

Effecten van mestproducten uit stallen met primaire mestscheiding op gewasproductie en stikstofbenutting



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



wur.nl



PPS Betere stal, betere mest, betere oogst

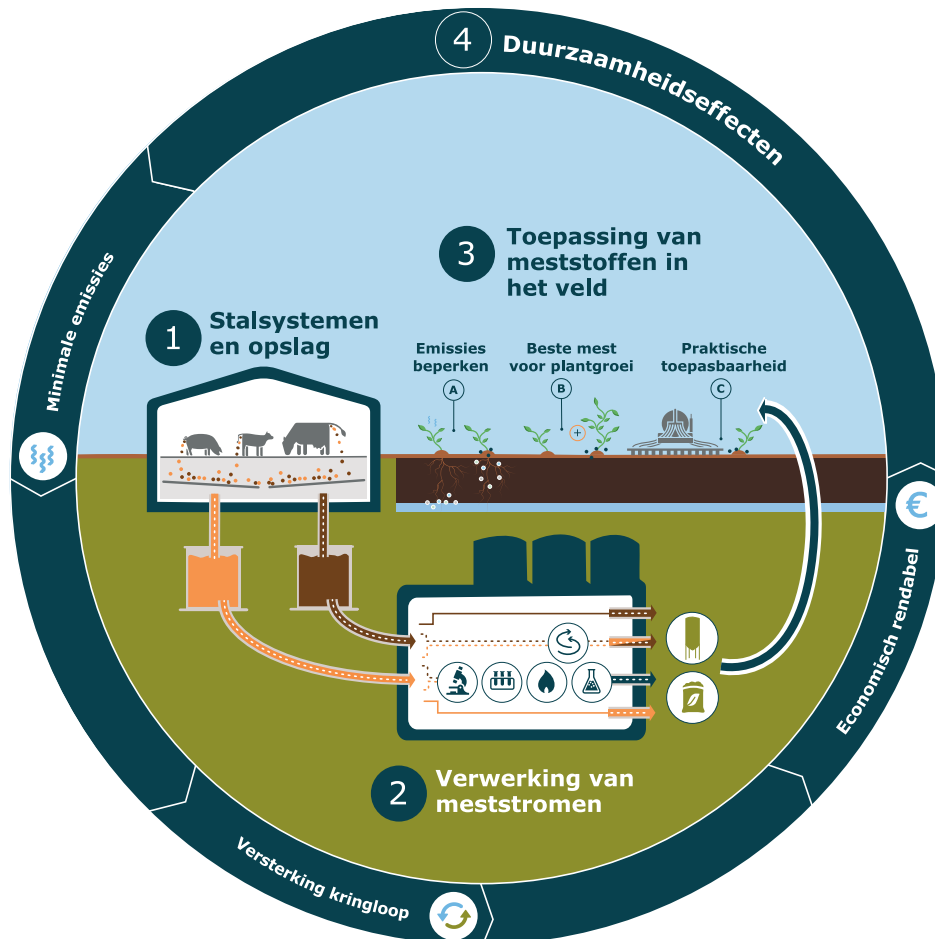
Resultaten werkpakket 3: werking mestproducten in het veld

Johan Specken en Wim van Dijk, Wageningen Plant Research

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen de PPS Betere Stal, betere Mest, betere Oogst van de topsector Agri & Food (TKI-AF-LWV20.245). Dit project ontvangt financiële steun van de Topsector Agri & Food. Binnen de Topsector werken bedrijfsleven, kennisinstellingen en de overheid samen aan innovaties voor lekker, veilig en gezond voedsel voor 9 miljard mensen in een veerkrachtige wereld. WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Lelystad, november 2025

bsmo



Effecten van mestproducten uit stallen met primaire mestscheiding op gewasproductie en stikstofbenutting

Verslag van veldproeven en demo's in gras, mais en wintertarwe in 2022-2024 die zijn uitgevoerd in het kader van PPS-project Betere Stal Mest Oogst

J. Specken & W. van Dijk

Wageningen University & Research

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

Wageningen, oktober 2025

Rapport WPR-OT-1172

Specken, J. & W. van Dijk, 2025. Effecten van mestproducten uit stallen met primaire mestscheiding op gewasproductie en stikstofbenutting. Verslag van veldproeven en demo's in gras, mais en wintertarwe in 2022-2024 die zijn uitgevoerd in het kader van het PPS-project Betere Stal Mest Oogst. Wageningen Plant Research, Rapport WPR-OT-1172

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/702208>

Samenvatting

Trefwoorden: primaire mestscheiding, urine, feces, stikstofwerking

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; www.wur.nl/plant-research



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

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Doel en afbakening	8
1.3 Leeswijzer	9
2 Materiaal en methoden	10
2.1 Veldproeven gras	10
2.1.1 Objectkeuze	10
2.1.2 Uitvoeringsaspecten	11
2.1.3 Bodemparameters en weersomstandigheden bij uitrijden	13
2.1.4 Waarnemingen	14
2.2 Veldproeven snijmais	15
2.2.1 Veldproef 2022	15
2.2.2 Veldproef 2023	16
2.3 Demonstratieproeven	18
2.3.1 Demo in wintertarwe op kleigrond	18
2.3.2 Demonstratieproeven in gras op zandgrond (2024)	19
2.3.3 Overige demonstratieproeven	20
2.4 N-recovery en N-werkingscoëfficiënt	21
2.5 Statistische verwerking	21
3 Resultaten	22
3.1 Veldproeven gras	22
3.1.1 Drogestof- en N-opbrengsten	22
3.1.2 N recovery en werkingscoëfficiënt	24
3.1.3 Minerale stikstof in de bodem bij afloop van de proef	25
3.2 Veldproeven snijmais	25
3.2.1 Bemestingsproef snijmais 2022	25
3.2.2 Bemestingsproef snijmais 2023	26
3.3 Demonstratieproeven	26
3.3.1 Demonstratieproef met dunne mestproducten op klei ZW-Nederland	27
3.3.2 Demonstratieproef met gras en mais in Beerze	27
4 Discussie en conclusies	28
4.1 Discussie	28
4.1.1 Toediening op grasland	28
4.1.2 Toediening op bouwland	30
4.2 Conclusies	31
Literatuur	32
Bijlage 1. Samenstelling van de in de grasproeven gebruikte meststoffen.	34
Bijlage 2. Logboek veldproeven gras	36
Bijlage 3. Logboek veldproeven snijmais	37

Woord vooraf

In 2021 is het project Betere Stal Mest en Oogst (BSMO) gestart. In dit project staan stalsystemen gebaseerd op primaire scheiding centraal. Binnen het project zijn veldproeven en demonstratieproeven uitgevoerd waarin is gekeken naar de landbouwkundige effecten van gebruik van mestproducten uit deze stallen. Dit rapport beschrijft de resultaten. Speciale dank gaat uit naar de WUR-proefbedrijven Vredepeel en Marwijksoord voor de uitvoering van de veldproeven. Daarnaast bedanken we de partners in het project voor het aanleveren van mestproducten, hun bijdrage aan de uitvoering van de demonstratieproeven en becommentariëring van het concept van dit rapport. Tevens gaat een woord van dank uit naar Frank van Genugten (Groenewoud Gas) voor de uitvoering van de demonstratieproef snijmais in 2022, naar Theo Sonnemans, Stefan Thelosen en Hans Wildenbeest voor de uitvoering van een demo in Someren en naar Jurian Korevaar (PPP-AGRO Advies) voor de begeleiding van de demonstratieproeven in gras en snijmais in Beerze in 2024. Tenslotte willen we de collega onderzoekers Willem en Geel en David de Wit bedanken voor hun bijdrage aan de uitvoering van het project.

De auteurs

Samenvatting

Eén van de maatregelen om de ammoniakemissies op veehouderijbedrijven te verlagen is een scheiding van urine en feces via aangepaste stalsystemen. Deze stalsystemen staan centraal binnen de in 2021 gestarte Publiek Private Samenwerking "Betere Stal, betere Mest en betere Oogst" (BSMO). In dit project wordt de gehele keten van mestproductie, opslag, bewerking en toediening bij gewassen beoordeeld. Een belangrijke vraag hierbij is hoe de nieuwe mestproducten (o.a. urine- en fecesfracties) het beste kunnen worden ingezet bij de teelt van gewassen. Hiervoor zijn in de periode 2022-2024 veldproeven en demonstratieproeven uitgevoerd bij gras, snijmais en wintertarwe waarin vooral is gekeken naar de werking van stikstof (N). In dit rapport worden de resultaten beschreven.

Veldproeven grasland

In de periode 2022 t/m 2024 zijn drie bemestingsproeven op zandgrond uitgevoerd (per jaar één proef). In de proeven zijn diverse dunne producten vergeleken met een bemesting met kunstmest (kalkammonsalpeter, KAS). Wat betreft de dunne mestproducten ging het om urinefracties van melkvee (koetoilet, Lely Sphere) en vleeskalveren (mestband) en om producten uit een stripperinstallatie (ammoniumsulfaat en resterend effluent). Tenslotte waren ook met de plasmatechniek behandelde dunne mestproducten (urine koetoilet en dunne fractie van rundveedrijfmest) opgenomen in de proeven. In alle jaren is uitgegaan van een N-aanvoer van 80 kg N per ha.

De N-werking van urinefracties toegediend op grasland varieerde van 51 tot 77%. Dit is lager dan verwacht werd op basis van de samenstelling van de gebruikte mestproducten. In het algemeen was de N-werking in 2022 (57-64%, toegediend in 2^e snede) en 2023 (51-58%, toegediend in 3^e snede) wat lager dan de N-werking in 2024 (66-77%, toegediend in de 1^e snede). Mogelijke oorzaken van de lagere N-werking zijn ammoniakemissie bij toediening, verhoogde denitrificatie en minder egale verdeling als bij KAS.

Het aanzuren en verdunnen van de urine (toegepast bij de urine van het koetoilet) gaf geen significante verbetering van de N-werking. Bij het aanzuren viel op dat de pH vrij snel weer opliep tot de oorspronkelijke pH waarde.

Het bewerken van dunne mestproducten met de plasmatechniek van N2-Applied (urine van koetoilet in 2022 en dunne fractie van rundveedrijfmest in 2023 en 2024) leidde in 2022 en 2023 bij toepassing in de 2^e snede en 3^e snede van grasland tot een significante stijging van de N-werking, terwijl in 2024 (toegepast in de 1^e snede) deze significant lager was dan van het onbewerkte mestproduct. De verhoging van de N-werking in 2022 en 2023 hangt waarschijnlijk samen met het hogere minerale N gehalte (extra nitraat) en de lagere pH waardoor het risico van ammoniakemissie lager is. Voor de lagere N-werking in 2024 is niet een duidelijk reden, mogelijk hangt het samen met de natte omstandigheden, waardoor er door de aanwezigheid van nitraat een hoger risico is van denitrificatie of uitspoeling.

Door een onjuiste afstelling van de flowmeter van de spaakwielbemester, waarmee het ammoniumsulfaat is toegediend, zijn de resultaten van toediening van dit product buiten beschouwing gelaten.

Veldproeven snijmais

In 2022 en 2023 zijn op zandgrond twee veldproeven in snijmais uitgevoerd (per jaar één proef). In beide proeven is de gebruikelijke bemesting van snijmais, rundveedrijfmest aangevuld met een startgift met kunstmest-N in de rij, vergeleken met verschillende varianten waarbij de drijfmest en/of kunstmest-N is vervangen door feces- en urineproducten.

Het toepassen van urine naast de rij van snijmais resulteerde in een vergelijkbare stikstofwerking als kunstmest in de rij toegediend bij de zaai. Dat de werking van de urine hier vergelijkbaar was met kunstmest, terwijl dat in de graslandproef niet zo was, hangt mogelijk samen met de toedieningstechniek. In de maisproef is deze geïnjecteerd en was de urine volledig afgedekt met grond, terwijl op grasland de urine is toegediend in open sleufjes. Dit heeft mogelijk geleid tot meer ammoniakemissie.

Het gebruik van fecesproducten als basisbemesting gaf een minder goede N-benutting dan gebruik van drijfmest bij een gelijke aanvoer wettelijke werkzame N. Hierbij moet wel worden benadrukt dat de fecesfractie relatief laat is toegediend, waardoor er minder tijd is voor het mineraliseren van organische N in de fecesfractie in de periode dat de mais actief N opneemt.

Demonstratieproeven

Er zijn demonstratieproeven uitgevoerd in gras, snijmais en wintertarwe. Dit betrof strokenvergelijkingen in enkelvoud, waardoor er geen statistische toetsing mogelijk was op verschillen in opbrengst en N-opname en -benutting. In twee van de demonstratieproeven is het gelukt om opbrengstbepalingen uit te voeren.

In de eerste demonstratieproef is in wintertarwe bij de tweede bemesting de urinefractie en het ammoniumsulfaat van de Lely Sphere-stal vergeleken met kunstmest (KAS). Het resultaat van de ammoniumsulfaat was vergelijkbaar met dat van KAS, terwijl de urinefractie een iets lagere opbrengst gaf dan KAS.

In de tweede demonstratieproef is bij grasland een bemesting met dunne fractie van rundveedrijfmest bewerkt met de plasmatechniek vergeleken met een onbehandelde dunne fractie. Deze producten zijn toegediend in de 3^e en 4^e snede. Het beeld was dat de drogestof- en de N-opbrengst van het gras bij de met de plasmatechniek behandelde dunne fractie wat hoger was dan bij de onbehandeld dunne fractie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Bij de bemesting op (melk)veehouderij- en akkerbouwbedrijven is drijfmest de meest gebruikte mestsoort. Door nieuwe stalsystemen en mestbewerking ontstaan nieuwe mestproducten, zowel dunne als vaste producten. In de veehouderij is de ontwikkeling van emissiearme stalsystemen in toenemende mate in de belangstelling gekomen. Deels heeft dit te maken met de noodzaak om ammoniakemissies uit stallen te verminderen. Eén van de opties om stalemissies te beperken is door de urine en feces direct te scheiden, het zogenaamde scheiden aan de bron. Daarnaast speelt dat Nederland vanaf 2026 de derogatie vervalt. Hierdoor kan er minder stikstof (N) uit dierlijke mest worden gebruikt op eigen land (maximaal 170 kg N per ha). Het maken van kunstmestvervangers uit dierlijke mest (RENURE = REcovered Nitrogen from manURE) wordt gezien als een mogelijke (deel)oplossing om meer dierlijke mest-N op het eigen bedrijf te kunnen gebruiken (de N in de kunstmestvervangers wordt dan niet meer als dierlijke mest-N aangemerkt). Er ligt nu een voorstel om drie producten aan te merken als RENURE-meststof: mineralenconcentraat, gestript ammoniumsulfaat/nitraat en struviet. Mogelijk dat andere dunne producten uit nieuwe stalsystemen op termijn ook als RENURE-meststof kunnen worden aangemerkt. Benadrukt moet worden dat RENURE op dit moment nog geen wettelijke toelating heeft.

De genoemde ontwikkelingen waren aanleiding voor het PPS-project Betere Stal, Betere Mest, Betere Oogst (BSMO) waarin de hele keten van stal, opslag en toepassing in het veld centraal staat. Deze integrale aanpak is belangrijk, omdat voorkomen moet worden dat verbeteringen in de stal leiden tot meer verliezen in het veld. Het totale systeem moet leiden tot verbetering van de nutriëntenbenutting en vermindering van verliezen.

Met de ontwikkeling van deze nieuwe stalsystemen en technieken om RENURE meststoffen te produceren ontstaan nieuwe (kunst)mestproducten die zowel qua samenstelling als qua werkwijze afwijkend zijn van drijfmesten. Bij de start van het project is via een modelstudie al gekeken naar de verwachte N-werking en toepasbaarheid van deze producten (Van Dijk et al., 2023). Daarna zijn in de periode 2022-2024 veldproeven uitgevoerd bij de gewassen gras en snijmais en zijn demonstratieproeven aangelegd in snijmais en wintertarwe. Dit rapport geeft de resultaten van het uitgevoerde onderzoek.

1.2 Doel en afbakening

Doel

Doel van het onderzoek was vast te stellen hoe de N-werking van de nieuwe mestproducten zich verhoudt tot die van gangbare mestproducten of gangbare kunstmeststoffen. Daarnaast is ook het demonstreren en het opdoen van ervaringen bij de toepassing van deze producten een doel. Vandaar dat is gekozen voor een mix van veldproeven in herhalingen en demonstratieproeven (strokenvergelijkingen).

Afbakening

Het onderzoek beperkte zich tot de gewassen gras, snijmais en wintertarwe. Bij gras en wintertarwe lag de focus vooral op toepassing van dunne producten (potentiële RENURE-producten) in vergelijking met kunstmest. Bij snijmais zijn zowel dunne als vaste producten vergeleken met een gangbare bemesting met drijfmest en een startgift met kunstmest.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de opzet van de veld- en demonstratieproeven beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de resultaten gepresenteerd. Deze worden bediscussieerd in hoofdstuk 4 en daarin worden tevens de belangrijkste conclusies weergegeven.

2 Materiaal en methoden

In het project zijn veldproeven uitgevoerd met gras (2022, 2023 en 2024) en snijmais (2022 en 2023) en demonstratieproeven met gras (2023, 2024), snijmais (2022 en 2024) en wintertarwe (2023). De opzet van de proeven wordt hieronder beschreven.

2.1 Veldproeven gras

2.1.1 Objectkeuze

In de periode 2022 t/m 2024 zijn drie bemestingsproeven uitgevoerd (per jaar één proef). Deze proeven lagen op zandgrond in de omgeving van proefbedrijf Vredepeel. In de proeven zijn diverse dunne mestproducten vergeleken met een bemesting met een tweetal kunstmestsoorten. Er is gekozen voor vooral dunne mestproducten, omdat deze relatief veel N bevatten en gras een hoge N-behoefte heeft. In *Tabel 2.1* is een overzicht gegeven van de meegenomen producten.

Wat betreft de dunne mestproducten ging het om urinefracties van melkvee (koetoilet, Lely Sphere) en vleeskalveren (mestband). Bij het koetoilet wordt de urine apart opgevangen en is er geen vermenging met feces. Bij de Lely Sphere en de vleeskalverenstal wordt de urine en feces gescheiden via een aangepast vloersysteem, waarbij er nog wel enige vermenging van urine met feces plaatsvindt. In 2022 en 2023 is bij de urine van het koetoilet tevens gekeken naar het effect van aanzuren en in 2022 ook naar het effect van verdunnen.

Daarnaast zijn producten van een stripperinstallatie meegenomen: ammoniumsulfaat en het uitgaande effluent. Helaas bleek achteraf dat de dosering van de spaakwielbemester, waarmee het ammoniumsulfaat is toegediend, te laag is geweest, doordat de flowmeter niet correct functioneerde. Bij de bespreking van de resultaten zijn deze objecten daarom niet expliciet weergegeven. Wel zal op basis van de afwijking van de flowmeter getracht worden globaal een indicatie te geven van het effect van het ammoniumsulfaat. Tenslotte waren ook met de plasmatechniek behandelde dunne mestproducten opgenomen in de proeven. Met deze techniek wordt met behulp van elektriciteit uit luchtstikstof nitraat gemaakt en toegevoegd aan de mest, waardoor het N-gehalte stijgt (het verkregen product wordt daarom ook wel aangeduid als NEO: nitrogen enriched organic fertiliser). Tevens daalt bij dit proces de pH van de mest wat het risico van ammoniakemissie verlaagt (Puente-Rodriguez et al., 2025). In 2022 is de urine van het koetoilet behandeld met de plasmamachine en in 2023 en 2024 ging het om een dunne fractie die ontstaat na scheiding van rundveedrijfmest met een vijzelpers.

De verschillende mestproducten zijn vergeleken met de gangbare kunstmest kalkammonsalpeter (KAS). In 2024 is tevens vloeibare ammoniumnitraat meegenomen die bovengronds is toegediend met straaldoppen. Er was ook een toediening met de spaakwielbemester meegenomen, maar vanwege het niet correct functioneren van de flowmeter (zie hierboven) worden de resultaten van dit object niet gepresenteerd. In 2024 is ook een object met rundveedrijfmest opgenomen. Jaarlijks was ook een controle opgenomen met geen N-bemesting.

Bij alle drie proeven is er telkens één snede bemest: in 2022 de tweede snede, in 2023 de derde snede en in 2024 de eerste snede. Naast de bemeste snede is ook de daarop volgende snede, die niet is bemest, geoogst. Dit is gedaan om eventuele verschillen in duurwerking van de mestproducten vast te stellen.

De proeven zijn aangelegd als gewarde blokkenproeven in vier herhalingen. De veldjesomvang was 3 meter breed en 12 meter lang.

2.1.2 Uitvoeringsaspecten

Monsternamen en dosering

Het overzicht met de aangelegde behandelingen en de gerealiseerde N-doseringen is weergegeven in *Tabel 2.1*. Bij alle mestproducten is gestreefd naar een dosering van 80 kg N/ha (gebaseerd op N-totaal). De mestproducten zijn aangevoerd in IBC-vaten en voorafgaand aan de toediening in de proeven bemonsterd. Op basis van de analyse van deze monsters is de dosering bepaald. Bij de toediening zijn de mestproducten nogmaals bemonsterd. De analyse-uitkomsten van de monsters genomen bij de toediening zijn gebruikt om de uiteindelijke gerealiseerde dosering te berekenen zoals weergegeven in *Tabel 2.1*. De volledige mestsamenstelling is weergegeven in *Bijlage 1*. In *Tabel 2.2* is de spreiding in het N-gehalte en de pH weergegeven voor de periode 2022-2024.

Tabel 2.1 laat zien dat het niet altijd is gelukt om op de gewenste 80 kg N per ha uit te komen. Bij een aantal toepassingen (Lely Sphere urine in 2024 en dunne fractie-NEO in 2023) was er sprake van een afwijking van meer dan 20 kg N per ha.

De mestproducten lopen uiteen qua gehalten van overige nutriënten (o.a. P_2O_5 , K_2O , S). Om te voorkomen dat dit effect had op de gewasproductie (doel was het vaststellen van het effect van de N-bemesting) is bij de bemesting met deze nutriënten hiervoor gecorrigeerd. In 2022 is er geen correctie voor zwavel (die meekomt met het ammoniumsulfaat) uitgevoerd m.u.v. het KAS-object waarbij gekozen is voor KAS-zwavel. Wel is er wel bij het controleobject en de objecten met kunstmest-N en ammoniumsulfaat een bemesting van 100 kg K_2O per ha met K-60 toegediend. Deze bemesting is uitgevoerd voorafgaand aan de tweede onbemeste snede. Bij de andere objecten is niet gecorrigeerd voor verschillen in de aangevoerde kali met de mestproducten.

De proeven van 2023 en 2024 zijn gecorrigeerd voor zowel zwavel als kali. Wat betreft zwavel is bij alle objecten met uitzondering van het object met ammoniumsulfaat en het KAS-zwavel-object een bemesting uitgevoerd met 100 kg korrelgips per hectare. De extra kalibemesting is per object berekend en afgestemd op de hoogste kaliaanvoer met de toegediende mestproducten.

In geen van de jaren heeft er een correctie voor fosfaatbemesting plaatsgevonden.

Tabel 2.1. Overzicht van de objecten en de gerealiseerde dosering (kg N-totaal per ha) in de grasproeven in de periode 2022-2024.

Behandeling	2022	2023	2024
	(2 ^e snede)	(3 ^e snede)	(1 ^e snede)
<i>Controle (0 N)</i>			
<i>Referentie, kunstmest</i>			
KAS-S	80	80	80
Ammoniumnitraat, vloeibaar			80
<i>Referentie, drijfmest</i>			
			67
<i>Urinefracties</i>			
Urinefractie, koetoilet	76	83	79
Urinefractie, koetoilet aangezuurd	76	83	
Urinefractie, koetoilet 2:1 verdund	76		
Urinefractie Lely Sphere	83	90	100
Urinefractie kalveren	78	88	93
<i>Producten meststrippen</i>			
Ammoniumsulfaat ¹			
Effluent stripper	77	83	
<i>Behandeling met plasmatechniek</i>			
Urine – koetoilet NEO	64		
Dunne fractie rundveedrijfmest, onbehandeld		90	80
Dunne fractie rundveedrijfmest NEO		120	68

¹ Vanwege afwijking flowmeter spaakwielbemester worden de resultaten van het ammoniumsulfaat niet expliciet in de tabel weergegeven

Tabel 2.2 Spreiding N-gehalte en pH van de gebruikte mestproducten (2022-2024).

Product	N-gehalte			pH
	N-totaal	NH ₄ -N	Aandeel NO ₃ -N	
	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	
Urinefracties				
Urinefractie, koetoilet	5,8-7,2	5,1-6,8		8,8-8,9
Urinefractie, Lely Sphere	2,1-3,1	2,4-2,7		7,6-7,8
Urinefractie, kalveren	2,2-4,9	2,4-4,8		7,6-8,7
Effluent stripper				
Behandeld met plasmatechniek				
Urinefractie, koetoilet	7,4	3,4	4,5	5,2
Dunne fractie rundveedrijfmest	5,4-6,2	1,5-2,1	2,3-2,7	5,5-6,2
Referenties				
Rundveedrijfmest	4,2	2,2		7,2
Dunne fractie rundveedrijfmest	2,7-4,2	1,8-2,1		7,2-7,6

Toediening mestproducten en kunstmest

Korrelvormige kunstmest is toegediend met de proefveldstrooier met een werkbreedte van 3 meter. De ammoniumsulfaat is met een spaakwielbemester toegediend. De urinefracties, de dunne fractie na mestscheiding, het effluent van de stripper en de NEO-producten zijn in 2023 en 2024 toegediend met een zodebemester. Hiervoor is een aangepaste machine met zodebemesterelementen van Slootsmid gebruikt (Figuur 1). De afstand tussen de elementen was 25 cm. Met deze machine is het mogelijk relatief lage doseringen toe te dienen. In 2022 was er nog niet de beschikking over deze machine. Omdat met de bestaande apparatuur de mestproducten niet goed konden worden toegediend (te lage doseringen, onvoldoende egale afgifte van de elementen door te waterige producten) zijn de mestproducten handmatig toegediend. Dit is gedaan door eerst met een gangbare zodebemester zonder mest injectiesleuven in de graszode te trekken en vervolgens met een gieter het mestproduct in de sleuven te brengen.

Het aanzuren van de urine van het koetoilet heeft plaatsgevonden in 2022 en 2023. Daarbij is zwavelzuur toegediend, totdat de gewenste pH waarde van 5,5 werd bereikt. Tijdens de zuurtoediening werd de urine continu gemixt.



Figuur 1. Mesttank met sleufinjecteur voor proefvelden.

2.1.3 Bodemparameters en weersomstandigheden bij uitrijden

Proefpercelen

De percelen waarop de proeven zijn aangelegd zijn voorafgaand aan de bemesting bemonsterd in de laag 0-10 cm. De resultaten hiervan zijn opgenomen in *Tabel 2.3*.

Tabel 2.3. Enkele bodemparameters van de proefpercelen (0-10 cm).

Parameter	Eenheid	Analyseresultaat		
		2022	2023	2024
N-Tot	mg N/kg	1570	1360	1220
C/N ratio		18	16	15
N-Levering	kg N/ha jaar	110	120	115
P-AL	mg P2O5/100 gram grond	44	68	62
K	mg K/kg	24	67	19
Mg	mg Mg/kg	111	136	111
pH		5.4	5.5	5.4
OS	%	5.1	3.9	3.8
CEC	mm+/kg	78	60	45
Silt	%	5	8	6
Zand	%	88	87	90

Weersomstandigheden

Omdat de meeste producten relatief veel ammoniak bevatten zijn er risico's op ammoniakemissies die de N-werking kunnen beïnvloeden. Deze emissies worden o.a. beïnvloed door de weersomstandigheden bij het uitrijden van de mestproducten. Daarom zijn de omstandigheden op de dag van het uitrijden kort beschreven.

2022

De bemesting van de proef heeft plaatsgevonden op 18 mei 2022. Het was een zonnige dag met een maximale temperatuur van 24°C. De windsnelheid bedroeg circa 2 beaufort. De proef is aan het einde van de middag beregend met 15 mm water.

2023

Op 6 juni 2023 is de bemesting uitgevoerd. De dag verliep half bewolkt met een maximale temperatuur van circa 22°C. De windkracht bedroeg 3 beaufort uit Noordoostelijke richting. De proef is de dag na het bemesten beregend met 25 mm water.

2024

De bemesting is 20 maart 2024 uitgevoerd. De dag verliep volledig bewolkt met een maximale temperatuur van 18°C. De windkracht bedroeg 1 beaufort. Er is niet beregend na de toediening van de mestproducten.

2.1.4 Waarnemingen

Oogst

Per snede was er vooraf als doel gesteld om te gaan maaien bij een geschatte opbrengst van 3500 kg drogestof/ha voor de eerste snede, 3000 kg drogestof/ha voor de tweede snede en 2500 kg drogestof/ha voor de derde snede. De oogst heeft plaatsgevonden door WUR OT proefbedrijf Vredepeel. De oogst is uitgevoerd met een Haldrup oogstmachine, waarbij het netto-deel van een veldje (1,5 x 12 meter) is geoogst. Hierbij is het verse gewicht bepaald en is een monster per veld genomen voor bepaling van het drogestofgehalte en het N-totaal gehalte in de droge stof (via Eurofins).

Minerale bodem-N

In 2024 zijn na afloop van de proef grondmonsters gestoken in de laag 0-30, 30-60 en 60-90 cm voor bepaling van de hoeveelheid minerale bodem-N (N-min). Het doel hiervan was om na te gaan of er nog minerale stikstof in het profiel aanwezig was. De bemonstering is direct na de oogst van de onbemeste snede (in 2024 de tweede snede) uitgevoerd. De analyse is uitgevoerd bij Eurofins Agro Testing in Wageningen. Deze bemonstering is op 22 juli uitgevoerd bij de objecten met KAS-zwavel, urine koetoilet, ammoniumsulfaat pH hoog en ammoniumsulfaat pH laag. De bemonstering is per plot gedaan.

2.2 Veldproeven snijmais

In 2022 en 2023 zijn op het WUR-OT-proefbedrijf in Marwijksoord twee veldproeven in snijmais uitgevoerd (per jaar één proef). In beide proeven is de gebruikelijke bemesting van snijmais, rundveedrijfmest (RDM) aangevuld met een startgift met kunstmest-N in de rij, vergeleken met verschillende varianten waarbij de drijfmest en/of kunstmest-N is vervangen door feces- en urineproducten. Op de percelen waarop de proeven zijn uitgevoerd vond een akkerbouwmatige rotatie plaatsvindt. De samenstelling van de mestproducten is gepresenteerd in

Tabel 2.4 en de bodemparameters van de percelen zijn weergegeven in Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Samenstelling van de gebruikte mestproducten in de maisproeven in 2022 en 2023.

Jaar	Mestsoort	Gehalte, kg/ton				
		N-totaal	NH ₄ -N	Norg	P ₂ O ₅	K ₂ O
2022	Rundveedrijfmest	4,1			1,42	6,0
	Urine koetoilet	8,8			0,11	14,6
	Feces	3,9			1,9	5,5
2023	Rundveedrijfmest	4,8			1,4	5,5
	Urine koetoilet	8,2	5,2	3,1	0,07	11,7
	Feces (gemengd met stro)	4,1	1,2	2,9	1,85	4,0

De RDM is op het bedrijf aangevoerd. De gebruikte urine betrof urine van het koetoilet. De feces was in 2022 afkomstig van de Dairy Campus en het betrof een niet-stapelbaar en ook niet-verpompbaar product. De feces die in 2023 is gebruikt betrof een stapelbaar product afkomstig van een veehouder die de feces mengt met stro.

Tabel 2.5. bodemparameters van de percelen waarop de proef is aangelegd (0-25 cm).

parameter	eenheid	2022	2023
N-Tot	mg N/kg	1350	1180
C/N ratio		14	18
N-Levering	kg N/ha jaar	65	45
P-AL	mg P ₂ O ₅ /100 gram grond	63	52
K	mg K/kg	75	89
Mg	mg Mg/kg	58	66
pH		5.5	5.7
OS	%	3.7	3.2
CEC	mm+/kg	52	56
Silt	%	20	9
Zand	%	74	85

2.2.1 Veldproef 2022

In 2022 zijn er extra objecten aangelegd in een veldproef met snijmais van projectpartner CropSolutions. Een overzicht met de behandelingen in de veldproef van 2022 is weergegeven in

Tabel 2.6.

De objecten M t/m R zijn vanuit het project BSMO toegevoegd aan de veldproef, terwijl de objecten A, B en E al waren gepland door CropSolutions en dienden als referentie voor de objecten M t/m R. De overige objecten zijn hier niet weergegeven, omdat ze niet relevant zijn voor dit onderzoek.

In de proef is gekeken naar de vervanging van de kunstmest-N-rijenbemesting door urine (vergelijk object E met object N) en naar de vervanging van de rundveedrijfmest door een combinatie van feces en urine (object P) en een combinatie van feces en kunstmest-N (object R).

Tabel 2.6. Objecten en de N-aanvoer (kg/ha) via bemesting in de maisproef van 2022.

Code	Drijfmest	Feces	Urine		Kunstmest		N-aanvoer	
			volvelds	rij	volvelds	rij	Totaal	Werkzaam ^{1,2}
A (controle)							0	0
B	144						144	86
E	144					40	184	136
M	144				40		184	126
N	144			40			184	136
P		105	82				187	124
R		105			40	40	185	132

¹ de in de rij toegediende N (kunstmest en urine) werkt 1,25 keer beter dan volvelds toegediende N

² gehanteerde N-werkingscoëfficiënt van drijfmest was 60%, van feces 40% en van urine 100% (bij volveldstoediening)

De kunstmest die volvelds is toegediend is op 17 mei gestrooid. De dikke fractie en de drijfmest zijn toegediend op 18 mei. Op beide dagen was het zomers warm met temperaturen omstreeks 25°C en overwegend zonnig. Er stond op beide dagen een zwakke wind. De urine is direct na het zaaien op 18 mei toegediend.

De feces betrof een dik, niet stapelbaar product van melkvee. Het product is getransporteerd in IBC-vaten. Om de feces verpompbaar te maken zijn de IBC-vaten half leeg geschept en is vervolgens 50% water (object R) c.q. 50% urine +water (object P) toegevoegd. In het object waar de urine in de rij is toegediend (object N) is deze met een gieter naast de rij aangebracht in een getrokken geultje met een diepte van circa 8 cm. Het geultje is kort na de toediening toegedekt met grond. Omdat in object P de urine met de feces volvelds is toegediend, was het nodig om een extra referentie aan te leggen waarbij de kunstmest-N ook volvelds is toegediend (behandeling M).

Aanvullingen met fosfaat- en kalikunstmest zijn zodanig gedaan dat op alle objecten ongeveer dezelfde hoeveelheden zijn toegediend met mestproducten en kunstmest: 50 kg P₂O₅ per ha en 210 kg K₂O per ha.

2.2.2 Veldproef 2023

Het overzicht met de uitgevoerde behandelingen in de veldproef in 2023 is weergegeven in Tabel 2.7. Ook hier heeft een vergelijking plaatsgevonden tussen drijfmest en feces beide bij een werkzame N aanvoer van 58 kg N per ha (object B en D). Er is uitgegaan van lagere niveau dan in 2022, omdat toen bleek dat bij een bemesting van 35 m³ rundveedrijfmest per ha al de maximale opbrengst werd behaald. Daarnaast was een object opgenomen met een combinatie van feces en in de rij toegediende urine (object E). Tenslotte is een directe vergelijking gemaakt tussen rijenbemesting met alleen urine en rijenbemesting met alleen kunstmest beide op een niveau van 60 kg N per ha. Bij dit lage N-bemestingsniveau kunnen verschillen tussen meststoffen beter worden vastgesteld.

In 2023 is de drijfmest op 31 mei 2023 toegediend. Het was die dag half bewolkt en circa 19 graden Celsius. De windsterkte bedroeg 3 Beaufort. Op 5 juni is de feces fractie gestrooid. Het was die dag onbewolkt bij maximaal 19 graden Celsius en een zwakke wind met een kracht van 2 Beaufort. Op 7 juni, de dag daarop de urine naast de rij is uitgereden was het maximaal 20 graden met een zwakke wind van 2 beaufort en was het bewolkt.

Tabel 2.7. Objecten en de N-aanvoer (kg/ha) via bemesting in de maisproef van 2023.

Code	Drijfmest	Feces	Urine		Kunstmest		N-aanvoer	
			Volvelds	rij	volvelds	rij	Totaal	Werkzaam ^{1,2}
A (controle)								
B	96						96	58
C	96					60	156	133
D		144					144	58
E		144		60			204	133
F						60	60	75
G				60			60	75

¹ de in de rij toegediende N werkt 1,25 keer beter dan volvelds toegediende N

² gehanteerde N-werkingscoëfficiënt van drijfmest was 60%, van feces 40% en van urine 100% (bij volveldstoediening)

De feces die is gebruikt in de proef in 2023 betrof een stapelbaar product (via toevoeging van stro) en is handmatig verstrooid in de proeven. De feces is binnen een dag ingewerkt met een cultivator. De drijfmest is d.m.v. een bouwlandinjecteur toegediend. De urine is naast de rij geïnjecteerd. Omdat het een waterachtig product betrof kon deze verpompt worden met een veldspuit, nadat de urine was gefilterd. Vervolgens is deze met kouters op circa 8 cm naast de rij op een diepte van 8 cm geïnjecteerd. De schoffebalk met de injectie-kouters is weergegeven in Figuur 2.

Aanvullingen met fosfaat- en kalikunstmest zijn zodanig gedaan dat op alle objecten ongeveer dezelfde hoeveelheden zijn toegediend met mestproducten en kunstmest: 65 kg P₂O₅ per ha en 200 kg K₂O per ha.

**Figuur 2.** Injectiesysteem om de urine naast de rij in de mais te plaatsen

2.3 Demonstratieproeven

2.3.1. Demo in wintertarwe op kleigrond

In 2023 is in de omgeving van Goes (Zeeland) een demonstratieproef aangelegd waarin varkensdrijfmest, urine van Lely Sphere en ammoniumsulfaat zijn vergeleken met kunstmest (KAS). Het overzicht met de uitgevoerde behandelingen, de N-gehalte van de mestproducten en de N-aanvoer is weergegeven in Tabel 2.8. De bemesting met de verschillende mestproducten is uitgevoerd, nadat er aan de basis al 120 kg N/ha in de vorm van KAS-S was toegediend. De varkensdrijfmest en de urine zijn toegediend met een zodebemester met een sleepslangaanvoersysteem (Figuur 3). Bij het toedienen bleek dat de dosering urine te hoog was om deze in de sleuven te houden. De ammoniumsulfaat is uitgereden met een spaakwielbemester (Figuur 4).

De toediening van de mestproducten zijn niet allemaal op dezelfde dag uitgevoerd, omdat dat technisch niet mogelijk was. Bij het toedienen zijn monsters genomen van de mestproducten, waarmee de gerealiseerde N-bemesting kon worden berekend (Tabel 2.8).

Tabel 2.8 Overzicht van de objecten in de demonstratieproef met wintertarwe in 2023.

Behandeling	Basisgift KAS-S	Overbemesting				
		meststof	Dosering (ton/ha)	N-gehalte (kg/ton)	N-werkings-coëfficiënt ¹	N-werkzaam
A	120 kg N/ha	Varkensdrijfmest	28,8	5,3	0,6	92
B	120 kg N/ha	KAS-zwavel	425	0,24	1,0	102
C	120 kg N/ha	Urine Lely Sphere	43,5	3,8	0,8	132
D	120 kg N/ha	Ammoniumsulfaat ¹	1,8	58	1,0	104

¹ N-werkingscoëfficiënt betreft de wettelijke waarde

² pH 1,9



Figuur 3. De varkensdrijfmest en de urine is in de wintertarwe toegediend met een zodebemester met sleepslangen-aanvoersysteem.



Figuur 4. De ammoniumsulfaat is in de wintertarwe toegediend met de spaakwielbemester.

2.3.2. Demonstratieproeven in gras op zandgrond (2024)

In Beerze (Overijssel) zijn in samenwerking met een melkveehouder en projectpartner N2-Applied demonstratieproeven aangelegd in gras en mais. Met de plasmamachine van N2-Applied wordt via elektriciteit luchtstikstof gebonden en in de vorm van nitraat toegevoegd aan de mest. Voorafgaand aan de behandeling is de rundveedrijfmest eerst gescheiden met een vijzelpers, waarbij een dunne en dikke fractie ontstaat. De dunne fractie (dRDM) is opgeslagen in een mestkelder. De dikke fractie is gebruikt voor de demonstratieproef in snijmais. De dunne rundveemest is na de plasmabewerking (dRDM NEO) opgeslagen in een mestzak. De niet en wel met de plasmatechniek behandelde dunne fractie zijn gebruikt in de graslanddemonstratieproef. De dikke fractie is gebruikt in de snijmaisdemonstratieproef ten behoeve van vergelijking met een standaardbemesting met drijfmest. Omdat de oogst bij de snijmaisoogst niet goed gelukt is worden de resultaten niet weergegeven.

Gras

Op een perceel gras is er in de derde en vierde snede een strokenvergelijking aangelegd tussen gebruik van dunne fractie van rundveedrijfmest (dRDM) en het NEO-product (dRDM NEO). De doseringen en gehalten zijn weergegeven in Tabel 2.9. De dRDM is toegediend met de mesttoedieningsapparatuur van de melkveehouder. De dosering van het NEO-bewerkte product is afgestemd op een zelfde hoeveelheid werkzame stikstof toegediend met dRDM. Omdat de dosering bij dRDM NEO lager is dan bij dRDM, zijn deze bemestingen uitgevoerd met een mesttoedieningsmachine van Slootsmid die deze lage doseringen kan toedienen.

Bij de oogst van het gras is het versgewicht bepaald door de melkveehouder en kort voor het oprapen van het gras is er een monster genomen van het gras en geanalyseerd middels de versgrascheck bij Eurofins Agro Testing in Wageningen.

Tabel 2.9. Overzicht van de objecten en de dosering en samenstelling van de mestproducten in de gras- en mais demonstratieproeven in 2024 in Beerze.

Gewas	Snede	Mest	Doserings m³/ha	Aan- voer Ntot	kg/m³					
					Ntot	N- NH4	N- org	N- NO3	P2O5	K2O
gras	snede 3	dRDM	30	60	2	1	1			
gras	snede 4¹	dRDM	30	60						
gras	snede 3	dRM NEO	7	33	4,7	1,9		3,7	0,4	2,9
gras	snede 4¹	dRM NEO	6	28						

¹ de gebruikte mest in de 4^e snede is niet bemonsterd. Hierbij is uitgegaan van dezelfde samenstelling is in de 3^e snede

2.3.3 Overige demonstratieproeven

Naast de bovengenoemde demonstratieproeven zijn er nog twee demo's op praktijkbedrijven uitgevoerd, waarvan er in het verslag geen opbrengstgegevens worden gepresenteerd.

In 2022 is in Sint Oedenrode een demo aangelegd in snijmais waarin diverse mestproducten zijn vergeleken. De producten zijn afkomstig van het bedrijf Groenewoud Gas, dat dagverse rundveedrijfmest vergist. Na vergisting wordt digestaat verder verwerkt van veehouders uit de regio. Na de vergisting wordt het digestaat gescheiden in een dikke en dunne fractie, waarna de dunne fractie wordt gestript, waarbij ammoniumsulfaat en een effluent ontstaat. Uit de dikke fractie wordt nog een mestkorrel gemaakt. Omdat deze demo niet is geoogst, wordt er bij de bespreking van de resultaten niet op ingegaan.

In 2023 is er een demonstratieproef aangelegd op een perceel grasland in Someren. In de demonstratieproef is een vergelijking gemaakt tussen het wel en niet aanzuren van kalverurine d.m.v. het SyreN-systeem van de firma Vogelsang. Het systeem meet tijdens het uitrijden continue de pH van de mest en zuurt de mest aan met zwavelzuur tot de ingestelde pH-waarde van 5,5. Door de grote variatie op het proefveld is besloten om een opbrengstbepaling achterwege te laten.

2.4 N-recovery en N-werkingscoëfficiënt

In de veldproeven is per meststof op basis van de verschillen in N-opname tussen het bemeste object en de controle (nul-N-bemesting) de apparent N-recovery (ANR) berekend:

$$ANR = (N\text{-opname bemest} - N\text{-opname onbemest})/N\text{-gift}$$

Vervolgens is op basis van de verschillen in ANR tussen het mestproduct en de ANR van kunstmest de N-werkingscoëfficiënt (NWC) berekend:

$$NWC = ANR_{\text{mestproduct}}/ANR_{\text{kunstmest}}$$

2.5 Statistische verwerking

De data van de veldproeven in gras en snijmais is statistisch doorgerekend met het statistiekprogramma Genstat 24th. De gegevens zijn statistisch geanalyseerd middels de ANOVA methode. Indien er sprake van significante verschillen ($\alpha=0,05$) dan is er een T-Test uitgevoerd om de verschillen per behandeling in beeld te brengen.

Bij de demonstratieproeven was geen statistiek mogelijk.

3 Resultaten

3.1 Veldproeven gras

3.1.1 Drogestof- en N-opbrengsten

In Tabel 3.1 is de drogestofopbrengst en de N-opbrengst van het gras weergegeven. Het betreft de som van de bemeste en de onbemeste snede. Omdat niet alle behandelingen ieder jaar zijn uitgevoerd, kunnen deze alleen onderling worden vergeleken in hetzelfde jaar (per kolom). De tabellen met daarin de data per jaar en per snede zijn opgenomen in bijlage 2.

Tabel 3.1. Totale drogestofopbrengst en N-opbrengst van een bemeste snede en een onbemeste snede; de N-bemesting in de bemeste snede bedroeg 80 kg N/ha. Verschillende letters binnen eenzelfde kolom duiden op significante verschillen ($P < 0,05$).

Behandeling	totale drogestofopbrengst (ton/ha)			totale N-opbrengst (kg/ha)		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
	Snede 2+3	Snede 3+4	snede 1+2	snede 2+3	snede 3+4	snede 1+2
Controle (0 N)	3,4 a	2 a	5,6 a	66 a	37 a	67 a
<i>Referentie, kunstmest</i>						
KAS-S	5,0 e	4,8 e	8,9 d	129 e	118 e	129 f
Ammoniumnitraat – straaldoppen			8,5 d			125 ef
<i>Referentie, drijfmest</i>			7,2 bc			93 b
<i>Urine en dunne fracties</i>						
Urinefractie, koetoilet	4,1 bc	3,7 c	7,8 c	104 c	80 c	111 c
Urinefractie Lely Sphere	4,4 cd	3,8 c	8,4 d	104 c	89 c	118 cde
Urinefractie kalveren	4,3 bcd	3,8 c	8,7 d	101 bc	89 c	123 def
Urinefractie, koetoilet aangezuurd	4,4 cd	3,5 c		108 c	81 c	
Urinefractie, koetoilet 2:1 verdund	4,3 cd			106 c		
Dunne fractie rundveedrijfmest		2,9 b	7,7 c		63 b	108 c
<i>Producten meststrippen</i>						
Effluent stripper	4,1 b	3,1 b		93 b	64 b	
<i>Behandeling met plasmatechniek</i>						
Urine – koetoilet NEO	4,5 d			117 d		
Dunne fractie rundveedrijfmest NEO ¹		4,5 d	6,8 b		102 d	89 b
LSD	0,3	0,3	0,5	8,2	11	10,2
Fprob	<0.001	<.001	<0.001	<0.001	<.001	<0.001

¹ in 2023 was 120 i.p.v. 80 kg N/ha toegediend

Uit Tabel 3.1 blijkt dat bij alle urinefracties in 2022 en 2023 de drogestof- en de N-opbrengst significant lager waren dan bij bemesting met KAS. In 2024 was het verschil in drogestof- en N-opbrengst tussen de urinefracties en kunstmest kleiner. In dat jaar was er bij de kalverurine geen sprake van een significant

verschil met de kunstmestobjecten. Bij de urinefractie van Lely Sphere was dit bij de drogestofopbrengst ook het geval, terwijl de N-opbrengst significant lager was dan bij de kunstmestobjecten. Bij de urine van het koetoilet was zowel de drogestof- als de N-opbrengst significant lager dan bij de kunstmestobjecten.

Het effluent na strippen dat in 2022 en 2023 is meegenomen bleef significant achter op de kunstmestreferentie zowel wat betreft de drogestof- als de N-opbrengst.

In 2022 is de urine van het koetoilet bewerkt met de plasmamachine. Ten opzichte van de onbewerkte urine leidde deze bewerking tot een significante verhoging van de drogestof- en N-opbrengst. In 2023 en 2024 is de plasmabewerking toegepast op de dunne fractie van gescheiden rundveedrijfmest. In 2023 resulteerde dat in een significante verhoging van de drogestof- en N-opbrengst, echter was er in dat jaar ook duidelijk meer stikstof toegediend: 120 kg N per ha t.o.v. 90 kg N per ha in de onbewerkte dunne fractie. In 2024 resulteerde de toediening van de met de plasmatechniek bewerkte dunne fractie tot een significant lagere drogestof- en N-opbrengst in vergelijking met de onbehandelde dunne fractie.

Het verdunnen van urine en het aanzuren van urine (beide uitgevoerd bij de urine van het koetoilet) leidde niet tot duidelijke effecten op de drogestof- en de N-opbrengst. Bij het aanzuren viel op dat de pH waarde snel weer opliep tot de oorspronkelijke waarde.

In 2024 is ook een vloeibare kunstmestreferentie meegenomen, ammoniumnitraat. Deze gaf geen duidelijk verschil in drogestof- en N-opname met de KAS.

3.1.2 N recovery en werkingscoëfficiënt

De N-recovery en de N-werkingscoëfficiënt zijn gepresenteerd in tabel 3.2.

Tabel 3.2. De N-recovery (% van toegediende N) en de N-werkingscoëfficiënt (% van toegediende N) van de toegediende mestproducten (de N-werkingscoëfficiënt is bepaald t.o.v. KAS).

Behandeling	N-recovery (%)			N-werkingscoëfficiënt (%)		
	2022 snede 2+3	2023 snede 3+4	2024 snede 1+2	2022 snede 2+3	2023 snede 3+4	2024 snede 1+2
<i>Referentie, kunstmest</i>						
KAS-S	78	101	78			
Ammoniumnitraat – straaldoppen			72			93
<i>Referentie, drijfmest</i>			39			51
<i>Urine en dunne fracties</i>						
Urinefractie, koetoilet	50	52	56	64	51	72
Urinefractie Lely Sphere	45	57	51	58	57	66
Urinefractie kalveren	45	58	60	57	58	77
Urinefractie, koetoilet aangezuurd	55	50		70	50	
Urinefractie, koetoilet 2:1 verdund	53			67		
Dunne fractie rundveedrijfmest		29	51		29	66
<i>Producten meststrippen</i>						
Effluent stripper	35	32		44	31	
<i>Behandeling met plasmatechniek</i>						
Urine – koetoilet NEO	80			102		
Dunne fractie rundveedrijfmest NEO ¹		54	32		53	41

¹ in 2023 was 120 i.p.v. 80 kg N/ha toegediend

Uit tabel 3.2 blijkt dat de N-recovery bij de kunstmestreferentie KAS tussen de jaren uiteenloopt van 78% in 2022 en 2024 tot 101% in 2023. De vloeibare ammoniumnitraat gaf een iets lagere recovery dan KAS, maar zoals eerder aangegeven waren de verschillen in N-opbrengst tussen de beide kunstmestsoorten niet significant. Bij de meeste van de getoetste mestproducten was de N-recovery lager in vergelijking met de kunstmestreferentie. Op basis van de verschillen in N-recovery tussen het mestproduct en die van KAS is een N-werkingscoëfficiënt berekend voor de mestproducten. De verschillen in N-werkingscoëfficiënt tussen de mestproducten worden hieronder besproken.

De N-werkingscoëfficiënt van de urineproducten liep uiteen tussen 51 en 77%. Het algemene beeld is dat de N-werkingscoëfficiënt in het jaar 2024 waar de toediening plaatsvond in de eerste snede hoger was dan bij de toediening in 2022 en 2023 waar de toediening plaatsvond in de tweede en derde snede. Het aanzuren en verdunnen van de urine van het koetoilet gaf geen duidelijke verbetering t.o.v. de onbehandelde urine.

Bewerking van de urine van het koetoilet met de plasmatechniek in 2022 gaf een sterke stijging van de N-werkingscoëfficiënt van 64 naar 101%. In 2023 en 2024 is de dunne fractie van rundveedrijfmest bewerkt met de plasmatechniek. In 2023 steeg hierdoor de N-werkingscoëfficiënt van 29 naar 53%. Dat effect is mogelijk nog wat onderschat, omdat er meer N was toegediend dan bij de onbehandelde dunne fractie. Bij een hogere N-bemesting zal de N-recovery mogelijk wat lager zijn, hetgeen leidt tot een lagere berekende N-werkingscoëfficiënt. In 2024 daalde de N-werkingscoëfficiënt van 66 naar 35% wanneer de dunne fractie werd bewerkt met de plasmatechniek.

De N-werkingscoëfficiënt van het effluent na strippen lag tussen 31 en 44%. Deze relatief lage N-werking is waarschijnlijk een gevolg een laag aandeel minerale N, dat er deels is verwijderd door het strippen.

In 2024 is ook rundveedrijfmest meegenomen als referentie. Deze had een duidelijk lagere N-werkingscoëfficiënt dan van de urinefracties die in 2024 waren getoetst.

3.1.3 Minerale stikstof in de bodem bij afloop van de proef

De bodemonsters die op 22 juli 2024 zijn genomen bleken nagenoeg geen minerale N te bevatten. Bij slechts een van de metingen werd een N-min van 4 kg N/ha vastgesteld terwijl er bij de overige monsters geen minerale stikstof werd aangetroffen.

3.2 Veldproeven snijmais

3.2.1 Bemestingsproef snijmais 2022

De drogestofopbrengst, N-opbrengst en N-recovery van de snijmais is weergegeven in *Tabel 3.3*

Tabel 3.3. *Drogestof-, N-opbrengst en N-recovery in de bemestingsproef met snijmais in 2022.*

Code	Omschrijving object	Drogestofopbrengst ton/ha	N-opbrengst kg/ha		N-recovery %	
A	Controle	13,1	a	112	a	
B	144 N RDM	16,2	b	179	bc	47
E	144 N RDM + 40 N KM in rij	16,7	b	186	c	40
M	144 N RDM + 40 N KM volvelds	15,6	b	170	bc	32
N	144 N RDM + 40 N urine in rij	17,1	b	189	c	42
P	105 N feces + 82 N urine volvelds	15,5	b	157	b	24
R	105 N feces + 40 N KM volvelds +40 N KM in rij	15,8	b	176	bc	35
LSD		2,1		28		
F prob.		0,037		<,001		

In Tabel 3.3 is te zien dat bij het onbemeste object al een relatief hoge drogestof- en N-opbrengst werd behaald. Bemesting leidde tot een significante stijging van de drogestof- en N-opbrengst, maar er was in het algemeen geen duidelijk verschil tussen de verschillende bemeste objecten. Alleen bij de N-opbrengst was bij object P deze significant lager dan bij de objecten E en N. Ook de N-recovery was lager bij object P. Door de geringe verschillen is het niet goed mogelijk een uitspraak te doen of de mestproducten van elkaar verschilden.

3.2.2 Bemestingsproef snijmais 2023

De drogestof- en N-opbrengsten en de N-recovery van de proef in 2023 zijn weergegeven in *Tabel 3.4*.

Tabel 3.4. *Drogestofopbrengst, N-opbrengst, N recovery in de bemestingsproef met snijmais in 2023.*

Code	Omschrijving object	Drogestofopbrengst ton/ha		N-opbrengst kg/ha		N-recovery %
A	onbemest	14.7	a	125	a	
B	96 N RDM	17.4	b	181	c	58
C	96 N RDM + 60 N km rij	19.3	c	217	d	59
D	144 N feces	15.6	a	151	b	18
E	144 N feces + 60 N urine rij	17.7	b	203	d	38
F	60 N kunstmest in de rij	18.1	bc	183	c	95
G	60 N urine in de rij	17.9	b	185	c	100
LSD		1.2		15.2		
F prob.		<0.001		<0.001		

Uit *Tabel 3.4* blijkt dat een bemesting met alleen drijfmest (object B) leidde tot een significante verhoging van de drogestof- en N-opbrengst t.o.v. de controle. Een verdere aanvulling met 60 kg N per ha met kunstmest in de rij (object C) gaf een verdere significante stijging van de drogestof- en N-opbrengst t.o.v. alleen drijfmest (object B).

Bij een eenzelfde wettelijke werkzame N-aanvoer gaf het gebruik van enkel feces (object D) een significant lagere drogestof- en N-opbrengst in vergelijking met enkel gebruik van drijfmest (object B). De drogestofopbrengst van het feces-object verschilde ook niet significant van de controle, terwijl de N-opbrengst wel significant hoger was dan bij de controle. Wanneer de bemesting met feces werd aangevuld met een rijenbemesting met urine (object E), leidde tot een significante stijging van de drogestof- en N-opbrengst in vergelijking met alleen feces (object D).

Objecten F en G laten zien dat een rijenbemesting van 60 kg N per ha met urine een vergelijkbaar effect gaf dan een rijenbemesting van 60 kg N per ha met kunstmest wat betreft drogestof- en N-opbrengst en N-recovery.

3.3 Demonstratieproeven

In deze paragraaf worden de resultaten van demonstratieproeven beschreven. Dit beperkt zich tot de demonstratieproef in wintertarwe in 2023 en in gras en snijmais in 2024. Zoals eerder aangegeven heeft bij de andere demonstratieproeven geen oogst plaatsgevonden.

3.3.1 Demonstratieproef met dunne mestproducten op klei ZW-Nederland

Het overzicht met de resultaten van de demonstratieproef in 2023 in wintertarwe is weergegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Opbrengstgegevens demonstratieproef wintertarwe Zuidwest-Nederland in 2023.

Mestproduct	Werkzame N-gift kg/ha	Korrelopbrengst ton/ha	Eiwitgehalte %	Vochtgehalte %	N-opbrengst korrel kg/ha
Varkensdrijfmest	216	8,9	9,3	14,2	123
KAS-S	222	8,7	11,0	13,5	144
Urine Lely Sphere	252	8,4	10,0	13,9	126
Ammoniumsulfaat	224	9,0	10,4	14,3	139

Uit Tabel 3.5 blijkt dat de korrelopbrengsten uiteen liepen van 8,4 tot 9,0 ton/ha. De N-opbrengst in de korrel van het object met ammoniumsulfaat lag rond het niveau van de N-opbrengst van het KAS-zwavel-object. Bij de objecten met de urine van Lely Sphere en de varkensdrijfmest was de N-opbrengst wat lager (ondanks dat bij de urine meer N was toegediend). Dit is mogelijk een gevolg dat de door de hoge dosering het niet goed lukte de urine in de mestsluven te houden. Omdat er geen onbehandeld object was aangelegd, kon de N-recovery niet worden berekend.

3.3.2 Demonstratieproef met gras en mais in Beerze

In deze demonstratieproef is op grasland dunne fractie van drijfmest bewerkt met de plasmatechniek (NEO-dRDM) vergeleken met onbewerkte dunne fractie van rundveedrijfmest (dRDM). De opbrengstgegevens zijn weergegeven in Tabel 3.6.

Tabel 3.6. De drogestof en N-opbrengst van het gras bij niet (dRDM) en wel met de plasmatechniek bewerkte dunne fractie (NEO-dRDM) van rundveedrijfmest in de demonstratieproef in Beerze.

Snedes	Object	Drogestofopbrengst	N-opbrengst
		ton/ha	kg/ha
snede 3	dRDM	0.9	18
snede 4	dRDM	0.8	20
totaal 3+4		1.7	39
snede 3	NEO-dRDM	1.2	24
snede 4	NEO-dRDM	1.0	27
totaal 3+4		2.2	51

Uit Tabel 3.6 blijkt dat behandeling van de dunne fractie met de plasmatechniek (NEO-dRDM) in zowel de 3^e als de 4^e snede tot een iets hogere drogestof- en N-opbrengst leidde. Omdat er geen herhalingen waren kon dit niet statistisch worden getoetst.

4 Discussie en conclusies

4.1 Discussie

4.1.1 Toediening op grasland

Geplande en gerealiseerde N-giften

De dosering van de mestproducten is afgestemd op de analyse van een monster van de mestproducten dat circa een week voor het bemesten is genomen. Op basis van het gemeten N-gehalte in dat monster is de dosering bepaald, het streven was een N-aanvoer van 80 kg N per ha. Bij het uitrijden is opnieuw een monster genomen op basis waarvan de gerealiseerde N-gift is afgeleid. Omdat het gehalte in het tweede monster soms afweek van het gehalte in het eerste monster is er som minder of meer N toegediend dan gepland. Dit maakt een directe vergelijking van de drogestof- en N-opbrengst tussen objecten wat lastiger. Daarom is het beter om te kijken naar verschillen in N-recovery, omdat de N-gift hierin is verdisconteerd. Hierbij geldt echter wel de kanttekening dat wanneer er geen sprake is van een lineair verband tussen N-gift en N-opbrengst de N-recovery en daarmee de daarvan afgeleide N-werkingscoëfficiënt, kan worden onderschat of overschat.

N-werking dunne producten

De N-werking van het mestproduct is berekend door de N-recovery van de verschillende mestsoorten te delen door de N-recovery van kunstmest, in dit geval KAS. De N-recovery van KAS varieerde in onze proeven tussen de jaren uiteenlopend van 78% en 101%. De verschillen tussen jaren zullen samenhangen met o.a. verschillen in groeiomstandigheden (verschillen in vochtvoorziening, temperatuur en straling), verschillen in N-levering van de bodem en verschillen in emissies naar de bodem of lucht. In het jaar met de hogere N-recovery was vooral de N-opbrengst van de controle relatief laag. Mogelijk is er in dat jaar minder N in de bodem gemineraliseerd in de proefperiode.

De N-werkingscoëfficiënt van de urinefracties varieerde per product en tussen de jaren. De gerealiseerde stikstofwerking lag tussen 51% en 77%. In 2022 en 2023 werd in het algemeen een lagere N-werking gerealiseerd dan in het jaar 2024. Mogelijk spelen verschillen in ammoniakemissie hierbij een rol. Deze wordt mede bepaald door de temperatuur en de windsnelheid, hoe hoger de temperatuur en hoe hoger de windsnelheid hoe hoger de emissie (Huijsmans et al., 2018). In 2022 en 2023 werden de producten toegepast in de tweede en derde snede en was het bij het bemesten zonnig met temperaturen boven 20 °C. In 2024 zijn de producten in de eerste snede toegepast en was het vochtiger en koeler en was het bewolkt en was ook de windsnelheid lager dan in 2022 en 2023. Bij de ammoniakemissie speelt ook de pH van de mest een rol, hoe hoger deze is, hoe hoger het emissierisico. Binnen de gebruikte urinefracties had met name de koetilet-urine een relatief hoge pH, die circa een procentpunt hoger lag dan bij de urinefracties van Lely Sphere en de kalverurine.

Eerdere berekeningen binnen het BSMO-project hebben laten zien dat op basis van de in het project gemeten samenstelling van de urineproducten (Van Boxmeer et al., 2023) een N-werking mocht worden verwacht van 65-90% (Van Dijk et al., 2023). In onze proeven vonden we een wat lagere N-werking. Een lagere N-werking werd ook gevonden in het onderzoek van mineralenconcentraten. Gemiddeld over de proeven werd een N-werking gevonden van 65% t.o.v. KAS-kunstmest (Van Middelkoop & Holshof, 2012). In het project Vruchtbare Kringloop Achterhoek is de Groene Weide Meststof beproefd (Ehlert & van der Lippe, 2020a/b; Ehlert et al., 2021). Dit is een mengsel van mineralenconcentraat, spuiwater en ureum. In twee van de drie jaren bleef de gewasproductie iets achter bij die van gras bemest met kunstmest. Als één van de oorzaken werd ammoniaktoxiciteit genoemd.

De vraag is wat de oorzaak is van de relatief lage N-werking van de urinefracties t.o.v. KAS. Eén van de oorzaken kan, zoals hierboven al aangegeven, de ammoniakemissie zijn. In het algemeen bevatten de producten veel ammoniak. Soms was ook de pH van het product hoog, zoals bij de urine van het koetilet. Dit verhoogt het risico van ammoniakemissie. Anderzijds zijn de urinefracties qua samenstelling en viscositeit enigszins vergelijkbaar met mineralenconcentraten. Bij mineralenconcentraten bleek de ammoniakemissie duidelijk lager te zijn dan bij rundveedrijfmest (Huijsmans & Hol, 2011). Verder moet worden benadrukt dat de urineproducten zijn toegediend bij een dosering van 80 kg N per ha. In de praktijk zullen urineproducten waarschijnlijk bij lagere doseringen worden toegediend, waardoor de ammoniakemissie mogelijk geringer is.

Bij het onderzoek naar mineralenconcentraten bleek dat de potentiële denitrificatiecapaciteit relatief hoog te zijn (Ehlert et al., 2012). N-verliezen als gevolg van de denitrificatie zouden daarom ook een rol kunnen hebben gespeeld bij de relatief lage N-werking van de urinefracties.

Een andere mogelijke factor voor de lagere N-werking is de vorm van de meststof en de verdeling binnen het veld. De urinefracties zijn vloeibaar en zijn in injectiesleuven toegediend en KAS is een vaste meststof die volvelds is gestrooid. In het eerder genoemde mineralenconcentratenonderzoek werd gevonden dat vloeibare ammoniumnitraat minder goed werkte dan KAS (Van Middelkoop & Holshof, 2012). In ons onderzoek hebben we in 2024 ook een vergelijking meegenomen met vloeibare ammoniumnitraat. Er werd echter geen duidelijk verschil gevonden met KAS. Hierbij werd de vloeibare ammoniumnitraat met straaltjesdoppen redelijk egaal verdeeld over het veld, terwijl de urinefracties in sleuven zijn toegediend.

Bij aanmerking als RENURE-meststof moet een werkingscoëfficiënt van 100% worden gehanteerd. De resultaten van de proeven laten een duidelijke lagere N-werking zien bij de urinefracties. Bij grootschalig gebruik kan dit met name bij lage N-gebruiksnormen de risico's van opbrengstderving verhogen. Een wettelijk N-werkingscoëfficiënt van 80%, zoals die geldt voor dunne fracties, zou dan beter passen. Dit betekent wel dat de producten dan als dierlijke mest worden aangemerkt.

Effecten bewerkte mest met de plasmatechniek

In de veldproeven op grasland is ook gekeken naar de effecten van bewerking van dunne producten met de plasmatechniek. Deze bewerking is toegepast op de urine van het koetoilet (2022) en op de dunne fractie van gescheiden rundveedrijfmest (2023-2024). De bewerking met de plasmatechniek leidde tot een verhoging van het N-gehalte van de mest doordat er nitraat werd gevormd uit luchtstikstof. In vergelijking met het onbewerkte mestproduct zorgde de plasmabewerking ervoor dat er ruwweg 1/3 van de totale hoeveelheid stikstof in de vorm van nitraat aanwezig was. Bovendien verlaagde de plasmabewerking de pH. In vergelijking met de oorspronkelijke mest was deze circa 1-2 pH punten lager wat de risico's van ammoniakemissie bij het toedienen verlaagt.

Vanwege de verschillen in N-aanvoer tussen de onbehandelde en behandelde mestproducten kan bij vergelijking het best worden gekeken naar verschillen in de N-recovery en N-werkingscoëfficiënt. Met name in 2023 was het verschil in N-aanvoer relatief groot (80 kg N per ha bij onbehandeld en 120 kg N per ha bij behandeld). In theorie kan dit bij het behandelde mestproduct leiden tot een lagere N-recovery indien de N-opbrengst niet lineair toeneemt met de N-bemesting. Het bleek echter dat de N-werking van het behandelde product duidelijk hoger was dan van het onbehandelde product. Dit was ook in 2022 het geval. Het positieve effect op de N-werking is waarschijnlijk een gevolg van een hoger gehalte aan minerale N (extra nitraat-N) en mogelijk ook van de lagere pH als gevolg van de plasmabehandeling, waardoor de risico's van ammoniakemissie lager zijn.

In 2024 resulteerde het toepassen van het plasma bewerkte product echter in een afname van de N-werking. Een mogelijke verklaring voor de lagere N-werking is dat er denitrificatie of uitspoeling van N heeft plaatsgevonden, omdat het voorjaar van 2024 erg nat verliep. De aanwezigheid van nitraat in het behandelde mestproduct kan onder natte omstandigheden denitrificatie bevorderen en nitraat spoelt ook gemakkelijker uit dan ammonium. Ook in het bemestingsadvies voor grasland wordt aangegeven dat bij een vroege toediening (1^e snede) ammonium houdende meststoffen juist dan de voorkeur hebben, terwijl later in het jaar ook nitraathoudende meststoffen kunnen worden gebruikt (www.bemestingsadvies.nl). Ook vanuit projectpartner N2 Applied is aangegeven dat zij toepassing van met de plasmatechniek behandelde mestproducten niet adviseren bij koude en natte omstandigheden en dat resultaten waarschijnlijk beter waren geweest bij een toediening in latere snedes. Vanwege vergelijking met andere mestproducten is er in de proef echter voor gekozen ook het met de plasmatechniek behandelde product in de eerste snede toe te dienen.

Zoals hierboven aangegeven kan de pH-daling als gevolg van de plasmabehandeling de risico's van ammoniakemissie bij toediening beperken. Voorafgaand aan het proces wordt drijfmest gescheiden in een dunne en dikke fractie. De dikke fractie bevat ook NH₃ en de risico's van NH₃-emissie bij toediening zijn groter dan bij toediening van dunne mestproducten (Van Bruggen et al., 2024). Het effect van de plasmabehandeling van de dunne fractie dient daarom integraal te worden beoordeeld.

Gestript ammoniumsulfaat

Zoals eerder aangegeven bleek achteraf dat de flowmeter van het ammoniumsulfaat niet goed was afgesteld. Het gevolg was dat er circa 30% minder N is toegediend dan gepland. Hierdoor is het lastiger om op een

juiste wijze de N-werking te bepalen. Als wordt aangenomen dat de relatie tussen de N-gift en de N-opname lineair was, kan bij benadering worden afgeleid dat de N-werking van het ammoniumsulfaat 70-95% bedroeg. Recent onderzoek van Rietra et al. (2024) liet zien dat de N-werking van gestript ammoniumsulfaat vergelijkbaar was met KAS. In het genoemde onderzoek werd de ammoniumsulfaat toegediend met kouters. De pH van het gebruikte ammoniumsulfaat was 3-4, terwijl de pH van het ammoniumsulfaat in ons onderzoek varieerde tussen 5 en 7.

Effect aanzuren urine

Het aanzuren van urine (urine van het koetoilet) is onderzocht in 2022 en 2023. Daarbij is zwavelzuur toegevoegd tot de urine een pH van 5,5 had bereikt. Bij deze lagere pH waarde daalt het risico op ammoniakemissies uit de mest (Roelsma, 1997). Tijdens het toepassen in 2023 bleek dat de pH binnen een uur weer opliep tot de oorspronkelijke pH waarde. In 2023 is het aanzuren getoetst door direct voor het uitrijden de benodigde hoeveelheid zuur toe te voegen. In 2022 is er geen controle geweest op het pH verloop van de aangezuurde urine. Het is om die reden niet bekend wat de pH was op het moment van toepassen. Omdat het effect van het aanzuren beperkt was is deze toepassing niet opgenomen in het onderzoek in 2024. Het aanzuren van drijfmest tijdens het uitrijden wordt genoemd als een perspectievolle methode om emissies te reduceren (Bussink et al., 1994). Aanzuren is momenteel geen wettelijk erkende maatregel om emissies tegen te gaan.

4.1.2 Toediening op bouwland

In de maisproeven is gekeken of een bemesting met feces en urine vergelijkbaar was met de gebruikelijke bemesting met drijfmest aangevuld met kunstmest-N in de rij bij het zaaien.

In de proef van 2022 bleek dat de maximale drogestof- en N-opbrengst al werd behaald bij een basisbemesting met drijfmest met 35 m³ per ha. Een verdere verhoging van het bemestingsniveau resulteerde niet in een verdere toename van de drogestofopbrengst en de N-opname van het gewas. Het is bij deze proef daarom niet goed mogelijk om conclusies te trekken met betrekking tot de N-werking van de verschillende combinaties van mestproducten.

In 2023 is uitgegaan van een lager N-bemestingsniveau waardoor verschillen tussen meststoffen beter aantoonbaar waren. Het bleek dat de N-recovery van het gebruikte fecesproduct toegediend bij eenzelfde wettelijke werkzame N-aanvoer duidelijk lager was dan die van de drijfmest (18% vs 58%). Dat kan een aantal oorzaken hebben. Bij het fecesproduct was circa 1/3 van de stikstof in ammoniumvorm aanwezig. Omdat een vast product minder goed in te werken is als dunne mest kan het zijn dat er meer ammoniak-N is vervluchtigd dan bij gebruik van drijfmest. Daarnaast bestaat bij het fecesproduct een groter deel van de N uit organische N die eerst moet mineraliseren voordat het door het gewas kan worden opgenomen. Dit proces is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden (temperatuur, vochtvoorziening). Mogelijk dat er in het betreffende jaar minder N is vrijgekomen door mineralisatie. Van Geel et al. (2012) vonden bij een vaste fractie van varkensmest ook een relatief groot verschil in N-werking tussen de jaren uiteenlopend van 32% naar 55%. Verder moet worden benadrukt dat in onze proeven alleen de eerstejaarswerking is vastgesteld. Uit onderzoek is bekend dat een deel van de toegediende N pas later vrijkomt en dat bij regelmatige toediening de N-werkingscoëfficiënt stijgt (Schröder et al., 2007). Tenslotte kan ook het toedieningstijdstip een rol spelen bij de N-werking. In de maisproeven zijn deze relatief laat toegediend. Bij een vroegere toediening had de organische N in het fecesproduct mogelijk iets meer kunnen mineraliseren in de periode dat de mais actief N opneemt.

Het toepassen van urine naast de rij had een vergelijkbaar effect op de drogestof en N-opbrengst van de snijmais als de kunstmest-N-rijenbemesting. Dat geeft aan dat de N-werking van de urine vergelijkbaar was met kunstmest. Bij mineralenconcentraten werd bij toediening in aardappelen een N-werking gevonden van 78 tot 86% (van Geel et al., 2012). Schröder et al. (2013) vonden een N-werking van 78% bij gebruik van mineralenconcentraat bij snijmais. De gevonden werking in de genoemde onderzoeken stemden redelijk overeen met de verwachte werking op basis van de samenstelling van het product.

4.2 Conclusies

Toediening op grasland

- De N-werking van urinefracties toegediend op grasland varieerde van 51 tot 77%. Dit is lager dan verwacht werd op basis van de samenstelling van de gebruikte mestproducten. In het algemeen was de N-werking in 2022 (57-64%, toegediend in 2^e snede) en 2023 (51-58%, toegediend in 3^e snede) wat lager dan de N-werking in 2024 (66-77%, toegediend in de 1^e snede).
- Het aanzuren en verdunnen van de urine (toegepast bij de urine van het koetoilet) gaf geen significante verbetering van de N-werking.
- Het bewerken van dunne mestproducten (urine van koetoilet in 2022 en dunne fractie van rundveedrijfmest in 2023 en 2024) leidde in 2022 en 2023 bij toepassing in de tweede en derde snede van grasland tot een significante stijging van de N-werking, terwijl in 2024 (toegepast in de 1^e snede) deze significant lager was dan van het onbewerkte mestproduct.

Toediening bij snijmais

- Het toepassen van urine naast de rij van snijmais resulteerde in een vergelijkbare stikstofwerking als kunstmest in de rij toegediend bij de zaai.
- Het gebruik van fecesproducten als basisbemesting gaf een minder goede N-benutting dan gebruik van drijfmest bij een gelijke aanvoer van wettelijke werkzame N.

Literatuur

Van Boxmeer, E., Verdoes, N., Schilder, H., Galama, P., & Kupers, G. (2023). *Samenstelling mestproducten uit innovatieve stalsystemen in de melkvee-, varkens- en kalverhouderij: PPS, betere stal, betere mest, betere oogst*. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1410). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/588047>

Bussink, D. W., & Huijsmans, J. F. H. M. (1994). Mest aanzuren geeft goede ammoniakreductie. *Praktijkonderzoek / Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Waiboerhoeve*, 7(5), 31-33. <https://edepot.wur.nl/48147>

Ehlert, P.A.I., J. Nelemans en G.L. Velthof, 2012. Stikstofwerking van mineralenconcentraten. Stikstofwerkingscoëfficiënten en verliezen door denitrificatie en stikstofimmobilisatie bepaald onder gecontroleerde omstandigheden. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2314, 98 pp.

Ehlert, P.A.I. & J. van der Lippe, 2020a. Toetsing van de Groene Weide Meststof in de praktijk; Demovelden van de gebiedsgerichte pilot Kunstmestvrije Achterhoek 2018. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3007, 38 pp.

Ehlert, P.A.I. & J. van der Lippe, 2020b. Toetsing van de Groene Weide Meststof in de praktijk; Demovelden van de gebiedsgerichte pilot Kunstmestvrije Achterhoek 2019. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport ISSN 1566-7197, 43 pp.

Ehlert, P.A.I., H.C. de Boer & J. van der Lippe, 2021. Toetsing van de Groene Weide Meststof in de praktijk; Demovelden van de gebiedsgerichte pilot Kunstmestvrije Achterhoek 2020. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3114, 50 pp.

Huijsmans, J.F.M., G.D. Vermeulen, J.M.G. Hol & P.W. Goedhart, 2018. A model for estimating seasonal trends of ammonia emission from cattle manure applied to grassland in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 173, 231-238.

Huijsmans, J.F.M. & J.M.G. Hol (2011). Ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat op beteeld bouwland en grasland. *Plant Research International*, rapport 387.

Puente-Rodríguez, D., Vonk, J. & Verdoes, N. (2025). Perspectief van plasmatechnologie als methaan- en ammoniakemissie reducerende maatregel in de melkveehouderij. Wageningen Livestock Research, Rapport 1553.

Rietra, R., van Dijk, K., & Schoumans, O. (2024). Environmental Effects of Using Ammonium Sulfate from Animal Manure Scrubbing Technology as Fertilizer. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(12), Article 4998. <https://doi.org/10.3390/app14124998>

Roelsma, J. (1997). *Vervluchtiging van ammoniak uit dierlijke mest; literatuuronderzoek ten behoeve van de watersysteemverkenningen*. Staring Centrum. <https://edepot.wur.nl/300727>

Schröder, J.J., Uenk, D. & Hilhorst, G.J., 2007. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant and Soil*, 299, 83-99

Schröder, J.J., W. de Visser, F.B.T. Assinck & G.L. Velthof (2013). Effects of short-term nitrogen supply from livestock manures and cover crops on silage maize production and nitrate leaching. *Soil Use and Management* 29, issue 2: 151-160.

Van Dijk, W., Specken, J., & van Geel, W. (2024). Landbouwkundige en milieukundige effecten van gebruik van mestproducten uit innovatieve stalsystemen in de melkvee-, varkens- en kalverhouderij: Modelmatige

verkenning. (Rapport / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten; No. WPR-1071). Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/648056>

Van Bruggen, C., A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof and T. van der Zee (2024). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2022. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), WOt-technical report 264.

Van Middelkoop, J.C. & G. Holshof, 2012. Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland; Veldproeven 2009, 2010 en 2011. Wageningen UR Livestock Research, rapport nr. 643, 50 p.

Van Geel, W., W. van Dijk & W. van den Berg (2012). Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 475, 68 pp

Websites

www.bemestingsadvies.nl

Bijlage 1. Samenstelling van de in de grasproeven gebruikte meststoffen.

Jaar	Meststof	Dosering	Samenstelling (g/kg)							pH	Dichtheid	Toegediende N	
	meststof	m ³ /ha	Ntotaal ²	N NH ₄	N NO ₃	N totaal opgelost	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃		kg/l	kg/ha	Toedieningswijze
2022	S-KAS		240	0,12	0,12							80	Strooien
2022	Kalverurine	15,7	4,9	4,8	0,1	4,7	0,08	5,5	1,4	8,7	1,2	78	Zodebemester
2022	Urine Lely Sphere	25,1	3,0	2,7	0,0	2,9	0,17	6,2	0,8	7,8		83	Zodebemester
2022	Urine melkvee koetoilet	13,3	5,8	5,3	0,0	5,8	0,02	14,5	2,0	8,9		76	Zodebemester
2022	Urine melkvee koetoilet N2 applied	12,9	7,4	3,4	4,5	8,1	0,02	13,1	1,8	5,2		64	Zodebemester
2022	Ammoniumsulfaat	1,01	61,6	63,2	0,0	64,4	0,03	0,2	170,0	6,9		80	Apaakwielbemester
2022	Effluent stripper	25,3	3,1	1,8	0,0	2,7	1,22	4,9	1,3	8,0		77	Zodebemester
2023	S-KAS	0,33	240	0,12	0,12							80	Strooien
2023	Kalverurine	28,9	3,00	2,7	0,0	3,0		4,8	0,0	7,6		88	Zodebemester
2023	Urine Lely Sphere	29,4	3,1	2,6	0,0	2,8		5,5	0,0	7,7		90	Zodebemester
2023	Urine melkvee koetoilet	11,5	7,2	6,8	0,0	7,3		11,6	0,0	8,9		83	Zodebemester
2023	Urine melkvee koetoilet aangezuurd	11,5	7,6	7,5	0,0	7,9		12,8	0,0	8,9		87	Zodebemester
2023	Dunne fractie RDM plasma bewerkt	19,3	6,2	2,1	2,3	5,5		4,5	0,0	5,5		120	Zodebemester
2023	Dunne fractie RDM onbewerkt	21,4	4,2	2,1	0,0	3,1		4,1	0,0	7,2		90	Zodebemester
2023	Ammoniumsulfaat	1,1	73,7	77,1	0,0	77,2		0,1	0,1	7,0	1,2	92	Spaakwielbemester
2023	Effluent stripper	25,6	3,3	1,7	0,0	2,6		4,8	0,0	8,0		83	Zodebemester

¹ meststoffen zijn geanalyseerd bij CBLB

² analyse via de gemodificeerde Kjeldahl-methode

Bijlage 1. Samenstelling van de in de grasproeven gebruikte meststoffen (vervolg)

Jaar	Meststof	Dosering	g/kg									Dichtheid	Toegediende N	
		m ³ /ha	Ntotaal ²	N-NH ₄	N-NO ₃	N totaal opgelost	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃	pH	kg/l	kg/ha	Toedieningswijze	
2024	S-KAS	0.33	240	0.12	0.12		0	0		0.2		80	Strooien	
2024	Ammoniumnitraat spaakwiel	0.358	180	0.09	0.09		0	0		0.2	1.2	80	spaakwielbemester	
2024	Ammoniumnitraat straaltjedop	0.358	180	0.09	0.09		0	0		0.2	1.2	80	Straaltjesdop	
2024	Kalverurine	39.6	2.02	2.4	0.0	2.5	0.11	3.7		7.8	1.0	93	Zodebemester	
2024	Urine Lely Sphere	38.6	2.07	2.4	0.0	2.5	0.07	3.5		7.6	1.0	100	Zodebemester	
2024	Urine melkvee koetoilet	12.7	6.32	5.1	0.0	6.3	0.07	15.4		8.8	1.0	79	Zodebemester	
2024	Dunne fractie RDM plasma bewerkt	14.8	5.4	1.5	2.7	4.6	1.03	4.5		6.2	1.0	68	Zodebemester	
2024	Dunne fractie RDM onbewerkt	29.7	2.69	1.8	0.2	2.5	1.1	4.6		7.6	1.0	80	Zodebemester	
2024	Ammoniumsulfaat pH hoog	0.79	8.2	82.6	0.3	86.3	0	0		7.2	1.2	84	Spaakwielbemester	
2024	Ammoniumsulfaat pH laag	0.97	7	73.6	0.0	73.1	0	0		3.1	1.2	82	Spaakwielbemester	
2024	Rundveedrijfmest	19.2	4.16	2.2	0.0	2.7	1.51	5.4		7.2	1.0	67	Zodebemester	

¹ meststoffen zijn geanalyseerd bij CBLB

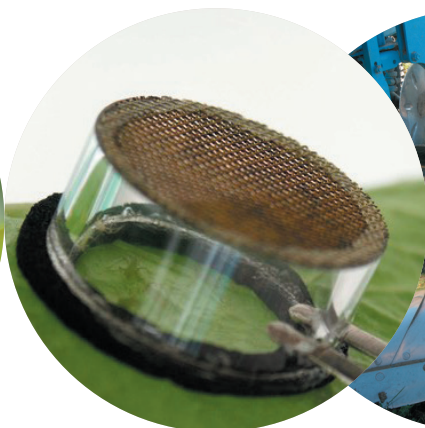
² analyse via de gemodificeerde Kjeldahl-methode

Bijlage 2. Logboek veldproeven gras

Jaar	Datum	Activiteit	Beschrijving
2022	18-mei	Bemesten	Alle objecten bemest conform proefplan
2022	18-mei	Beregenen	15 mm irrigeren
2022	31-mei	Beregenen	25 mm irrigeren
2022	9-jun	Oogst	Oogst snede 2
2022	16-jun	Beregenen	25 mm irrigeren
2022	24-jun	Bemesten	Objecten A, B en J 166 kg/ha Kali-60 gestrooid
2022	7-jul	Beregenen	25 mm irrigeren
2022	11-jul	Oogst	Oogst snede 3
2023	6-jun	Bemesten	Alle objecten bemest conform proefplan
2023	7-jun	Bemesten	Correctiegift K en S met kunstmest
2023	7-jun	Beregenen	25 mm met beregeningshaspel
2023	16-jun	Beregenen	25 mm met beregeningshaspel
2023	22-jun	Beregenen	25 mm met beregeningshaspel
2023	26-jun	Oogst	Snede 3 geoogst
2023	7-jul	Beregenen	25-30 mm met beregeningshaspel
2023	18-jul	Beregenen	25-30 mm met beregeningshaspel
2023	10-aug	Oogst	Snede 4 geoogst
2024	20-mrt	Bemesting	Alle objecten bemest conform proefplan
2024	25-mrt	Bemesting	Correctiegift K en S met kunstmest
2024	10-mei	Oogst	Oogst snede 1
2024	17-jul	Oogst	Oogst snede 2
2024	22-jul	Bemonstering	Bemonstering minerale bodem-N

Bijlage 3. Logboek veldproeven snijmais

Jaar	Datum	Activiteit	Omschrijving
2022	17-Mei	Bemesten	Volvelds minerale meststoffen
2022	18-Mei	Bemesten	Bemesten met de bouwlandinjecteur
2022	18-Mei	Grondbewerken	Ondergrond woeler + vaste tand
2022	18-Mei	Grondbewerken	Spitten
2022	18-Mei	Zaaien	Zaaien SY Skandik 100000 zaden/ha
2022	19-Mei	Bemesten	Object A: correctie op B, P2O5 en K2O
2022	5-Juli	Onderzaai	20 KG/Ha engels raaigras
2022	14-okt	Oogst	Netto oppervlakte 18 m ²
2023	31-Mei	Bemesten	RDM Obj. B,C
2023	5-Juni	Bemesten	Feces Obj. D,E. met de hand verstrooid
2023	6-Juni	Bemesten	Kali 60 voor spitten. Zie schema
2023	7-Juni	Grondbewerken	Vaste tand om kunstmest in te werken
2023	7-Juni	Grondebwerken	Spitten
2023	7-Juni	Zaaien	Mais zaaien. SY Skandik, 100 000 zaden/ha
2023	7-Juni	Bemesten	Urine in de rij
2023	17-Juli	Beregenen	30 mm haspel
2023	19-Okt	Oogst	Alle velden gehakseld. Opbrengst + monster. 3*12 m



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31) 320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

Rapport WPR-OT 1172

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
