	3	67	6	67	19	18	225	10	-4	-3	-17	-4	2	2	
4	3	86	2	63	6	15	203	5	-14	0	-4	2	1	2	
4	3	94	-2	76	18	34	154	9	11	-8	-7	-7	2		
5	1	40	4	34	-5	21	9	20	-10	8	12	12	11	4	
5	1	63	-8	36	-5	25	6	27	-12	15	5	4	11		
5	1	76	9	59	4	29	9	29	7	7	0	0	10	7	

5	1	79	-8	24	-2	27	9	3	-7	10	2	2	6	
5	2	6	1	9	-6	4	-7	9	2	25	6	6	12	10
5	2	17	6	-1	-10	-2	-5	-1	-5	14	3	3	7	
5	2	70	-1	9	7	-12	-16	6	-11	34	0	0	13	9
5	2	90	3	12	2	-14	3	-18	1	13	5	5	12	
5	3	39	1	40	16	23	-11	7	2	18	5	4	12	9
5	3	55	11	21	2	6	7	-23	7	1	0	0	6	14
5	3	83	5	43	14	16	-2	0	-5	2	10	10	15	11
5	3	92	6	34	13	6	10	-14	-5	-3	6	6	9	12
6	1	18	6	19	6	-15	19	15	12	15	-8	-9	0	0
6	1	19	-3	20	7	2	-7	-21	20	-5	0	1	5	
6	1	26	23	6	14	-14	15	18	-5	-1	8	8	1	0
6	1	82	0	10	12	-1	4	-2	-11	4	-10	-11	0	
6	2	48	8	44	-11	-4	1	13	18	-8	13	14	2	0
6	2	60	8	39	-15	-7	1	25	5	-5	0	1	0	
6	2	75	14	19	-10	-13	9	5	1	-2	0	0	0	1
6	2	80	4	25	-3	-12	5	20	22	-12	9	10	1	
6	3	46	8	41	10	31	91	24	-18	-3	23	25	0	1
6	3	47	-6	17	-8	-4	13	16	-5	0	-4	-4	0	0
6	3	85	10	18	11	19	111	59	2	-2	-5	-5	15	2
6	3	95	6	27	5	15	112	10	-24	-9	0	0	3	2
7	1	20	2	17	6	16	7	-3	-2	5	-4	-5	4	5
7	1	29	4	32	16	16	53	4	4	3	-7	-8	2	
7	1	74	22	12	-12	13	27	22	47	13	14	16	8	5
7	1	97	-5	7	-2	30	14	27	8	7	-9	-10	3	
7	2	31	-5	20	30	-10	10	75	14	-7	8	9	3	10
7	2	3	-2	9	2	-7	-4	12	59	-17	-3	-4	5	
7	2	7	-4	6	19	-1	15	31	139	-2	2	2	3	6
7	2	61	-11	21	19	-7	2	43	-4	-21	8	9	9	
7	3	21	-7	38	5	26	143	14	3	8	18	20	2	4
7	3	33	29	26	13	9	104	13	4	0	21	23	5	10
7	3	69	22	51	30	31	127	24	2	5	8	9	2	4
7	3	93	15	49	16	38	365	20	2	-18	5	6	4	4
8	1	8	-1	-7	-4	-8	-5	-4	5	3	-17	-20	-1	0
8	1	11	4	9	-6	61	-10	-5	0	10	3	3	0	
8	1	23	5	10	-17	-11	-2	-10	7	-9	-6	-7	0	0
8	1	41	15	16	3	-17	-5	-16	-3	0	-5	-6	0	
8	2	2	2	5	-28	-10	12	-17	5	13	-7	2	0	0
8	2	42	-4	4	3	-2	17	-5	3	-1	-12	-5	0	
8	2	43	41	1	-11	4	2	-19	0	3	-23	-17	0	0
8	2	45	-6	13	4	-3	4	-11	16	4	0	8	0	
8	3	28	15	-4	4	21	-10	8	-2	2	1	1	0	0
8	3	35	7	32	11	26	-2	20	12	11	20	23	0	0
8	3	72	12	27	12	14	0	14	1	1	14	16	0	0
8	3	99	8	14	5	-1	1	3	1	0	8	9	0	1

Bijlage 3 Samenvatting resultaten

Tabel 1

Gemiddelde en standaarddeviatie van droge stof opbrengst en N opbrengst (n=4).

behandeling	Droge stof opbrengst (g / m ²)			N-opname (g / m ²) ^a			Mineral N in soil (g / m ²) ^b					
	% vocht	50	60	80		50	60	80		50	60	80
1° gras snede												
Controle	15 ±4	16 ±5	25 ±6	a	0,2 ±0,1	0,2 ±0,1	0,3 ±0,1	a	n/a			
SA; KAS	88 ±20	133±29	210 ±35	e	2,7 ±0,4	3,6 ±0,4	4,6 ±0,4	e				
SA; NH ₄ NO ₃	123 ±9	154 ±7	236 ±36	f	3,2 ±0,2	3,8 ±0,3	4,6 ±0,4	e				
IN; PS	65 ±6	96 ±16	167 ±9	c	1,9 ±0,2	2,6 ±0,3	3,4 ±0,2	cd				
SA; MC	76 ±19	104 ±8	142 ±21	bc	1,7 ±0,3	2,2 ±0,2	2,3 ±0,2	b				
IN; MC	62 ±12	92 ±5	121 ±65	b	1,9 ±0,3	2,4 ±0,1	2,7 ±2	bc				
IN; MC +PS	90 ±6	109±16	168 ±15	cd	2,4 ±0	2,6 ±0,3	3,1 ±0,2	d				
SA; aangezuurd MC	95 ±16	127±14	195 ±21	de	2 ±0,3	2,5 ±0,1	3,1 ±0,3	cd				
ANOVA ^c	A	b	C		a	b	C					
N bron		<0,001			<0,001							
bodemvocht		<0,001			<0,001							
Nbron*bodemvocht		<0,001			0,118							
som 1° and 2° gras snede												
Controle	30 ±5	26 ±4	41 ±3	a	0,4 ±0,1	0,3 ±0,1	0,5 ±0	a	<0,11	<0,11	<0,11	
SA; KAS	190 ±28	220 ±24	296 ±29	d	4,9 ±0,4	5,3 ±0,5	6 ±0,3	d	0,8±1,2	0,3±0,2	0,1±0	
SA; NH ₄ NO ₃	220 ±25	253 ±13	336 ±46	e	5,1 ±0,5	5,4 ±0,3	6,1 ±0,5	d	0,1±0,1	<0,11	<0,11	
IN; PS	157 ±8	184 ±21	247 ±7	c	3,4 ±0,2	3,9 ±0,3	4,5 ±0,2	c	<0,11	<0,11	<0,11	
SA; MC	135 ±16	167 ±9	198 ±13	b	2,6 ±0,2	3,1 ±0,1	3 ±0,2	b	<0,11	<0,11	<0,11	
IN; MC	151 ±10	170 ±12	194	b	3,3 ±0,3	3,5 ±0,2	3,8 ±2,6	c	<0,11	<0,11	<0,11	
IN; MC +PS	165 ±10	190 ±16	230 ±19	c	3,6 ±0,1	3,8 ±0,3	4,1 ±0,3	c	<0,11	<0,11	<0,11	
SA; aangezuurd	172 ±6	199 ±17	271 ±12	cd	3,3 ±0,3	3,5 ±0,1	4,2 ±0,3	c	0,2±0,1	<0,11	<0,11	
ANOVA ^c	a	b	c		a	a	b					
N bron		<0,001			<0,001							
bodemvocht		<0,001			<0,001							
Nbron*bodemvocht		0,063			0,948							

^apot oppervlak: 0,0314 m². ^b 6,51 kg droge grond per pot. ^c waarden in kolommen met verschillende letters verschillen significant (P<0,05).

Tabel 2

N elementrendement (ANR) en N werkingscoëfficiënt (NWC) (n=4), waarbij de behandeling met KAS bij 80% maximaal bodemvocht gesteld is op 100%.

behandeling	% vocht	ANR (%)				NWC (%)			
		50	60	80		50	60	80	
1 ^e gras snede									
controle		n/a	n/a	n/a		n/a	n/a	n/a	
SA; KAS		24 ± 4	32 ± 4	41 ± 4	bc	58 ± 10	79 ± 9	=100%	bc
SA; NH ₄ NO ₃		29 ± 2	34 ± 3	40 ± 4	c	69 ± 5	82 ± 7	98 ± 9	c
IN; PS		17 ± 2	24 ± 3	31 ± 2	a	40 ± 5	59 ± 6	74 ± 4	a
SA; MC		23 ± 5	30 ± 3	30 ± 3	ab	55 ± 12	72 ± 7	72 ± 7	ab
IN; MC		25 ± 5	33 ± 2	37 ± 30	bc	61 ± 11	80 ± 4	89 ± 72	bc
IN; MC +PS		27 ± 0	29 ± 3	34 ± 2	bc	66 ± 1	70 ± 8	82 ± 6	bc
SA; aangezuurd MC		28 ± 4	34 ± 2	43 ± 5	c	67 ± 11	82 ± 4	103 ± 12	c
ANOVA ^a		a	b	c		a	b	c	
N bron			0,005				0,005		
bodemvocht			<0,001				<0,001		
Nbron*bodemvocht			0,97				0,97		
1 ^e and 2 ^e gras snede									
controle		n/a	n/a	n/a		n/a	n/a	n/a	
SA; KAS		43 ± 4	47 ± 5	52 ± 3	bcd	82 ± 8	90 ± 6	=100%	bcd
SA; NH ₄ NO ₃		45 ± 4	48 ± 3	53 ± 5	cd	87 ± 9	93 ± 5	101 ± 10	cd
IN; PS		30 ± 2	36 ± 3	39 ± 2	d	58 ± 5	69 ± 5	76 ± 3	d
SA; MC		33 ± 4	41 ± 2	38 ± 3	a	64 ± 7	79 ± 4	72 ± 6	a
IN; MC		44 ± 4	48 ± 4	49 ± 39	ab	84 ± 8	93 ± 7	93 ± 74	ab
IN; MC +PS		39 ± 1	42 ± 3	43 ± 4	cd	74 ± 2	80 ± 6	82 ± 7	cd
SA; aangezuurd MC		43 ± 4	48 ± 2	55 ± 4	abc	83 ± 9	93 ± 4	106 ± 8	abc
ANOVA ^a		a	ab	b		a	ab	b	
N bron			<0,001				<0,001		
bodemvocht			0,012				0,012		
Nbron*bodemvocht			0,998				0,998		

^a waarden in kolommen met verschillende letters verschillen significant (P<0,05).

Tabel 3

N werkingscoëfficiënt (NWC) (n=4), waarbij de behandeling met KAS bij elk bodemvocht gesteld is op 100%.

behandeling	NWC (%)				
	% vocht	50	60	80	gemiddeld
1 ^e snede gras					
controle		n/a	n/a	n/a	
SA; KAS		=100%	=100%	=100%	bc 100
SA; NH ₄ NO ₃		119 ± 9	104 ± 8	98 ± 9	c 107
IN; PS		69 ± 8	75 ± 8	74 ± 4	a 73
SA; MC		95 ± 21	91 ± 9	72 ± 7	ab 86
IN; MC		105 ± 19	102 ± 5	89 ± 72	bc 99
IN; MC +PS		113 ± 1	89 ± 10	82 ± 6	bc 95
SA; aangezuurd MC		115 ± 18	105 ± 5	103 ± 12	c 108
ANOVA ^a					
N bron			<0,001		
bodemvocht			0,03		
Nbron*bodemvocht			0,871		
2 ^e snede gras					
controle		n/a	n/a	n/a	
SA; KAS		=100%	=100%	=100%	bc 100
SA; NH ₄ NO ₃		106 ± 10	103 ± 6	101 ± 10	c 103
IN; PS		70 ± 5	77 ± 6	76 ± 3	a 74
SA; MC		78 ± 8	88 ± 4	72 ± 6	a 79
IN; MC		102 ± 9	103 ± 8	93 ± 74	bc 99
IN; MC +PS		91 ± 3	89 ± 7	82 ± 7	ab 87
SA; aangezuurd MC		101 ± 10	103 ± 4	106 ± 8	c 104
ANOVA ^a					
N bron			<0,001		
bodemvocht			0,633		
Nbron*bodemvocht			0,997		

^a waarden in kolommen met verschillende letters verschillen significant (P<0,05).

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2518
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2518
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

