

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 359

Voorspelling van de bemestende waarde (N) van runderdrijfmest

Mei 2010



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2010

Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt
geen aansprakelijkheid voor eventuele schade
voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van
dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central
Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting
Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen
met het Departement Dierwetenschappen van
Wageningen University de Animal Sciences Group
van Wageningen UR (University & Research
centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV
onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze
onderzoeksopdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

Herman de Boer (Livestock Research)
Jaap Bloem (Alterra)

Titel

Voorspelling van de bemestende waarde (N)
van runderdrijfmest
Rapport 359

Samenvatting

Rapportage van een experiment waarin de N-
opname van gras uit 39 verschillende
runderdrijfmesten werd gerelateerd aan 22
eigenschappen van deze drijfmest. Doel van
het experiment was de N-opname van gras uit
drijfmest beter te kunnen voorspellen.

Trefwoorden

Drijfmest, voorspelling, bemestende waarde, N-
opname, vergiste mest, vergisting

Rapport 359

Voorspelling van de bemestende waarde (N) van runderdrijfmest

Herman de Boer (Livestock Research)
Jaap Bloem (Alterra)

Mei 2010

Voorwoord

Dit onderzoek werd gefinancierd door Productschap Zuivel (www.prodzuivel.nl). Daarnaast financierde Alterra uit het LNV programma BO-07-010 Agrobiodiversiteit de aanvullende bepaling van de PMN, WSC en HWC. Onze dank gaat uit naar de 28 melkveehouders die aan dit onderzoek hebben willen meewerken, naar Henk Schilder (Livestock Research) voor het verzamelen van de drijfmesten, Jaap Nelemans (Chemisch en Biologisch Bodemlaboratorium, WUR) voor de nauwkeurige uitvoering van het potexperiment en de betrokkenheid bij het onderzoek, An Vos (Alterra, WUR) voor de analyse van de PMN, WSC en HWC, en Geert André en Johan van Riel (beide Livestock Research) voor statistisch advies.

Herman de Boer

Samenvatting

Directe aanleiding voor het in dit rapport beschreven onderzoek was een eerdere waarneming dat de elektrische geleidbaarheid (EC) van drijfmest de N-opname door gras uit deze drijfmest goed kan verklaren. De EC is praktisch gezien een goed bruikbare parameter, omdat de EC door een melkvee-houder zelf gemeten kan worden met een eenvoudig apparaatje. Daarom lag vervolgonderzoek ter validatie van deze waarneming voor de hand. Met vervolgonderzoek konden ook andere vragen rondom runderdrijfmest beantwoordt worden. Er werd daarom een experiment uit-gevoerd met de volgende doelen: (i) validatie van de gevonden relatie tussen EC en N-opname uit runderdrijfmest; (ii) het meten van een aantal nieuwe drijfmesteigenschappen; (iii) het leggen van een directe relatie tussen N-opname en drijfmesteigenschappen; en (iv) het verzamelen van uitgebreide informatie over de kwaliteit van Nederlandse runderdrijfmest. Op verschillende Nederlandse melkveebedrijven werd een aantal drijfmesten (29 onvergist, 10 covergist) verzameld, geanalyseerd op 26 verschillende eigenschappen, en toegediend in een potproef met gras. Vervolgens werden 22 mesteigenschappen gerelateerd aan de drogestofopbrengst en N-opname van vier opeenvolgende grasoogsten.

Uit de resultaten blijkt dat het NH_4 -gehalte (minerale N-gehalte) de beste verklaring gaf van de N-opname uit drijfmest door gras, zowel op de korte termijn (drie weken) ($R^2 = 91\%$) als op de langere termijn (15 weken) ($R^2 = 79\%$). Met de beste verklaring was $\text{NH}_4\text{-N}$ ook de beste voorspeller van de N-opname uit drijfmest. Hoewel $\text{NH}_4\text{-N}$ de beste verklaring gaf voor de N-opname uit alle drijfmesten, was de verklaring van de N-opname uit alleen onvergiste drijfmest slecht ($R^2 = 37\%$ op korte termijn, $R^2 = 27\%$ op langere termijn). Deze verklaring kon niet verbeterd worden door aanvullend gebruik te maken van andere mesteigenschappen. De N-opname uit covergiste drijfmest kon echter vrijwel volledig verklaard worden door $\text{NH}_4\text{-N}$, zowel op korte termijn ($R^2 = 98\%$) als op langere termijn ($R^2 = 96\%$). De N-opname uit covergiste drijfmest kon daarmee even betrouwbaar voorspeld worden als de N-opname uit kunstmest. Naast de eerder gerapporteerde hogere N-werking van covergiste drijfmest op korte termijn, kan nu ook een volledige voorspelbaarheid als voordeel toegevoegd worden.

De resultaten suggereren dat er voor de meeste melkveehouders relatief weinig winst te behalen valt met het analyseren van hun onvergiste drijfmest op $\text{NH}_4\text{-N}$. Analyse lijkt vooral zinvol bij aanwijzingen dat het gehalte duidelijk zal afwijken van het gemiddelde. Anders lijkt gebruik van een standaard $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte te volstaan. Verder onderzoek is echter nodig voordat een definitieve conclusie kan worden getrokken. Analyse van covergiste drijfmest op $\text{NH}_4\text{-N}$ heeft duidelijk meerwaarde, en kan de benutting van N uit drijfmest en aanvullende kunstmest verbeteren.

Uit de resultaten blijkt verder dat de EC van runderdrijfmest op de korte termijn een goede verklaring gaf van de N-opname door gras ($R^2 = 80\%$). Op de langere termijn nam de verklaring van de N-opname ($R^2 = 62\%$) snel af. De verklaring van de N-opname door de EC was minder goed dan de verklaring door $\text{NH}_4\text{-N}$. Vanwege de eenvoudige bepaling is de EC mogelijk toch een geschikte meting voor praktische toepassingen.

De C/N-verhouding van runderdrijfmest had geen goede relatie met de N-opname door gras. De N-opname als gevolg van mineralisatie van organische N in de drijfmest (nawerking van drijfmest) werd beter verklaard door de afbreekbaarheid van de organische stof ($R^2 = 45\%$) of het organische koolstofgehalte ($R^2 = 38\%$) dan door de C/N-verhouding ($R^2 = 18\%$). Drijfmesteigenschappen die informatie geven over de mogelijke immobilisatie van N uit drijfmest in de bodem (BZV, CZV, VFA, TOC, WSC, HWC, DOC, RC, VC-OS, NDF, ADF) konden de verklaring van de N-opname, en daarmee ook de voorspelling, niet verbeteren.

Voor de praktijk lijkt het niet langer nodig om voor de voorspelling van de N-opname van grasland uit runderdrijfmest (eerste vier sneden na bemesting) nog gebruik te maken van het gehalte organische N. Het gebruik van minerale N lijkt te volstaan. Wel dient er duidelijk onderscheid gemaakt te worden tussen onvergiste en covergiste drijfmest. De rekenregels in de Bemestingsadviesbasis kunnen op basis van deze informatie aangepast worden.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Drijfmestverzameling.....	2
2.2	Drijfmestanalyse.....	2
2.3	Analysemethoden	3
2.4	Experimentele opzet potexperiment	4
2.5	Uitvoer potexperiment.....	5
2.6	Berekeningen en statistische analyse.....	8
3	Resultaten.....	9
3.1	Drogestofopbrengst, N-opname en ANR.....	9
3.2	Relaties tussen N-opname en drijfmesteigenschappen	9
3.3	Relaties tussen drogestofopbrengst en drijfmesteigenschappen	12
4	Discussie	13
4.1	Representativiteit van de set drijfmesten	13
4.2	Verschillen in voorspelbaarheid tussen onvergiste en covergiste drijfmest	13
4.3	Vertaling van potomstandigheden naar veldomstandigheden.....	14
4.4	Betekenis van N-immobilisatie voor de voorspelling	15
4.5	Bruikbaarheid van drijfmesteigenschappen op het melkveebedrijf	16
5	Conclusies.....	17
	Praktijktoepassing.....	18
	Referenties	19
	Bijlage	21

1 Inleiding

Voor Nederlandse veehouders en akkerbouwers is het belangrijk om de stikstofwerking van dierlijke mest goed in te kunnen schatten. Hierdoor kan een aanvullende gift met kunstmest optimaal afgestemd worden op de gewasbehoefte, en wordt stikstof (N) optimaal benut. Momenteel kan de N-werking van drijfmest voorspeld worden met behulp van rekenregels in de Adviesbasis voor bemesting van grasland en voedergewassen (www.bemestingsadvies.nl). Uit onderzoek (Bruinenberg en Van Middelkoop, 2004) blijkt echter dat de gerealiseerde N-werking vaak afwijkt van de voorspelde N-werking. Zo werd in dit onderzoek de N-werking in de eerste snede van grasland door de Adviesbasis systematisch te laag geschat: op 30% in plaats van de gerealiseerde 44%. Een 14 procentpunten te laag ingeschatte N-werking betekent dat er bij een gift van 30 ton ha⁻¹ runderdrijfmest 30 x 4,0 x 0,14 = 17 kg N ha⁻¹ met KAS teveel geadviseerd wordt. Dit geeft een 25 tot 36% te hoge KAS-bemesting bij een totale werkzame gift van 100 tot 120 kg N ha⁻¹. Wat betreft afwijkende mestsoorten, zoals covergiste mest, zou de Adviesbasis ook een afwijkende inschatting kunnen geven. Gezien het voorgaande is er behoefte aan een betere voorspelbaarheid van de N-werking van drijfmest.

In eerder onderzoek leek de elektrische geleidbaarheid (EC) van drijfmest een goede verklaring te geven van de schijnbare N benutting (apparent N recovery, ANR) door gras (Bijlage1). Mogelijk kan door meting van de EC van drijfmest de voorspelling van de N-werking verbeterd worden. De EC is een aantrekkelijke parameter, omdat de EC door een melkveehouder zelf gemeten worden met een eenvoudig apparaatje. Validatie van deze waarneming in vervolgonderzoek was daarom gewenst. Voor een goede validatie was een maximale variatie in EC noodzakelijk. Dit betekende dat op een aantal uiteenlopende melkveebedrijven bemonsterd moest worden. Tegelijk was er de vraag of de EC weer gebruikt moest worden om de (afgeleide) ANR te verklaren, of beter gebruikt kon worden om de daadwerkelijke N-opname uit drijfmest te verklaren.

Internationaal is de gewoonte ontstaan om drijfmesteigenschappen te gebruiken om de ANR te verklaren. ANR is een standaardisatie van de N-opname op de totale N-gift (100 % x (N-opname bij bemesting - N-opname zonder bemesting)/N-gift met mest). Bij deze standaardisatie wordt impliciet aangenomen dat de totale N-gift met drijfmest de totale N-opname door een gewas uit die mest bepaalt. Op langere termijn (één tot meerdere jaren) zal dit zeker het geval zijn (input = output). Op korte termijn (enkele weken tot maanden) wordt de N-opname mogelijk sterker bepaald door drijfmesteigenschappen die een indicatie geven van de directe N-beschikbaarheid. Een nadeel van de verklaring van ANR door drijfmesteigenschappen is dat deze eigenschappen dan ook op totale N-gift gestandaardiseerd dienen te worden. Voor eigenschappen zoals EC of pH is een dergelijke standaardisatie niet mogelijk of zinvol. Verklaring van de daadwerkelijke N-opname in plaats van de ANR door drijfmesteigenschappen heeft als voordeel dat alle relaties dezelfde basis hebben, en daarom goed vergeleken kunnen worden. Tot slot geeft het verklaren van de ANR door drijfmesteigenschappen het risico van afwijkingen in de gevonden relaties, omdat de ANR een afgeleide/omgerekende parameter is. Bij het leggen van een directe relatie met de N-opname bestaat dat risico niet.

Gezien het voorgaande lag het bij de voorgenomen validatie voor de hand om te kiezen voor een onderzoeksopzet met een directe koppeling van N-opname door gras aan drijfmesteigenschappen. Interessant is dat dergelijke directe relaties zelden of nooit gemeten (of gepubliceerd) zijn. Het onderzoek gaf daarmee een unieke kans om meer drijfmesteigenschappen dan alleen EC direct te koppelen aan de N-opname. Zo zouden bijvoorbeeld ook eigenschappen die informatie geven over de afbraak van organische stof uit drijfmest, en daarmee van immobilisatie van N in de bodem, aan de N-opname gekoppeld kunnen worden. Tot slot kon het onderzoek ook gebruikt worden om diverse kwaliteitsaspecten van Nederlandse runderdrijfmest uitgebreider in kaart te brengen dan tot nu toe gedaan is.

Op basis van de bovenstaande overwegingen is een experiment uitgevoerd met de volgende doelen: (i) validatie van de relatie tussen EC en N-opname uit runderdrijfmest; (ii) het meten van een aantal nieuwe drijfmesteigenschappen; (iii) het leggen van een directe relatie tussen N-opname en alle te meten drijfmesteigenschappen; en (iv) het verzamelen van uitgebreide informatie over de kwaliteit van Nederlandse runderdrijfmest. In dit rapport zijn de resultaten van het experiment beschreven en kort bediscussieerd.

2 Materiaal en methoden

2.1 Drijfmestverzameling

Runderdrijfmest ($n = 39$) werd verzameld op 28 verschillende melkveebedrijven in verschillende delen van Nederland, in de maanden december (2008) en januari (2009). Op 11 bedrijven werden twee verschillende partijen verzameld. Op acht bedrijven werd mest verzameld van zowel onvergiste als covergiste drijfmest, en op drie bedrijven werd naast melkveemest ook jongveemest verzameld. De selectie van de bedrijven was gebaseerd op bestaande kennis over voerstrategie en drijfmest-behandeling, en richtte zich op het realiseren van een maximale variatie in drijfmesteigenschappen. Factoren die een rol speelden in selectie van de bedrijven waren de samenstelling van het ruwvoer-rantsoen (tussen 100% grassilage en 100% snijmaïssilage), het krachtvoerniveau in het rantsoen, het eiwitgehalte in het rantsoen, de bedrijfsvoering (gangbare en alternatieve systemen), en drijfmest-behandeling. Van de tien covergiste mesten waren drie mesten afkomstig van de dunne fractie na scheiding (eerst covergisten, dan scheiden). Twee van deze covergiste mesten waren gescheiden met een schroefpers en één met een trommelscheider. De drijfmest werd bemonsterd uit de opslag, nadat de mest in de kelder eerst was gemixt door de melkveehouder. Bij het verzamelen werd een hoeveelheid van 9 liter in een emmer gedaan, goed gemixt, en gesplitst in negen submonsters: zeven van 1 liter en 2 van 0,5 liter. De submonsters werden in een genummerde plastic pot ingevroren bij -18°C .

2.2 Drijfmestanalyse

De submonsters werden geanalyseerd op drogestofgehalte, asgehalte, dichtheid, capillary suction time (CST), totaal N, totaal P, totaal K, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, opgelost organisch N (DON), potentieel mineraliseerbare N (PMN, anaeroob), pH, elektrische geleidbaarheid (EC), biologisch zuurstofverbruik (BZV), chemisch zuurstofverbruik (CZV), vluchtige vetzuren (VFA), totaal organisch C (TOC), wateroplosbaar organisch C (WSC), wateroplosbaar inorganisch C (WSIC), heet-water extraheerbaar organisch C (HWC), opgelost organisch C (DOC), ruwe celstof (RC), in-vitro verteerbare organische stof (VC-OS), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), en acid detergent lignin (ADL). De eigenschappen drogestofgehalte, asgehalte, totaal NPK, en $\text{NH}_4\text{-N}$ werden onder andere geanalyseerd omdat deze deel uitmaken van een standaard drijfmestanalyse in Nederland. De analyseresultaten voor totaal P en K zijn in dit rapport alleen weergegeven om de gebruikte drijfmesten te beschrijven, maar niet gerelateerd aan drogestofopbrengst en N-opname van het gras. De dichtheid (soortelijk gewicht) werd geanalyseerd omdat Moral et al. (2005) een significante ($P = 0,01$) correlatie vond tussen dichtheid en $\text{NH}_4\text{-N}$ in varkensdrijfmest. De CST wordt meestal gebruikt als maatstaf voor de waterafgifte van een slib aan/in een poreus medium, in dit geval chromatografisch filterpapier. CST wordt uitgedrukt in tijdseenheden, en wordt vanwege het constant houden van de omgevingsomstandigheden alleen bepaald door de ontwateringsnelheid van het slib. CST werd geanalyseerd omdat dit kenmerk een indicatie geeft van verschillen tussen drijfmesten in de snelheid waarmee de vloeibare fractie in de bodem kan worden opgenomen. CST is daarmee o.a. gekoppeld aan viscositeit. Drijfmest met een hogere viscositeit wordt langzamer door de bodem opgenomen, en emitteert daardoor meer NH_3 (Sommer et al., 2003), waardoor het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte afneemt, en daarmee de bemestende waarde. Totaal N, $\text{NH}_4\text{-N}$, DON, en PMN zijn drijfmesteigenschappen waarvan verwacht kan worden dat ze een dominant effect op de N-levering van drijfmest aan gewassen zullen hebben. $\text{NO}_3\text{-N}$ werd geanalyseerd om vast te stellen dat de drijfmesten geen nitraat bevatten. De pH werd geanalyseerd omdat dit kenmerk gekoppeld is aan $\text{NH}_4\text{-N}$ en VFA in drijfmest (Paul en Beauchamp, 1989). EC werd geanalyseerd omdat dit kenmerk gekoppeld kan worden aan de mineralisatiestatus van drijfmest. Drijfmest die meer gemineraliseerd is kan een hogere EC hebben, als gevolg van het vrijkomen/de vorming van zouten bij de afbraak van organische stof. Bekend is dat er een sterke correlatie kan zijn tussen EC en $\text{NH}_4\text{-N}$ (Moral et al., 2005; Provolò en Martinez-Suller, 2007). De BZV, CZV, VFA, TOC, WSC, HWC, DOC, RC, VC-OS, NDF, ADF, en ADL werden geanalyseerd omdat deze eigenschappen indicatief kunnen zijn voor de afbreekbaarheid van de organische stof in drijfmest, en daardoor ook een indicatie kunnen geven van het potentieel van een drijfmest om N vast te leggen in de bodem. WSIC ($\text{WSIC}_{20^{\circ}\text{C}}$) werd gemeten als bijproduct bij de meting van WSC. WSIC wordt alleen weergegeven ter beschrijving van de gebruikte drijfmesten, maar wordt vanwege de sterke correlatie met WSC verder niet gekoppeld aan drogestof-opbrengst of N-opname. Bij VFA werd het gehalte VFA-C berekend op basis van de C-gehalten van de verschillende vetzuren, om zo aanvullende informatie te geven over de C-samenstelling van de drijfmest. Vanwege de sterke correlatie van VFA-C met VFA wordt ook deze berekende parameter niet gerelateerd aan drogestofopbrengst of N-opname. Van de geanalyseerde eigenschappen zijn het drogestofgehalte,

dichtheid, pH en EC eenvoudig zelf te bepalen op het bedrijf. Hierdoor zijn deze parameters extra interessant als mogelijke voorspellers van de N-levering door drijfmest, omdat veehouders ze zelf kunnen bepalen.

2.3 Analysemethoden

Het drogestofgehalte werd bepaald door het drogen van drijfmest bij 103°C. Het asgehalte werd bepaald door het gloeien van het gedroogde materiaal in een oven bij 550°C. Op basis van het drogestofgehalte en het asgehalte kon het gehalte organische stof berekend worden als: (drogestof – as). De dichtheid werd gravimetrisch bepaald. De CST werd bepaald door middel van een standaardmethode (APHA, AWWA, WPCF, 1985). Voor bepaling van het totaalgehalte aan N, P, en K, werd verse drijfmest eerst gedestruëerd door toediening van zwavelzuur, en de toediening van waterstofperoxide in de aanwezigheid van kopersulfaat (NEN procedure 7433, NEN). Het totale N-gehalte werd vervolgens bepaald door middel van stoomdestillatie van NH_3 na toevoeging van natriumhydroxide, gevolgd door titratie van het destillaat met een oplossing van zoutzuur in water (NEN procedure 7434). Het totale P-gehalte in het destruaat werd fotometrisch bepaald (bij 885 nm, Unicam UV300 spectrophotometer) als het fosfomolybdaatcomplex na reductie met ascorbinezuur (NEN procedure 7435). Het totale K-gehalte in het destruaat werd bepaald door vlamfotometrie (766,5 nm, Instrumentation Laboratories Flame Photometer Type 243) na verdunning en toevoeging van lithium (NEN procedure 7436). $\text{NH}_4\text{-N}$ werd bepaald in verse drijfmest na de toevoeging van een fosfaatbuffer, stoomdestillatie van de gevormde NH_3 , en titratie van het destillaat met zwavelzuur (NEN procedure 7438). DON werd bepaald met behulp van een autoanalyzer (Skalar SAN++, Skalar Analytics, Breda). Voor analyse werd een monster verse drijfmest eerst gehomogeniseerd, gecentrifugeerd (10.000 toeren), gefilterd (0,45 μm), en verdund met water (afhankelijk van de gemeten concentratie 600 tot 1000 keer). Daarna werden totaal opgeloste N, $\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NO}_2\text{-N}$, en $\text{NH}_4\text{-N}$ bepaald. De opgeloste organische N werd berekend als: (totaal opgeloste N – ($\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NO}_2\text{-N}$) – $\text{NH}_4\text{-N}$). Het $\text{NO}_3\text{-N}$ gehalte (zonder eventueel $\text{NO}_2\text{-N}$) werd bepaald met behulp van ion chromatografie, waarbij onderdrukte geleidsbaarheiddetectie werd toegepast (Dionex ED50, Dionex IonPack AS17-C column). Voorafgaand aan de analyse werd verse drijfmest gemixt met een immersion blender (NEN 7430), gecentrifugeerd, en werd het centrifugevocht 50 keer verdund met water. PMN werd gemeten door incubatie van 16 gram verse mest in 40 ml demiwater ('in slurry', dus onder water) gedurende 1 week bij 40°C (Keeny en Nelson, 1982; Canali en Benedetti, 2006). Deze zuurstofarme omstandigheden zijn optimaal voor een snelle mineralisatie van organische stof door anaerobe bacteriën. De afwezigheid van zuurstof voorkomt omzetting van NH_4 in NO_3 , waardoor er geen stikstof verloren kan gaan door denitrificatie. De hoeveelheid minerale stikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$) die vrijkomt is een maat voor de kwaliteit (N-gehalte en afbreekbaarheid) van de organische stof in mest. PMN werd berekend door het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte voor incubatie in mindering te brengen op het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte na incubatie. Het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte werd gemeten met een Skalar Scan Plus autoanalyzer, na extractie van de drijfmest met 2 M KCl en filtratie. De pH werd gemeten in verse drijfmest met een standaard elektrode, gekoppeld aan een Orion 520a pH meter. De EC werd eveneens gemeten in verse drijfmest, met een CT1 electrode, gekoppeld aan een WTW LM8 EC meter. De BZV_5 werd gemeten met behulp van de Oxitop® methode. Met Oxitop® worden veranderingen in gasdruk in gesloten flessen gemeten, die samenhangen met het microbiologische zuurstofverbruik in die flessen (Veeken et al., 2005). CZV werd gemeten met een standaardmethode (APHA, AWWA, WPCF, 1985). VFAs werden bepaald na het centrifugeren van verse drijfmest, en verdunning van het centrifugevocht met water (1:10). Het verdunde monster werd opnieuw verdund met 3% formalinezuur, en opnieuw gecentrifugeerd. De VFA in het centrifugevocht werden bepaald met een Hewlett-Packard (Palo Alto, CA) 5890 gas chromatograaf, uitgerust met een vlamionisatiedetector. Hierbij werd N_2 -gas, verzadigd met formalinezuur, gebruikt als drager. Het injectievolume was 1 μl , de interne diameter van de kolom was 2 mm, en de kolom was gevuld met 10% Fluorad FC-341 op Supelcoport 100-200 gaas. De kolomtemperatuur, detectietemperatuur, en injectietemperatuur waren 130, 280 and 200 °C, respectievelijk. TOC werd bepaald in verse drijfmest met behulp van een aangepaste Kurmies methode (Houba et al., 1997), na droging van de drijfmest op 70°C. Water soluble carbon (WSC) werd gemeten als de hoeveelheid opgelost koolstof na 30 minuten extractie van 4 gram mest in 30 ml demi water bij 20°C (Ghani et al., 2003). Na extractie werden zowel het totale opgeloste C-gehalte ($\text{WSTC}_{20^\circ\text{C}}$) als ook het opgeloste anorganische C-gehalte ($\text{WSIC}_{20^\circ\text{C}}$) gemeten met een Shimadzu TOC analyzer (Shimadzu Scientific Instruments, Columbia, USA), na filtratie over TOC-vrije filters (0,45 μm). WSC werd berekend als ($\text{WSTC}_{20^\circ\text{C}}$ – $\text{WSIC}_{20^\circ\text{C}}$). Hot Water extractable Carbon (HWC) werd gemeten na incubatie van 4 gram mestmonster in 30 ml heet water gedurende 16 uren bij 80°C. Na extractie werden zowel het totale opgeloste C-gehalte ($\text{WSTC}_{80^\circ\text{C}}$) als ook het opgeloste anorganische C-gehalte ($\text{WSIC}_{80^\circ\text{C}}$) gemeten met een Shimadzu TOC analyzer (Shimadzu Scientific Instruments, Columbia, USA), na filtratie over TOC-vrije filters (0,45 μm). De HWC werd berekend als

($WSTC_{80^{\circ}C} - WSTC_{20^{\circ}C} - WSIC_{80^{\circ}C} - WSIC_{20^{\circ}C}$). De HWC is hierbij de WSC die extra vrijkomt door de extractie met heet water. WSC en HWC zijn beide een maat voor de gemakkelijk afbreekbare (labiele) organische koolstof. DOC werd bepaald door middel van een autoanalyser (Skalar SAN++, Skalar Analytics, Breda). Voorafgaand aan de analyse werd de drijfmest gehomogeniseerd, gecentrifugeerd (10.000 toeren), gefilterd (0,45 μm), en verdund met water (600 tot 1000 keer, afhankelijk van de concentratie). De RC, VC-OS, NDF, ADF, en ADL werden bepaald in gedroogde drijfmest (40°C). De RC werd bepaald volgens NEN procedure 5415. De VC-OS werd bepaald volgens Tilley en Terry (1963), en NDF, ADF en ADL volgens Goering en Van Soest (1970) en Van Soest et al. (1991). Een beschrijvend overzicht van de gemeten drijfmesteigenschappen is gegeven in Tabel 1. Alle eigenschappen die niet direct werden bepaald in verse drijfmest, zijn omgerekend naar hun waarde in verse drijfmest (met behulp van het drogestofgehalte).

Tabel 1 Overzicht van de eigenschappen van onvergiste (n=29) en covergiste (n=10) Runderdrijfmest (uitgedrukt per eenheid vers materiaal)

Kenmerk	Onvergiste drijfmest				Covergiste drijfmest			
	Min.	Max.	Gem.	SD	Min.	Max.	Gem.	SD
DS (g kg ⁻¹)	49,0	125	93,7	19,1	49,9	114	75,5	20,2
As (g kg ⁻¹)	12,1	33,2	22,1	4,68	15,2	50,1	27,4	10,2
Dichtheid (kg L ⁻¹)	1,019	1,051	1,035	0,008	1,023	1,049	1,035	0,009
CST (min.)	20,6	115	54,1	22,2	24,9	159	71,9	49,9
Totale N (g kg ⁻¹)	2,80	5,20	4,40	0,69	3,25	7,26	5,09	1,31
Totale P (g kg ⁻¹)	0,42	1,00	0,71	0,17	0,37	1,55	0,90	0,34
Totale K (g kg ⁻¹)	2,95	6,24	4,87	0,91	2,54	8,64	4,80	1,72
NH ₄ -N (g kg ⁻¹)	1,44	2,60	2,01	0,29	1,81	4,02	2,76	0,80
NO ₃ -N (g kg ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DON (g kg ⁻¹)	0,19	0,72	0,35	0,11	0,22	0,94	0,46	0,25
PMN (g kg ⁻¹)	0,17	0,77	0,42	0,16	-0,06	0,51	0,26	0,19
pH (-log[H ⁺])	6,61	7,59	7,07	0,25	7,03	8,10	7,74	0,29
EC (mS cm ⁻¹)	13,6	24,4	19,2	2,56	17,8	34,5	27,8	5,40
BZV (g O ₂ kg ⁻¹)	7,02	21,4	14,3	3,73	2,85	10,7	5,56	2,13
CZV (g O ₂ kg ⁻¹)	55,5	158	114	26,8	47,6	112	77,0	19,5
VFA (g kg ⁻¹)	4,06	12,6	8,97	2,35	0,34	1,73	0,98	0,55
VFA-C (g kg ⁻¹)	1,74	5,64	3,95	1,07	0,16	0,75	0,43	0,24
TOC (g kg ⁻¹)	20,0	53,9	38,2	8,83	17,3	49,8	28,6	10,2
C/N (TOC/totale N)	6,27	11,2	8,61	1,16	3,29	6,86	5,58	1,03
WSC (g kg ⁻¹)	4,98	12,6	8,93	1,94	2,75	7,67	4,90	1,67
WSIC (g kg ⁻¹)	0,23	1,74	0,96	0,34	1,92	3,46	2,62	0,60
HWC (g kg ⁻¹)	1,16	4,86	2,47	0,94	0,68	3,09	1,99	0,74
DOC (g kg ⁻¹)	3,40	8,53	5,82	1,38	1,37	4,87	2,72	1,23
RC (g kg ⁻¹)	7,41	32,2	18,3	5,53	1,38	14,3	9,12	4,18
VC-OS (g kg ⁻¹)	8,00	30,6	19,0	5,35	6,94	16,3	12,5	3,75
NDF (g kg ⁻¹)	16,0	59,3	37,5	10,8	5,43	30,0	20,3	7,69
ADF (g kg ⁻¹)	10,4	42,0	25,3	7,17	5,43	27,7	17,8	6,96
ADL (g kg ⁻¹)	3,93	15,1	9,99	2,66	3,36	18,8	9,50	4,30

2.4 Experimentele opzet potexperiment

De drijfmesten werden toegediend aan potten met een bestaande graszode, waarin een injectiegleuf was aangebracht. Alle 39 drijfmesten werden één keer geïnjecteerd, op een niveau van 80 g verse drijfmest (= 25,5 ton ha⁻¹). Drie potten zonder N-bemesting dienden als controle. Deze potten werden behandeld als de potten met drijfmesttoediening, inclusief injectiegleuf, maar er werd geen mest toegediend. Drie andere potten dienden als controle met KAS bemesting. Deze potten werden behandeld als de potten met drijfmesttoediening, inclusief injectiegleuf, maar in plaats van 80 g drijfmest werd er 0,57 g KAS pot⁻¹ toegediend. Dit komt overeen met een N gift van 50 kg N ha⁻¹, ruwweg gelijk aan de verwachte gemiddelde bemesting van de drijfmestbehandelingen (onvergist) met NH₄-N. Uiteindelijk werd gemiddeld 56 kg NH₄-N ha⁻¹ toegediend (37 tot 102 kg NH₄-N ha⁻¹).

2.5 Uitvoer potexperiment

Aan het begin van de proef werden 42 potten gevuld met grond, bemest, en ingezaaid met gras. De gebruikte Mitscherlich potten (hoogte 20 cm, diameter 20 cm, inhoud 6,28 L) werden eerst gevuld met 3,5 kg luchtdroge (40°C), gezeefde (1 cm) grond, welke gemixt werd met 770 ml gedeïoniseerd water. De zandgrond had een pH-KCl van 5,1, bevatte 5,43% organische stof, 2,88% organische C, 0,181% N, 0,0518% P, 0,0482% K, 3% klei (lutum), en 92% van de minerale deeltjes was groter dan 50 µm. Een volgende 2 kg luchtdroge grond werd gemixt met gemalen meststoffen (157 mg N met KAS (27% N), 137 mg P met tripelsuper fosfaat (20% P) en 391 mg K met kalisulfaat (41% K, 18% S)). Een vloeibare basisbemesting (5 ml spoorelementen, 5 ml FeEDTA, en 40 ml CaCl₂ (0,5 M L⁻¹)) werd gemixt met 390 ml gedeïoniseerd water, en daarna gemixt met de 2 kg luchtdroge grond. Deze grond werd daarna in de pot aangebracht, bovenop de 3,5 kg die al aanwezig was. Daarna werd 1 kg luchtdroge grond gemixt met 220 ml gedeïoniseerd water, en eveneens in de pot gebracht. Deze laag diende als kiemlaag voor de graszaden. Na het vullen van een pot was de vochttoestand gelijk aan 60% van de vloeigrens (~ WHC) (360 ml water kg⁻¹ grond). Na het vullen van de pot werd midden in de pot een plastic buis (lengte 16 cm, ø 3 cm) aangebracht voor de dagelijkse watergift. Daarna werd de toplaag losgemaakt, en werden per pot 4 g zaden van Engels raaigras (*Lolium perenne*, c.v. Pomposo) gezaaid rondom de bewateringsbuis. De toplaag werd daarna voorzichtig aangedrukt, en het potgewicht werd op de pot geschreven met een watervaste stift. De toplaag werd besproeid met wat water, en de potten werden in een klimaatcel geplaatst. Tot het moment van opkomst van de zaden (na vier tot vijf dagen) werden de potten afgedekt met een doorzichtige plasticfolie.

De dag/nachtlengte in de klimaatcel werd afgesteld op 16/8 uur, de dag/nachttemperatuur op 20/18°C, en de relatieve luchtvochtigheid op 80%. Licht werd geleverd door Philips SON-T 400 groeilampen, en de lichtintensiteit op gewashoogte was 70 W m⁻². De potten werden iedere dag gewogen, en het water dat verdwenen was als gevolg van verdamping werd aangevuld met gedeïoniseerd water. Iedere dag werden de potposities gerandomiseerd. Na 35 dagen werden de potten bemest met drijfmest. Eerst werd het gras geknipt op 6 cm hoogte. De verse opbrengst van vier willekeurig gekozen potten werd gewogen en gedroogd (70°C) om de opbrengst te bepalen (15,2 g pot⁻¹, of 4,8 ton ds ha⁻¹). Na het oogsten werden de potnummers gerandomiseerd, en iedere drijfmest toegediend aan één pot. Om overmatige water-toediening gedurende en na de drijfmesttoediening te voorkomen (en daarmee lekkage van water en nutriënten) was de dagelijkse watertoediening twee dagen voor de drijfmesttoediening beperkt, waardoor een verdampingstekort van 150 ml pot⁻¹ gerealiseerd was. De injectiegleuven werden gemaakt met een plamuurmes, hadden een V-vorm, waren 5 cm diep en 2 cm breed, en daarmee grofweg vergelijkbaar met injectiegleuven in de praktijk. Na het maken van de gleuven werd 80 g verse drijfmest in de sleuf gegoten. Bij dikkere mesten werd een lepel gebruikt om ook de laatste restjes in de gleuf te brengen. De gleuven bleven na de mesttoediening open. Na toediening van de mest werd er twee dagen geen water toegediend, om emissie van NH₃ en het verloop van andere processen niet te verstoren. Na twee dagen werd een korte regenbui gesimuleerd. Vanaf dag drie kregen de potten weer water toegediend door de bewateringsbuizen. Op de derde dag kregen de potten een aanvullende bemesting met tripelsuper fosfaat (137 mg P) en kalisulfaat (391 mg K), opgelost in het water. Ter bepaling van de drogestof-opbrengst en de N-opname werd het gras vier keer geoogst: 23, 51, 79 en 107 dagen na toediening van drijfmest. Na de eerste, tweede en derde oogst kregen de potten een aanvullende bemesting met tripelsuper fosfaat (137 mg P) en kalisulfaat (391 mg K), opgelost in water. Bij de vierde en laatste oogst werd de opbrengst van de stoppels (0–6 cm) ook bepaald. Om de drogestofopbrengst te bepalen werd de verse opbrengst gewogen, gedroogd bij 70°C, en teruggewogen. Het totale N-gehalte in de drogestof werd bepaald door middel van SFA, na destructie van het droge materiaal met zwavelzuur – salicylzuur – waterstofperoxide – selenium (Houba et al., 1997).



Foto 1 Monsterpotten van alle runderdrijfmesten gebruikt in de potproef



Foto 2 Toediening van de drijfmest



Foto 3 Resultaat van de drijfmesttoediening



Foto 4 Potten in de klimaatcel, met rechts de potten net vóór en links de potten net na de eerste oogst

2.6 Berekeningen en statistische analyse

De drogestofopbrengst en N-opname werden omgerekend van g pot⁻¹ naar ton ha⁻¹ door te delen met de factor 0,0031416. De schijnbare N recovery (ANR) van de drijfmesten werd berekend als:

$$\text{ANR} = 100\% \times (\text{N-opname drijfmestbehandeling} - \text{N-opname controlebehandeling}) / \text{totale N gift met drijfmest}$$

In deze rapportage wordt een verschil significant genoemd bij $p < 0,05$, tenzij anders aangegeven. De relaties tussen drijfmesteigenschappen en de drogestofopbrengst of N-opname van gras werden geanalyseerd met behulp van de procedure voor lineaire regressie met groepen in Genstat 11 (Payne et al., 2008). Het regressiemodel was als volgt opgebouwd:

$$y = \beta_{0i} + \beta_{1i} + e \quad (i = 1 \text{ voor onvergiste mest; } i = 2 \text{ voor covergiste mest})$$

Vanwege de groepsfactor bestond het volledige model in eerste instantie uit twee constanten en twee regressiecoëfficiënten. Als één van de twee constanten of regressiecoëfficiënten niet significant was, werd het model gereduceerd tot één constante en/of regressiecoëfficiënt. In aanvulling op regressie-modellen met één verklarende variabele werden ook modellen met twee verklarende variabelen getoetst. Een model met twee verklarende variabelen werd alleen als verbetering beschouwd als de toegevoegde variabele een significante verbetering van het model gaf, en er sprake was van een toename in verklaarde variantie (R^2) van minstens 5%. De beste modellen met twee verklarende variabelen werden gescreend met behulp van de RSELECT procedure in Genstat. Voor de beste twee voorspellende variabelen werd een 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend voor de N-opname van de eerste snede. De relatie met de drogestofopbrengst of N-opname werd geanalyseerd voor de eerste snede, de derde en vierde snede opgeteld (gedefinieerd als residuele opbrengst of N-opname), en de opbrengst/N-opname over de hele groeiperiode (inclusief stoppels). De residuele opbrengst of N-opname komt volledig tot stand door de mineralisatie van organische N in bodem en drijfmest. De opbrengst of N-opname van de tweede snede is niet apart gerelateerd aan drijfmesteigenschappen. Deze opbrengst of N-opname is deels afkomstig van N die is opgenomen door de wortels en stoppels gedurende de groei van de eerste snede. Als gevolg van N-tekort tijdens de groei van de tweede snede is deze N herverdeeld over bovengrondse en ondergrondse delen (Ourry et al., 1990). De gemeten N-opname van de tweede snede is daarom niet representatief voor de werkelijke N-opname uit bodem en drijfmest tijdens de groei van de tweede snede.

3 Resultaten

3.1 Drogestofopbrengst, N-opname en ANR

De totale drogestofopbrengst (bovengronds) van de met drijfmest bemeste potten (onvergiste of covergiste) bedroeg gemiddeld 28,9 g pot⁻¹ (= 9,2 ton ha⁻¹) over de hele groeiperiode van 15 weken. Van de totale opbrengst werd gemiddeld 46% geoogst bij de eerste snede, 18% bij de tweede snede, 7% bij de derde snede, 9% bij de vierde snede, en 19% werd geoogst als stoppels (bij de vierde snede). De totale N-opname (bovengronds) van de met drijfmest bemeste potten was gemiddeld 346 mg N pot⁻¹ (= 110 kg N ha⁻¹) over de hele groeiperiode. Van de totale N-opname werd gemiddeld 51% geoogst bij de eerste snede, 19% bij de tweede snede, 9% bij de derde snede, 10% bij de vierde snede, en 11% werd geoogst met de stoppels (bij de vierde snede). De totale ANR (bovengronds) van de met drijfmest bemeste potten bedroeg gemiddeld 47% over de hele groeiperiode. Van de totale ANR werd een relatieve 64% gerealiseerd bij de eerste snede, 14% bij de tweede snede, 8% bij de derde snede, 9% bij de vierde snede, en 5% werd gerealiseerd met de stoppels (bij de vierde snede). Een overzicht van de drogestofopbrengst, N-opname en ANR is per drijfmesttype en per snede gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Overzicht van de drogestofopbrengst (g pot⁻¹), N-opname (mg pot⁻¹) en ANR (%) van vier sneden gras, zonder N-bemesting, na bemesting met KAS, of na een éénmalige injectie met onvergiste of covergiste runderdrijfmest

Kenmerk	Snede	Gras/stoppels	Controle		KAS		Onvergiste drijfmest		Covergiste drijfmest	
			Gem.		Gem.		Min.	Max	Gem.	Min. Max Gem.
DS opbrengst	1	Gras	5,4		13,1		10,3	15,3	12,4	12,7 18,6 16,1
	2	Gras	3,0		4,5		4,0	6,4	5,2	4,6 7,4 5,9
	3	Gras	1,2		1,3		1,5	4,2	2,2	1,7 2,2 1,9
	4	Gras	1,4		1,9		1,6	4,1	2,6	1,7 3,5 2,5
		Stoppels	4,3		5,6		4,5	6,7	5,6	3,6 6,6 5,3
	Alles		15,2		26,3		23,5 ¹⁾	31,8	27,9	27,0 35,8 31,8
N-opname	1	Gras	67		156		127	192	161	171 303 226
	2	Gras	41		55		53	85	64	56 83 69
	3	Gras	18		20		24	57	33	25 33 29
	4	Gras	19		22		25	44	34	25 39 32
		Stoppels	29		39		31	48	38	26 42 36
	Alles		173		292		278	375	330	316 486 391
ANR	1	Gras	- ²⁾		58		16	39	27	28 43 38
	2	Gras	-		9		4	12	7	5 9 7
	3	Gras	-		2		2	10	4	2 4 3
	4	Gras	-		2		2	7	4	2 5 3
		Stoppels	-		6		1	6	3	0 3 2
	Alles		-		77		33	58	45	43 61 53

¹⁾ De minimale of maximale waarde voor de totale drogestofopbrengst, N-opbrengst of ANR hoeft niet hetzelfde te zijn als de minimale of maximale waarde van alle sneden opgeteld

²⁾ Niet van toepassing

3.2 Relaties tussen N-opname en drijfmesteigenschappen

De N-opname bij de eerste snede (na drie weken groei) was significant gerelateerd aan alle drijfmesteigenschappen (Tabel 3). Het grootste deel van de variantie in N-opname werd verklaard door NH₄-N, gevolgd door totale N, CST, WSC en EC (Tabel 3, Figuur 1). De verklaarde variantie in N-opname was voor covergiste drijfmest hoger dan voor onvergiste drijfmest, evenals de regressiecoëfficiënt (Figuur 1). Bij analyse van de onvergiste drijfmesten als aparte set verklaarde NH₄-N nog steeds de meeste variantie (37%), gevolgd door EC (25%) en totale N (14%). Alle andere eigenschappen hadden geen significante relatie met de N-opname van de eerste snede. Bij analyse van de covergiste drijfmesten als aparte set verklaarde NH₄-N de meeste variantie (98%), gevolgd door CST (91%), totale N (87%), WSC (85%), DON (75%), en EC (72%). De verklaarde variantie in N-opname van de eerste snede (gecombineerde data) kon niet worden verhoogd door enig model met twee verklarende variabelen. Drijfmesteigenschappen die een indicatie kunnen geven van het potentieel voor N-immobilisatie in de bodem waren alle positief gecorreleerd met de N-opname uit covergiste mest, maar hadden nauwelijks een relatie met N-opname uit onvergiste mest.

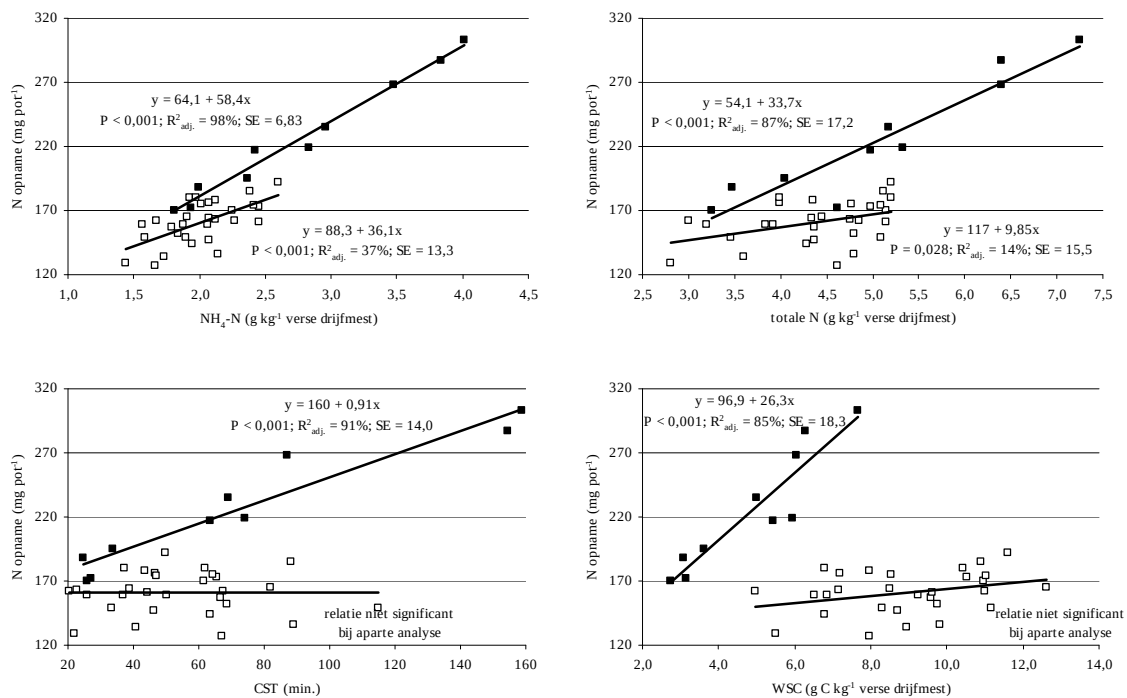
Bij analyse van covergiste drijfmesten als aparte set verklaarde van deze eigenschappen de WSC de meeste variantie (85%), gevolgd door de VC-OS (63%), de DOC (62%), en de HCW (47%). Bij analyse van de gecombineerde data verklaarde de WSC de meeste variantie, gevolgd door de TOC, ADL en VC-OS (Tabel 3).

Tabel 3 R^2_{adj} (%) en beschrijving van significante ($p < 0,05$) lineaire relaties tussen drijfmesteigenschappen van onvergiste en covergiste drijfmest en de N-opname van gras, gedurende verschillende opeenvolgende groeiperioden na een eenmalige drijfmestinjectie

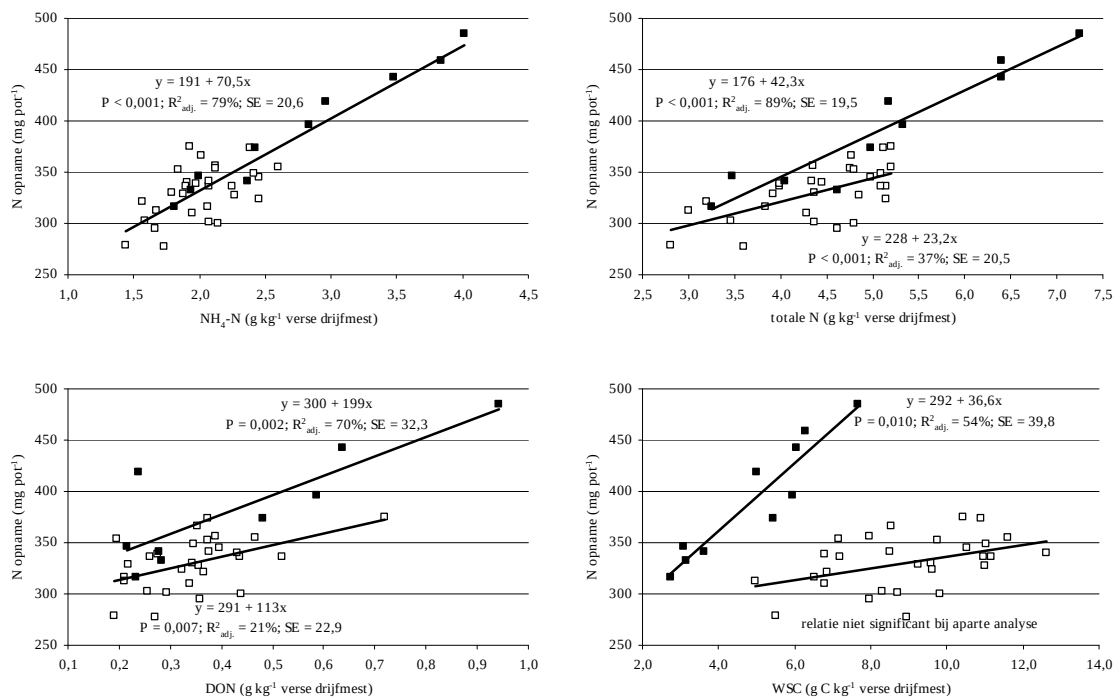
	Eerste snede			Derde + vierde snede			Alle sneden		
X =	R ² _{adj}	Y =		R ² _{adj}	Y =		R ² _{adj}	Y =	
		Onvergist	Covergist		Onvergist	Covergist		Onvergist	Covergist
DS	70* ^{†)}	155 + 0,07X	85,9 + 1,73X	44*	42,2 + 0,25X		59*	278 + 0,56X	215 + 2,20X
As	65*	110 + 2,28X	156 + 2,28X	26*	53,3 + 0,58X	45,0 + 0,58X	54	260 + 3,18X	304 + 3,18X
Dichtheid	68	-87 + 240X	-3382 + 3487X	26	-510 + 555X		54	-807 + 1099X	-4020 + 4263X
CST	83	161 + 0,00X	160 + 0,91X	19*	60,4 + 0,10X	53,8 + 0,10X	71	313 + 0,32X	312 + 1,10X
Totale N	84	117 + 9,85X	54,1 + 33,7X	30*	46,4 + 4,44X	38,3 + 4,44X	80	229 + 23,2X	176 + 42,3X
NH ₄ -N	91	88,3 + 36,1X	64,1 + 58,4X	-	-	-	79	191 + 70,5X	
DON	79	145 + 45,8X	150 + 165X	22*	58,5 + 21,1X	51,2 + 21,1X	76*	291 + 113X	275 + 234X
PMN	69*	154 + 15,9X	171 + 178X	35*	54,9 + 25,8X		57	305 + 61,6X	333 + 223X
pH	57*	7,00 + 21,8X	-767 + 126X	23*	135 - 9,71X		22*	-14,0 + 49,2X	
EC	80	95,3 + 3,41X	15,7 + 7,56X	-	-	-	62	291 + 2,07X	139 + 9,09X
BZV	66	157 + 0,24X	142 + 15,0X	32*	54,1 + 0,87X		54	293 + 2,61X	287 + 18,7X
CZV	70*	158 + 0,02X	75,2 + 1,83X	38*	47,6 + 0,16X		59*	289 + 0,36X	201 + 2,33X
VFA	67	160 + 0,20X	166 + 60,1X	30*	48,5 + 1,92X	59,0 + 1,92X	54	300 + 3,50X	319 + 73,6X
TOC	77*	157 + 0,09X	104 + 3,92X	38*	47,4 + 0,49X		67*	288 + 1,11X	236 + 5,03X
TOC/totale N	63*	206 - 5,30X	-30,1 + 42,6X	18	47,6 + 2,26X		44*	885 - 1,00X	57,3 + 55,9X
WSC	82	137 + 2,68X	96,9 + 26,3X	23*	52,8 + 1,48X		74	279 + 5,76X	230 + 32,9X
HWC	69	154 + 2,68X	134 + 46,1X	29*	53,5 + 4,71X		60	309 + 8,50X	266 + 62,8X
DOC	74	145 + 2,68X	141 + 31,2X	19*	55,3 + 1,84X		68*	292 + 6,60X	254 + 46,8X
RC	62*	167 - 0,33X	147 + 7,36X	24*	55,2 + 0,59X		48*	314 + 0,88X	286 + 10,1X
VC-OS	74	151 + 0,49X	97,5 + 10,3X	45*	48,7 + 0,91X		66	288 + 2,19X	229 + 13,0X
NDF	60*	166 - 0,14X	137 + 3,82X	30*	53,3 + 0,34X		47*	307 + 0,63X	271 + 5,27X
ADF	69*	163 - 0,10X	119 + 5,35X	29*	51,7 + 0,56X		58*	305 + 1,00X	252 + 7,05X
ADL	75*	158 + 0,30X	125 + 9,35X	27*	51,5 + 1,34X		64*	293 + 3,72X	265 + 11,9X

^{†)} * betekent dat één uitbijter (gestandaardiseerd residu > 3) werd verwijderd

De residuele N-opname (derde & vierde snede), het gevolg van mineralisatie van organische N uit mest en grond, was gerelateerd aan alle drijfmesteigenschappen, behalve die welke indicatief zijn voor directe N-beschikbaarheid (NH₄-N, EC) (Tabel 3). De residuele N-opname werd het best verklaard door de VC-OS, gevolgd door drogestof, CZV of TOC, en PMN. De regressiecoëfficiënten waren niet significant verschillend tussen onvergiste en covergiste drijfmest. De verklaarde variantie in residuele N-opname kon niet verhoogd worden door enig model met twee verklarende variabelen. De totale N-opname gedurende de hele groeiperiode was significant gerelateerd aan alle drijfmesteigenschappen (Tabel 3, Figuur 2). De meeste variantie in totale N-opname werd verklaard door totale N en NH₄-N, gevolgd door DON en WSC. Bij alle eigenschappen, behalve NH₄-N and pH, waren de relaties significant verschillend tussen onvergiste en covergiste drijfmest. Terwijl de relatie tussen NH₄-N en N-opname van de eerste snede significant verschillend was tussen onvergiste en covergiste drijfmest, was dit niet het geval over de hele groeiperiode. De verklaarde variantie in totale N-opname kon niet worden verhoogd door enig model met twee verklarende variabelen.



Figuur 1 Best gefitte lineaire relaties tussen de eigenschappen van runderdrijfmest en N-opname van gras gedurende de eerste drie weken van groei na een eenmalige injectie van onvergiste (open vierkantjes) of covergiste (gesloten vierkantjes) drijfmest



Figuur 2 Best gefitte lineaire relaties tussen de eigenschappen van runderdrijfmest en N-opname van gras gedurende 15 weken van groei na een eenmalige injectie van onvergiste (open vierkantjes) of covergiste (gesloten vierkantjes) drijfmest

3.3 Relaties tussen drogestofopbrengst en drijfmesteigenschappen

De drogestofopbrengst van de eerste snede (eerste drie weken groei) was significant gerelateerd aan alle gerapporteerde drijfmesteigenschappen, behalve drogestof, dichtheid, PMN, TOC, ADF, en ADL (Tabel 4). De EC en $\text{NH}_4\text{-N}$ verklaarden de meeste variantie, gevolgd door de CST, totale N en WSC. De relaties van deze eigenschappen met de drogestofopbrengst waren significant verschillend tussen onvergiste en covergiste drijfmest. Bij EC, $\text{NH}_4\text{-N}$ en totale N waren er, anders dan bij de relaties met N-opname, geen verschillen in regressiecoëfficiënt tussen onvergiste en covergiste drijfmest. De verklaarde variantie in drogestofopbrengst was hoger voor covergiste dan voor onvergiste drijfmest. Bij analyse van de onvergiste drijfmesten als aparte set verklaarde EC de meeste variantie (35%), gevolgd door $\text{NH}_4\text{-N}$ (34%) en pH (19%). Bij analyse van de covergiste drijfmesten als aparte set verklaarde EC eveneens de meeste variantie (71%), gevolgd door $\text{NH}_4\text{-N}$ (68%) en de WSC (57%). Modellen met twee verklarende variabelen werden gedomineerd door $\text{NH}_4\text{-N}$ als één van de verklarende variabelen. De verklaarde variantie in drogestofopbrengst bij de eerste snede kon verhoogd worden van 77 tot 88% door toevoeging van de pH en tot 85% door toevoeging van VFA of BZV. Drijfmesteigenschappen die indicatief zijn voor immobilisatie van N uit drijfmest (BZV, CZV, VFA, TOC, WSC, HWC, DOC, RC, VC-OS, NDF, ADF) waren negatief gecorreleerd met de drogestofopbrengst van de eerste snede, behalve de VC-OS, WSC, HWC of DOC van covergiste drijfmest (Tabel 4). Van deze eigenschappen verklaarde, bij analyse van alle data, de WSC de meeste variantie in opbrengst, gevolgd door VC-OS, DOC en HWC.

Tabel 4 R^2_{adj} (%) en beschrijving van significante ($p < 0,05$) lineaire relaties tussen Drijfmest-eigenschappen van onvergiste drijfmest en covergiste drijfmest en de drogestofopbrengst van gras gedurende verschillende opeenvolgende groeiperioden, na een eenmalige drijfmestinjectie

X =	Eerste snede			Derde + vierde snede			Alle sneden		
	R^2_{adj}	Y =		R^2_{adj}	Y =		R^2_{adj}	Y =	
		Onvergist	Covergist		Onvergist	Covergist		Onvergist	Covergist
DS	-	-	-	32 ^{*)}	3,08 + 0,02X		44	23,4 + 0,05X	28,2 + 0,05X
As	18	10,1 + 0,14X		22*	3,59 + 0,05X	3,13 + 0,05X	46	24,4 + 0,16X	27,5 + 0,16X
Dichtheid	-	-	-	28*	-37,1 + 40,3X		45	-93,9 + 118X	-90,0 + 118X
CST	66	13,2 - 0,01X	14,2 + 0,03X	-	-	-	47	26,1 + 0,03X	29,4 + 0,03X
Totale N	65	9,03 + 0,78X	12,2 + 0,78X	11*	3,53 + 0,24X		64	20,1 + 1,78X	22,8 + 1,78X
$\text{NH}_4\text{-N}$	77	8,13 + 2,14X	10,2 + 2,14X	-	-	-	66	19,9 + 4,09X	
DON	61	11,3 + 3,27X	14,6 + 3,27X	-	-	-	51	25,2 + 7,76X	28,3 + 7,76X
PMN	-	-	-	15*	4,08 + 1,42X		43	25,7 + 5,29X	30,4 + 5,29X
pH	60	-0,04 + 1,77X	2,47 + 1,77X	-	-	-	20	4,18 + 3,42X	
EC	78	6,74 + 0,30X	7,89 + 0,30X	-	-	-	54	20,1 + 0,41X	
BZV	33	16,4 - 0,25X		11*	4,09 + 0,04X		8	31,1 - 0,18X	
CZV	13	16,3 - 0,03X		21*	3,59 + 0,01X		40	24,4 + 0,03X	29,4 + 0,03X
VFA	46	15,9 - 0,37X		-	-	-	42	27,0 + 0,11 X	28,6 + 3,29X
TOC	-	-	-	21*	3,57 + 0,03X		44	24,0 + 0,10X	28,9 + 0,10X
TOC/totale N	46	20,1 - 0,85X		-	-	-	22	35,2 - 0,80X	
WSC	65	12,2 + 0,02X	11,9 + 0,87X	-	-	-	55	25,9 + 0,22X	24,0 + 1,60X
HWC	61	12,0 + 0,18X	13,1 + 1,55X	13*	3,99 + 0,26X		57	26,4 + 0,64X	24,7 + 3,59X
DOC	62	12,7 - 0,05X	13,4 + 1,00X	-	-	-	44	26,6 + 0,24X	27,5 + 1,60X
RC	21	15,9 - 0,16X		13*	4,05 + 0,04X		41	27,4 + 0,03X	28,0 + 0,42X
VC-OS	63	12,7 - 0,02X	11,9 + 0,34X	19*	3,77 + 0,05X		52	25,9 + 0,11X	23,8 + 0,64X
NDF	19	16,0 - 0,08X		24*	3,93 + 0,02X	3,02 + 0,07X	-	-	-
ADF	-	-	-	20*	3,75 + 0,04X		40	25,3 + 0,10X	30,0 + 0,10X
ADL	-	-	-	24*	3,63 + 0,10X		46	24,7 + 0,32X	28,8 + 0,32X

^{*)} * betekent dat één uitbijter (gestandaardiseerd residu > 3) werd verwijderd

De residuele drogestofopbrengst (derde & vierde snede), het resultaat van mineralisatie van organische N uit mest en grond, was gerelateerd aan alle drijfmesteigenschappen, behalve aan CST, $\text{NH}_4\text{-N}$, DON, pH, EC, VFA, WSC, en DOC. De opbrengst werd het best verklaard door het drogestofgehalte in de drijfmest, gevolgd door dichtheid, NDF en ADL. De meeste relaties waren niet significant verschillend tussen onvergiste en covergiste drijfmest, behalve voor as en NDF. Modellen met twee verklarende eigenschappen werden gedomineerd door het drogestofgehalte van de drijfmest als één van de verklarende variabelen. De verklaarde variantie in residuele opbrengst kon verhoogd worden van 32 tot 40% door CZV of TOC als extra verklarende variabele toe te voegen aan het model met drogestofgehalte van de drijfmest. De drogestofopbrengst gedurende de gehele groeiperiode van 15 weken was significant gerelateerd aan alle gerapporteerde drijfmesteigenschappen, behalve NDF (Tabel 4). De meeste variantie in de opbrengst werd verklaard door $\text{NH}_4\text{-N}$, gevolgd door totale N, HWC, WSC, en EC. De drijfmesteigenschappen VFA, WSC, HWC, DOC, RC, en VC-OS verschilden significant in regressiecoëfficiënt tussen onvergiste en covergiste drijfmest. Modellen met twee verklarende eigenschappen werden gedomineerd door totale N als één van de verklarende variabelen. De verklaarde variantie in totale opbrengst kon verbeterd worden van 66 tot 72% door toevoeging van pH als verklarend kenmerk aan een model met totale N.

4 Discussie

4.1 Representativiteit van de set drijfmesten

Is de verzamelde variatie in diverse mesteigenschappen representatief genoeg voor Nederlandse runderdrijfmest? In deze studie varieerde $\text{NH}_4\text{-N}$ tussen 1,44 en 2,60 g kg^{-1} , en totale N tussen 2,80 en 5,20 g kg^{-1} . In Denemarken, een land waarin de melkveehouderij redelijk vergelijkbaar is met Nederland, vond Sørensen et al. (2003) in onvergiste runderdrijfmest een variatie in $\text{NH}_4\text{-N}$ van 1,34 tot 3,78 g kg^{-1} ($\text{NH}_4\text{-N}$ bepaald met cfa, geen destillatie), en van totale N van 2,46 tot 6,06 g kg^{-1} . Deze variatie is groter dan in het voorliggende experiment (Tabel 1). Echter, in het Deense onderzoek was de variatie in samenstelling en verteerbaarheid van de gevoerde rantsoenen groter dan normaal in de Deense praktijk (Sørensen et al., 2003). Dit kan een verklaring zijn voor deze grotere variatie. In het voorliggende experiment werd gestreefd naar maximale variatie door gebruik te maken van voorkennis over rantsoenen en management, en door naast onvergiste ook covergiste drijfmesten te verzamelen. Door opname van co-vergiste drijfmesten werd de variatie in gemeten eigenschappen vergroot; voor $\text{NH}_4\text{-N}$ van 1,44 tot 4,02 g kg^{-1} , en voor totale N van 2,80 tot 7,26 g kg^{-1} . Alles overziend lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de gebruikte set drijfmesten qua variatie voldoende representatief is, in ieder geval als het gaat om drijfmest die in het najaar en de winter geproduceerd wordt. Voor drijfmest die in het voorjaar en de zomer geproduceerd wordt kan dat anders liggen, omdat deze niet in de data vertegenwoordigd zijn.

4.2 Verschillen in voorspelbaarheid tussen onvergiste en covergiste drijfmest

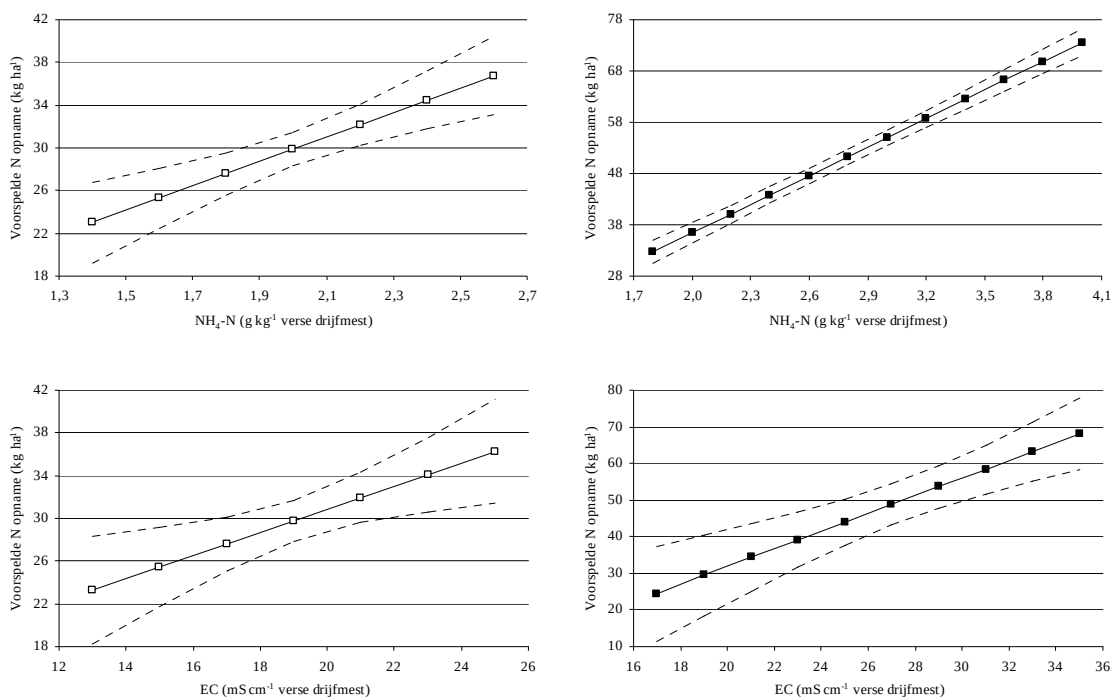
Bij onvergiste drijfmest roept de relatief kleine variatie in drijfmesteigenschappen (Tabel 1) in combinatie met de relatief grote variantie in N-opname (Figuur 1) de vraag op of het voor een Nederlandse melkveehouder wel toegevoegde waarde heeft om de N-opname van grasland te voorspellen op basis van een bepaling van het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte in de eigen drijfmest. De standaardafwijking van $\text{NH}_4\text{-N}$ in onvergiste drijfmest was 0,29 g kg^{-1} mest. Bij een normale verdeling van het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte, en aannemende dat de gemeten variatie in $\text{NH}_4\text{-N}$ representatief is voor Nederlandse runderdrijfmest, bevat 68% van de drijfmesten tussen de 1,72 en 2,30 $\text{g NH}_4\text{-N kg}^{-1}$ drijfmest ($\mu \pm \sigma$). Na conversie in praktische eenheden, en correctie voor de N-opname van de controlebehandeling (geen N-bemesting), resulteren de volgende relaties voor de voorspelling van de N-opname in de eerste snede (bij een drijfmestgift van 25,5 ton ha^{-1}):

$$\begin{aligned} \text{Onvergiste drijfmest: } & \text{N-opname (kg ha}^{-1}\text{)} = 7 + 11,5 \times \text{NH}_4\text{-N} \\ \text{Covergiste drijfmest: } & \text{N-opname (kg ha}^{-1}\text{)} = -1 + 18,5 \times \text{NH}_4\text{-N} \end{aligned}$$

Bij het gemiddelde $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte van 2,01 g kg^{-1} drijfmest (Tabel 1) ligt het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde N-opname in de eerste snede uit een willekeurige onvergiste drijfmest tussen de 28 en 31 kg N ha^{-1} ; bij 1,72 g kg^{-1} tussen de 26 en 30 kg N ha^{-1} , en bij 2,30 g kg^{-1} tussen de 30 en 34 kg N ha^{-1} (Figuur 3). Voor 68% van de drijfmesten is de spreiding tussen de onderste en bovenste betrouwbaarheidslimiet daarmee relatief gering. Daarnaast is het in de praktijk ook nog eens lastiger om een representatief mestmonster te nemen dan in dit onderzoek, waar een zeer kleine (9 L) en daardoor goed mengbare partij mest gebruikt werd. Dit leidt in de praktijk tot extra onzekerheid in de voorspelling. Het voorgaande suggereert dat voor de meeste Nederlandse melkveehouders er op dit moment relatief weinig winst in voorspelling van de N-opname (en afgeleid daarvan N-efficiëntie) te behalen valt door hun onvergiste mest te laten analyseren op $\text{NH}_4\text{-N}$. Analyse lijkt vooral toegevoegde waarde te hebben als er aanwijzingen zijn dat de mestsamenstelling duidelijk af zal wijken van het Nederlandse gemiddelde. Een kanttekening hierbij is dat de verzamelde mest afkomstig was uit de winterperiode (december en januari). Toevoeging van drijfmesten die in het voorjaar en de zomer geproduceerd zijn zou de variatie in $\text{NH}_4\text{-N}$ misschien groter kunnen maken, hoewel de meeste drijfmest in de winterperiode geproduceerd wordt. De interpretatie dat er voor Nederlandse melkveehouders relatief weinig winst te behalen valt door hun onvergiste drijfmest te laten analyseren op $\text{NH}_4\text{-N}$ moet vanwege deze en andere aspecten waarschijnlijk verder onderzocht worden voordat definitief de conclusie getrokken kan worden dat analyse op $\text{NH}_4\text{-N}$ vaak niet zinvol is.

Bij covergiste drijfmest is de variatie in $\text{NH}_4\text{-N}$ namelijk aanzienlijk groter (Tabel 1), en de variantie in N-opname aanzienlijk kleiner (Figuur 1). Bij covergiste drijfmest bevat 68% tussen de 1,95 en 3,55 g $\text{NH}_4\text{-N}$ kg^{-1} drijfmest (Tabel 1), aannemend dat de gebruikte mesten representatief zijn voor Nederlandse covergiste runderdrijfmest en een normale verdeling van het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte hebben. Bij het gemiddelde $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte van 2,76 g kg^{-1} (Tabel 1) ligt het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde N-opname in de eerste snede voor een willekeurige covergiste drijfmest tussen de 50 en 53 kg N ha^{-1} ; bij 1,95 g kg^{-1} tussen de 30 en 35 kg N ha^{-1} ; en bij 3,55 g kg^{-1} tussen de 64 en 68 kg N ha^{-1} (Figuur 3). Door de grotere variatie in $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte, en de meer betrouwbare voorspelling, is met voorspelling van de N-opname in de eerste snede op basis van $\text{NH}_4\text{-N}$ -analyse meer winst te behalen dan bij onvergiste drijfmest. Analyse van covergiste drijfmest op $\text{NH}_4\text{-N}$ is daarom zeker aan te bevelen.

Bij gebruik van de EC in plaats van $\text{NH}_4\text{-N}$ is dat minder het geval. Bij de covergiste drijfmesten heeft 68% een EC tussen de 22,4 en 33,1 mS cm^{-1} drijfmest (Tabel 1), aannemend dat de gebruikte mesten representatief zijn voor Nederlandse covergiste runderdrijfmest en een normale verdeling van de EC hebben. Bij een gemiddelde EC van 27,8 mS cm^{-1} (Tabel 1) ligt het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde N-opname in de eerste snede voor een willekeurige covergiste drijfmest tussen de 45 en 56 kg N ha^{-1} ; bij 22,3 mS cm^{-1} tussen de 29 en 46 kg N ha^{-1} ; en bij 33,2 mS cm^{-1} tussen de 56 en 72 kg N ha^{-1} (Figuur 3).



Figuur 3 N-opname van gras in de eerste drie weken van groei na een eenmalige injectie van onvergiste (open vierkantjes) of covergiste (gesloten vierkantjes) runderdrijfmest, voorspeld met behulp van $\text{NH}_4\text{-N}$ of EC van de drijfmest (stippellijnen zijn 95%-betrouwbaarheidslimieten bij voorspelling van de N-opname van een willekeurige drijfmest)

4.3 Vertaling van potomstandigheden naar veldomstandigheden

Dit experiment is uitgevoerd in potten, onder gecontroleerde omstandigheden. Hierbij komen twee vragen naar boven: (i) zullen de kwalitatieve relaties onder veldomstandigheden gelijk zijn aan de relaties in de potproef, en (ii) zijn de kwantitatieve relaties bruikbaar onder veldomstandigheden? In de potproef was sprake van ideale omstandigheden. Het bodemvochtgehalte was constant rond veldcapaciteit, de luchtvochtigheid was constant, er was sprake van een vaste, lange daglengte, en een constante lichtintensiteit. Bij het vergelijken van pot- en veldomstandigheden lijkt vooral de continue wisseling in vochttoestand van de grond onder veldomstandigheden van belang te zijn. De afwisseling van uitdrogen en vernatting kan een ander effect op de N-mineralisatie hebben vergeleken met een constante bodemvochtigheid (Ektepe en Cornfield, 1965). Hierbij is het de vraag of dit leidt tot een verschil in het niveau van N-opname tussen pot en veld, of dat er sprake zal zijn van andere relaties tussen N-opname en een

bepaald drijfmestkenmerk. Dit laatste kan niet uitgesloten worden, maar lijkt ook niet meteen voor de hand te liggen.

Wel voor de hand liggend is dat de kwantitatieve relaties niet 1:1 overgezet kunnen worden van pot-omstandigheden naar veldomstandigheden. Dit geldt in ieder geval voor de drogestofopbrengst. Deze is aanzienlijk hoger dan in de praktijk, met voor onvergiste drijfmest een drogestofopbrengst van de eerste snede van gemiddeld 4 ton ds ha⁻¹ na drie weken groei (Tabel 2). Dit werd veroorzaakt door onder andere de ideale vochtcondities en de lange daglengte, maar ook door een groot, positief randeffect. De groeicondities in de potproef zijn het best te vergelijken met de veldomstandigheden in de maand juni. N-opname is beter te vertalen naar veldomstandigheden dan drogestofopbrengst, omdat de N-opname minder afhankelijk is van groeicondities. Echter, ook bij N-opname kan het niveau behoorlijk beïnvloedt zijn door de relatief hoge temperatuur en het stabiele, ideale vochtgehalte. Afwisselende vochtgehalten onder veldomstandigheden kunnen leiden tot een ander niveau van N-mineralisatie (Ekpete en Cornfield, 1965), en daarmee van N-opname. Daarnaast was de 'zode' in de potproef erg jong, wat geleidt kan hebben tot meer immobilisatie van N uit drijfmest in wortels, stoppels, en bodemorganische stof dan bij een oudere zode (Garwood et al., 1977; Whitehead et al., 1990). De conclusie is daarom dat de gevonden relaties vooral kwalitatieve waarde hebben, maar kwantitatief minder bruikbaar zijn voor de praktijk. De kwalitatieve informatie kan mogelijk gebruikt worden om informatie uit reeds uitgevoerde veldproeven te herinterpreteren naar nieuwe adviezen. Als dit niet of onvoldoende lukt, is het te overwegen om de gevonden relaties aanvullend te gaan testen onder praktijkomstandigheden.

4.4 Betekenis van N-immobilisatie voor de voorspelling

Drijfmesteigenschappen die indicatief kunnen zijn voor immobilisatie van N uit drijfmest in de bodem (BZV, CZV, VFA, TOC, WSC, HWC, DOC, RC, VC-OS, NDF, ADF, ADL) konden op zichzelf een aanzienlijke hoeveelheid variantie in N-opname verklaren (Tabel 3), maar gaven geen betere verklaring na toevoeging aan het model met NH₄-N. Dit kwam niet doordat deze eigenschappen sterk positief gecorreleerd waren aan NH₄-N; de correlatiecoëfficiënt (r) was respectievelijk -0,26 (BZV), -0,05 (CZV), -0,40 (VFA), 0,14 (TOC), -0,05 (WSC), 0,16 (HWC), -0,17 (DOC), -0,20 (RC), 0,00 (VC-OS), -0,19 (NDF), 0,01 (ADF), en 0,34 (ADL). De meeste relaties van deze mesteigenschappen met de N-opname van de eerste snede hadden een positieve regressiecoëfficiënt (Tabel 3), terwijl als gevolg van immobilisatie een negatieve coëfficiënt verwacht zou worden.

De variantie in residuele drogestofopbrengst en N-opname werd wel het best verklaard door bovengenoemde eigenschappen. Echter, de verklaarde variantie was relatief laag (max. 45%, Tabel 3), en kon niet verhoogd worden door toevoeging van extra variabelen. De positieve regressiecoëfficiënten van deze relaties ondersteunen de verklaring dat eerder vastgelegde N mineraliseerde en opgenomen werd door het gras. Sørensen (1998) rapporteerde dat de afbraak van VFAs, toegevoegd aan grond, resulteerde in een maximale netto N-immobilisatie van 33-77 mg N g⁻¹ C gedurende een periode van één tot vijf weken. Daarna werd de vastgelegde N gemineraliseerd, en over een periode van 12 weken gaf de toediening van VFAs geen netto N-immobilisatie in de twee gronden met de hoogste zandfractie. In het huidige experiment was de residuele N-opname van drijfmest (= N-opname van de derde en vierde snede, afkomstig van mineralisatie van organische N uit mest en bodem) 19% van de N-opname over de hele groeiperiode (Tabel 2), en minder dan de helft hiervan kon worden verklaard door mogelijke N-immobilisatie. Voor de volledigheid dient vermeldt te worden dat ook in de N-opname van de tweede snede (19% van de totale N-opname) een belangrijk deel mineralisatie kan zitten. Onbekend is hoeveel.

Een opvallende waarneming in deze studie is dat de C/N-verhouding van de drijfmest (TOC/totale N) geen bijzonder goede verklarende/voorspellende waarde had voor de (residuele) N-opname uit drijfmest. De C/N-verhouding wordt internationaal vaak gerelateerd aan de N-levering door organische mest. Wat betreft de residuele N-opname hadden drijfmesteigenschappen zoals de VC-os of TOC betere relaties (Tabel 3).

4.5 Bruikbaarheid van drijfmesteigenschappen op het melkveebedrijf

Het gehalte $\text{NH}_4\text{-N}$, zoals bepaald in dit experiment, is niet eenvoudig en betrouwbaar te bepalen op het melkveebedrijf. Wel zijn er bepaalde sneltesten voor $\text{NH}_4\text{-N}$ beschikbaar, waarvan de resultaten een goede correlatie kunnen hebben met een laboratoriummeting (Piccinini en Bortone, 1991; Van Kessel en Reeves III, 2000). Hoewel $\text{NH}_4\text{-N}$ de beste verklaring en voorspelling gaf, kan een eenvoudig te meten parameter als EC meer potentieel hebben voor praktische toepassing. De EC verklaarde minder van de variantie in N-opname van de eerste snede dan $\text{NH}_4\text{-N}$, maar een totale verklaring van 80% is goed te noemen. De EC gaf daarnaast ook een goede verklaring van de drogestofopbrengst van de eerste snede. Opgemerkt moet worden dat de goede verklaring door de EC niet het gevolg was van een bijzonder hoge correlatie met het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte. De verklaarde variantie in EC door $\text{NH}_4\text{-N}$ bedroeg 66%. Eerder vonden Provolo en Martinez-Suller (2007) een verklaarde variantie van 75%.

Bij het afzonderlijk relateren van onvergiste en covergiste drijfmest aan de N-opname van de eerste snede was de standaardfout van de EC voor onvergiste mest vergelijkbaar met de standaardfout van $\text{NH}_4\text{-N}$, maar was de standaardfout voor covergiste drijfmest aanzienlijk hoger (Figuur 1, Figuur 2). Dit geeft een minder betrouwbare voorspelling van de N-opname met EC vergeleken met $\text{NH}_4\text{-N}$. Daarnaast werd de verklaarde variantie in N-opname door de EC snel slechter bij het verstrijken van de tijd, terwijl dit bij $\text{NH}_4\text{-N}$ niet het geval was (Tabel 3). Vanwege de praktische toepasbaarheid kan de EC mogelijk toch een toegevoegde waarde hebben in de praktijk. Immers, toepassing met een kleinere nauwkeurigheid is beter dan geen toepassing vanwege praktische belemmeringen. De conclusie dat op de korte termijn met de EC de N-opname minder nauwkeurig voorspeld kan worden dan met $\text{NH}_4\text{-N}$, dient, gezien de praktische mogelijkheden nog verder gevalideerd te worden, bij voorkeur onder veldomstandigheden.

5 Conclusies

Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte in runderdrijfmest is de beste voorspeller voor de N-opname van gras, zowel op de korte termijn (drie weken) ($R^2 = 91\%$) als ook op de langere termijn (15 weken) ($R^2 = 79\%$)
- De N-opname uit covergiste drijfmest kan vrijwel volledig verklaard worden door het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte, zowel op de korte termijn ($R^2 = 98\%$) als ook op de langere termijn ($R^2 = 96\%$)
- De N-opname uit covergiste runderdrijfmest kan daarmee even betrouwbaar voorspeld worden als de N-opname uit kunstmest
- De volledige voorspelbaarheid van de N-opname is een voordeel van covergiste drijfmest, naast de hogere werking op korte termijn (de Boer, 2008; dit rapport)
- Hoewel $\text{NH}_4\text{-N}$ de beste voorspeller is, is de verklaring van de N-opname uit onvergiste drijfmest laag te noemen ($R^2 = 37\%$ op korte termijn; $R^2 = 27\%$ op langere termijn)
- Deze verklaring kan niet worden verbeterd door aanvullend andere drijfmesteigenschappen te gebruiken
- De resultaten suggereren dat er voor de meeste melkveehouders relatief weinig winst te behalen valt met het analyseren van hun onvergiste drijfmest op $\text{NH}_4\text{-N}$; analyse lijkt alleen zinvol bij aanwijzingen dat het gehalte duidelijk zal afwijken van het gemiddelde. Anders lijkt gebruik van een standaard $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte te volstaan. Verder onderzoek is nodig voordat deze conclusie definitief getrokken kan worden
- Voor covergiste drijfmest heeft analyse op $\text{NH}_4\text{-N}$ duidelijk meerwaarde, en kan leiden tot betere voorspelling van de N-opname. Als gevolg daarvan kan een aanvullende N-gift met kunstmest beter afgestemd worden op de N-behoefte, waardoor de N-benutting kan verbeteren
- De EC van runderdrijfmest geeft op de korte termijn een goede verklaring ($R^2 = 80\%$) van de N-opname door gras, maar op de langere termijn is de verklaring duidelijk minder ($R^2 = 62\%$)
- Vanwege de eenvoudige bepaling, door een melkveehouder op het eigen bedrijf uit te voeren, kan de EC, ondanks de lagere betrouwbaarheid vergeleken met $\text{NH}_4\text{-N}$, toch een geschikte meting zijn voor praktische toepassingen
- De C/N-verhouding van de onderzochte drijfmesten had geen bijzonder goede relatie met de N-opname door gras ($R^2 = 18\%$); de N-opname als gevolg van mineralisatie van organische N in de drijfmest werd beter verklaard door bijvoorbeeld de afbreekbaarheid van de organische stof ($R^2 = 45\%$) of door het organische C-gehalte ($R^2 = 38\%$)
- Drijfmesteigenschappen die informatie geven over de mogelijke immobilisatie van N uit drijfmest in de bodem leverden geen bijdrage aan een verbetering van de voorspelling van de N-opname.

Praktijktoepassing

Uit het onderzoek blijkt dat door het covergisten de voorspelbaarheid van de N-opname uit drijfmest vergelijkbaar wordt met de voorspelbaarheid van de N-opname uit kunstmest. Hiermee heeft covergiste drijfmest een meerwaarde, naast de eerder gerapporteerde hogere N-werking op korte termijn (de Boer, 2008; dit rapport). Vanwege de betere voorspelbaarheid verdient het aanbeveling om voor covergiste drijfmest aparte rekenregels op te nemen in de Bemestingsadviesbasis (www.bemestingsadvies.nl). Door toepassing van deze informatie kan de N-werking van covergiste drijfmest beter voorspeld worden, en wordt N uit deze drijfmest, en uit aanvullende kunstmest, efficiënter benut.

De verklaring/voorspelling van de N-opname uit drijfmest door gras in de eerste vijftien weken na bemesting was bij gebruik van alleen het minerale N-gehalte ($\text{NH}_4\text{-N}$) in de drijfmest even goed als bij gebruik van zowel het minerale als het organische N-gehalte (N-totaal) (Tabel 3). Dat betekent dat de bestaande rekenregels voor onvergiste drijfmest versimpeld kunnen worden, in die zin dat ze gebaseerd kunnen worden op alleen minerale N.

De EC van drijfmest blijkt een redelijk goede voorspelling te kunnen geven van de N-opname door gras uit drijfmest op de korte termijn. Vanwege de laagdrempeligheid van een EC-meting kan deze meting betekenis hebben voor de praktijk. Zo zou mogelijk met een simpele meting direct onderscheid gemaakt kunnen worden tussen de bemestende waarde van verschillende partijen drijfmest.

Dit rapport bevat vanwege het grote aantal gemeten drijfmesteigenschappen veel interessante informatie die in het kader van het project niet verder uitgewerkt kon worden. Wel is deze informatie nu beschikbaar, en kan de praktijk daar haar voordeel mee doen. Een kort uitgewerkt voorbeeld: een regelmatig terugkerende vraag van melkveehouders en akkerbouwers is of toediening van covergiste drijfmest op de lange termijn niet leidt tot een verslechtering van de bodemkwaliteit, vanwege de afbraak van organische stof in de vergister. Uit de verzamelde gegevens (Tabel 1) blijkt dat er inderdaad een behoorlijke verandering in kwaliteit kan zijn, bijvoorbeeld gemeten aan de vezelsamenstelling. Zo was het gemiddelde gehalte NDF in covergiste drijfmest ($20,3 \text{ g kg}^{-1}$) veel lager dan in onvergiste drijfmest ($37,5 \text{ g kg}^{-1}$). Hierdoor kan toediening van covergiste drijfmest negatieve effecten hebben op de opbouw van organische stof in de bodem op de langere termijn. Een conclusie die hieruit uit getrokken kan worden is dat covergiste drijfmest bij voorkeur toegediend moet worden aan gewassen die al veel organische stof in de bodem brengen. Voor de melkveehouderij kan dit betekenen dat covergiste drijfmest beter aan blijvend grasland dan aan snijmaïs toegediend kan worden.

Referenties

- APHA, AWWA, WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Bruinenberg, M.H., Van Middelkoop, J.C. 2004. Werking van stikstof uit runderdrijfmest. Praktijkrapport Rundvee 43, Animal Sciences Group, Lelystad: 25 pp.
- Canali, S., Benedetti, A. 2006. Soil nitrogen mineralization. In: Bloem J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. (eds). Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. CABI, Wallingford, UK, pp. 127-135.
- De Boer, H.C. 2008. Co-digestion of animal slurry can increase short-term N recovery by crops. J. Environ. Qual. 37:1968-1973.
- Ekpete, D.M., Cornfield, A.H. 1965. Effect of varying static and changing moisture levels during incubation on the mineralization of carbon in soil. J. Agric. Sci. 64:205-209.
- Garwood, E.A., Tyson, K.C., Clement, C.R. 1977. A comparison of yield and soil conditions during 20 years of grazed grass and arable cropping. Technical Report 21, The Grassland Research Institute, Hurley, UK.
- Ghani, A., Dexter, M., Perrott, K.W. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. Soil Biol. Biochem. 35:1231-1243.
- Goering, H.K., Van Soest, P.J. 1970. Forage Fibre Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). Agriculture Handbook no. 379. Washington DC, USA.
- Houba, V.J.G., Van der Lee, J.J.G., Novozamsky, I. 1997. Soil and plant analysis. Part 1: soil analysis procedures, Department of Soil Quality, Wageningen University, Wageningen, p. 44.
- Keeney, D.R., Nelson, D.W. 1982. Nitrogen - Inorganic forms. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L. Ensminger, L.E., Clark, F.E. (eds). Methods of soil Analysis, Part 2. Am. Soc. Agron., Madison WI, USA, pp. 682-687.
- Moral, R., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Paredes, C. 2005. Estimation of nutrient values of pig slurries in Southeast Spain using easily determined properties. Waste Manag. 25: 719-725.
- NEN, 1998. Overview of standards for analysis of water and sludges (in Dutch). Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, The Netherlands.
- Ourry, A., Boucard, J. Salette, J. 1990. Partitioning and remobilization of nitrogen during regrowth in nitrogen-deficient ryegrass. Crop Sci. 30:1251-1254.
- Paul, J.W., Beauchamp, E.G. 1989. Relationship between volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries. Biol. Waste 29: 313-318.
- Payne, R.W., Harding, S.A., Murray, D.A., Soutar, D.M., Baird, D.B., Glaser, A.I., Channing, I.C., Welham, S.J., Gilmour, A.R., Thompson, R., Webster, R. 2008. Genstat Release 11 Reference Manual. VSN International, Waterhouse Street, Hemel Hempstead, Hertfordshire, UK.
- Piccinini, S., Bortone, G. 1991. The fertilizer value of agricultural manure: simple rapid methods of assessment. J. Agr. Eng. Res. 49:197-208.
- Provolo, G., Martinez-Suller, L. 2007. In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity. Bioresource Technol. 98: 3235-3242.
- Sommer, S.G., Genermont, S., Cellier, P., Hutchings, N.J., Olesen, J.E., Morvan, T. 2003. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. Eur. J. Agron. 19:465-486.

Sørensen, P. 1998. Carbon mineralization, nitrogen immobilization and pH change in soil after adding volatile fatty acids. *Eur. J. Soil Sci.* 49:457-462.

Sørensen, P., Weisbjerg, M.R., Lund, P. 2003. Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *J. Agric. Sci.* 141:79-91.

Tilley, J. M., Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104-111.

Van Kessel, J.S., Reeves III, J.B. 2000. On-farm quick tests for estimating nitrogen in dairy manure. *J. Dairy Sci.* 83:1837-1844.

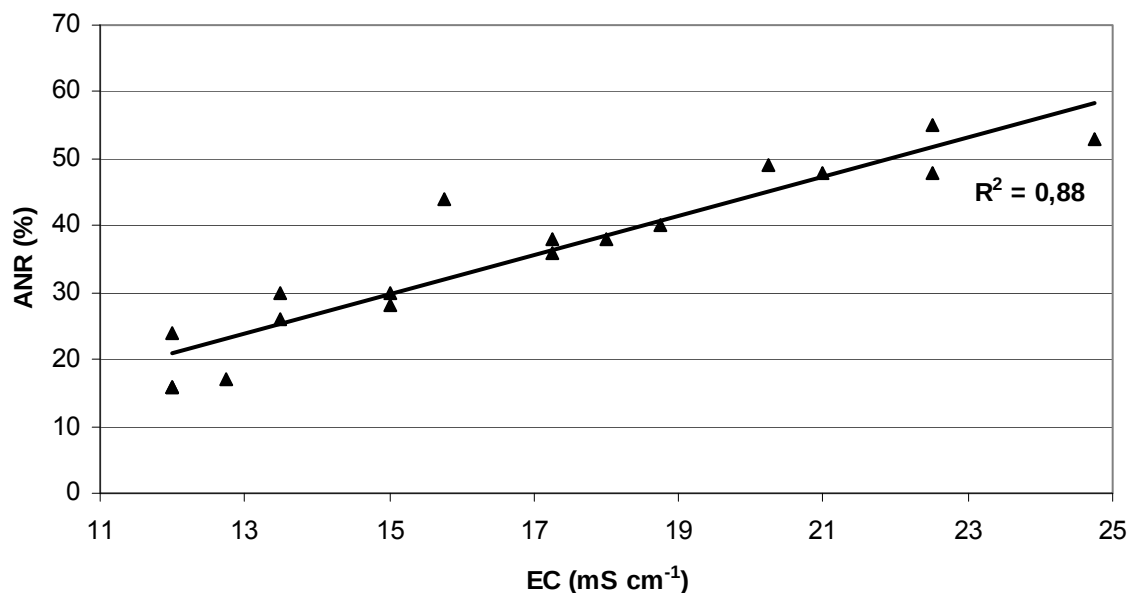
Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597

Veeken, A.H.M., De Wilde, V., Hamelers, H.V.M., Moolenaar, S.W., Postma, R. 2005. OxiTop® measuring system¹ for standardised determination of the respiration rate and N-mineralisation rate of organic matter in waste material, compost and soil. <http://www.nmi-agro.nl/public/artikel/oxitop/oxitopEN.html>.

Whitehead, D.C., Bristow, A.W., Lockyer, D.R. 1990. Organic matter and nitrogen in the unharvested fractions of grass swards in relation to the potential for nitrate leaching after ploughing. *Plant Soil* 123:39-49.

Bijlage

Verklaring van N-opname uit drijfmest,
1e snede na bemesting



Deze figuur beschrijft de relatie tussen de EC van varkensdrijfmest ($n = 10$) en runderdrijfmest ($n = 8$) en de ANR van gras in de eerste snede na bemesting. De gegevens van varkensdrijfmest (onvergist en covergist) zijn afkomstig uit een potproef onder gecontroleerde condities (de Boer, 2008); de gegevens van runderdrijfmest (onvergist en covergist) zijn afkomstig uit een tweejarig veldexperiment (nog niet gepubliceerd). In het veldexperiment werden onvergiste en covergiste drijfmest geïnjecteerd in grasland op zeelei; weergegeven zijn de ANRs van de eerste snede na toediening in april en mei van 2005 en 2006. De EC werd gemeten als beschreven in dit rapport.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl