



AGRONOMISCHE
WAARDE VAN
BEWERKTE DIERLIJKE
MEST VALORISEREN
EN OPTIMALISEREN

Luik 2 / 1.06.2018



INHOUD

1	Afkortingen	4
2	Inleiding.....	5
3	Karakterisatie bemestingsproducten.....	6
3.1	Opzet	6
3.1.1	Doel	6
3.1.2	Werkwijze	6
3.1.3	Analyses	6
3.1.4	Selectie producten	7
3.2	Resultaten	11
4	Incubatieproeven: bepalen van de N-dynamiek.....	17
4.1	Opzet producten met een C-werking	17
4.2	Resultaten producten met een C-werking	20
4.3	Opzet producten met een N-werking	26
4.4	Resultaten producten met een N-werking	27
5	Incubatieproeven: bepalen van de C-dynamiek	35
5.1	Opzet producten met een C-werking	35
5.2	Bepaling van celwandcomponenten	37
5.3	Resultaten producten met een C-werking	38
5.4	Opzet producten met een N-werking	41
5.5	Resultaten producten met een N-werking	42
5.6	Conclusie N-mineralisatie en C-stabiliteit	46
5.6.1	Producten met een C-werking	46
5.6.2	Producten met een N-werking	46
5.6.3	Overzicht	46
6	Veldproeven: combinaties van producten testen bij verschillende teelten.....	49
6.1	Veldproeven 2015	52
6.1.1	Veldproef bloemkool Kortemark	52
6.1.2	Veldproef aardappel Roeselare	62
6.1.3	Veldproef maïs Gistel	73
6.1.4	Veldproef maïs Westerlo	79
6.2	Analyse van de veldproeven in 2015	85
6.2.1	Inleiding	85
6.2.2	N-werkzaamheid	86
6.2.3	Organische stof toediening	86
6.2.4	Conclusie veldproeven 2015	87
6.3	Veldproeven 2016	87
6.3.1	Veldproef prei Kortemark	89
6.3.2	Veldproef maïs Roeselare	97
6.3.3	Veldproef gras Gistel	104
6.3.4	Veldproef maïs Westerlo	114
6.4	Analyse van de veldproeven 2016 en vergelijking met veldproeven 2015	126
6.4.1	Oogstopbrengsten en kwaliteit	126
6.4.2	Massa balansen en nitraatresidu's	127
6.5	Conclusie veldproefjaren 2015-2016	133
6.5.1	Inschatting van de werkingscoëfficiënt van de mestproducten op basis van de veldproeven	133
6.5.2	Plantopbrengst en nitraatresidu	135
6.5.3	Praktische haalbaarheid	137
6.5.4	Zware metalen	139
6.5.5	Andere aspecten	145
7	Potproeven: karakterisatie van de plantbeschikbare P	145
7.1	Opzet	145
7.2	De P-werkingscoëfficiënt	154
7.2.1	P-werkingscoëfficiënt op basis van de DS-opbrengst	154
7.2.2	P-werkingscoëfficiënten op basis van de P-export	154
7.3	Resultaten	155
7.3.1	Dosis-reponscurves voor P en K	155
7.3.2	P-werkingscoëfficiënt op basis van de DS-opbrengst	156

////////////////////////////////////

7.3.3	P-werkingscoëfficiënten op basis van de P-export	159
7.3.4	Chemische samenstelling van het gras	161
7.4	Conclusie	165
8	Simulaties van de stikstof- en koolstofdynamiek	166
8.1	Incubatieproef	166
8.2	Veldproef	169
8.3	Simulaties bij eenzelfde hoeveelheid toegediende werkzame N	177
8.4	Simulaties bij andere weersomstandigheden	178
8.4.1	Effect van de neerslag	179
8.4.2	Effect van de temperatuur	179
8.5	Simulaties van de koolstofdynamiek	180
8.6	Besluit	183
9	Koolstof / Fosfor ont koppeling uit dikke fractie van gescheiden mest en digestaat	186
9.1	Inleiding	186
9.2	Product Karakterisatie	186
9.3	Titratie experiment	187
9.4	Bijkomend equilibratie experiment	191
9.5	Inzet van geëxtraheerde P in de tuinbouw	192
9.5.1	Re-precipitatie vrijgestelde P	193
9.5.2	Conclusie	195
10	Conclusie luik 2	196
10.1	Incubatieproeven	196
10.1.1	Bepaling van de stabiele organische stof	196
10.1.2	N-werking van de mestproducten	196
10.2	Veldproeven	197
10.2.1	Vergelijking met vooropgestelde werkingscoëfficiënten in veldproeven en werkingscoëfficiënten bepaald uit de incubatieproeven	197
10.2.2	Herberekening van de toegediende hoeveelheid werkzame N	198
10.3	Potproeven	198
10.4	Productfiches	199
11	Referenties	200
12	Bijlages	202
13	Bijlage 1: verloop van de N-mineralisatieproef UGent	211
14	Bijlage 2: verloop van de C-mineralisatieproef ILVO	219
15	Bijlage 3: Overzicht van het C-mineralisatieverloop van de verschillende mestproducten die bij Ugent worden opgevolgd via de incubatieproeven.	223



1 AFKORTINGEN

ADF: Acid Detergent Fiber
ADL: Acid Detergent Lignin
CRSM: gecomposteerde runderstalmest
DIF: dikke fractie
DIG: digestaat pocketvergisting
DS: droge stof
DUF: dunne fractie
EOS/EOC: effectieve organische stof/effectieve organische koolstof
GEP: Good Experimental Practice
ILVO: Instituut voor landbouw- en visserijonderzoek
KCl: chloorpotas
KM: kunstmest
LDP: laatste data punt
LNP: Low Nutrient Press
NDF: Neutral Detergent Fiber
ODL: onder detectielimiet
OC: organische koolstof (is een deel van organische stof)
Org: organisch
OS: organische stof (is ruimer dan organische koolstof)
RDM: rundveedrijfmest
SD: standaard afwijking
TOC: totaal organisch C-gehalte
Tot: totaal
TSP: triple superfosfaat
VDM: varkensdrijfmest
VS: verse stof
WC: werkingscoëfficiënt
WCPDS: P-werkingscoëfficiënt op basis van de DS-opbrengst
WCPP: P-werkingscoëfficiënt op basis van de P-export
Wzm: werkzaam

2 INLEIDING

Luik 2 omvat het proevenonderzoek om de agronomische en milieukundige karakteristieken van een aantal (combinaties van) technologieën en producten van bewerkte dierlijke mest te kwantificeren. De beloftevolle producten uit luik 1 worden verder behandeld in luik 2. Het doel van dit luik is om de meest haalbare, kosteneffectieve en/of veelbelovende technologieën en producten van bewerkte dierlijke mest, in de praktijk te testen.

Het doel is om reële agronomische waarde en milieukundige effecten van reeds bestaande of licht gewijzigde (geoptimaliseerde) producten van bewerkte dierlijke mest te onderzoeken en een aantal productkarakteristieken beter in te schatten. Aanbevelingen voor het gebruik van de uitgeteste technologieën en producten van dierlijke mestbewerking resulteren in een aantal productfiches. Deze worden opgenomen bij de samenvatting van dit onderzoek.

Om de agronomische waarde en milieukundige effecten van de geselecteerde producten in te schatten worden een aantal parameters onderzocht met de meest geschikte methodes. Ter bepaling van de agronomische waarde en milieukundige effecten, worden volgende karakteristieken van een aantal geselecteerde producten uit luik 1 behandeld:

- Homogeniteit van het product, dichtheid, droge stofgehalte, pH, soort/aandeel dierlijke mest
- Nutriënten
 - Kwantificering van o.a. totaal/organische/minerale N-vorm, P-inhoud, K-inhoud
 - Het effect op opbrengst (en N en P opname in de plant) en nitraatstikstofresidu, t.o.v. minerale meststoffen en niet bewerkte dierlijke mest
 - Invloed op bodembalans bij gebruik van deze producten
 - De grootte van stikstofverliezen naar de verschillende milieucompartmenten
- Organische stof: Opbouwmogelijkheid van stabiele organische stof (effectieve organische stof) en mineralisatie
- Milieurisico's: Gehalte aan ongewenste stoffen (zware metalen)

Bovenstaande karakteristieken kunnen via meerdere methodes bepaald worden. Via karakterisatie worden de producteigenschappen in kaart gebracht van runderdrijfmest (RDM), digestaat runderdrijfmest (DIG RDM), gecomposteerde runderstalmest (CRSM), dunne fractie varkensdrijfmest (DUF VDM), VDM, dunne fractie varkensdrijfmest na low nutrient press (DUF VDM LNP), DIG VDM LNP, dikke fractie varkensdrijfmest (DIF VDM) en DIF DIG. De incubatieproeven, veldproeven en potproeven geven de werking weer van de producten op gewassen en omgeving. Met CRSM, DIF VDM LNP, DIF VDM, DIF DIG, RDM, DIG RDM, VDM, DUF VDM en DUF VDM LNP worden incubatieproeven opgezet. In de veldproeven worden mengsel van VDM en RDM, DUF VDM, DIG RDM, mengsel van VDM en DUF VDM, mengsel van CRSM en DUF VDM, VDM, RDM en KM uitgetest en in de potproeven worden DUF VDM, VDM, DUF VDM LNP, DIF VDM LNP, DIF VDM en DIF DIG uitgetest. Tenslotte leren de simulaties inzicht in de N- en C-dynamiek. Met uitzondering van de veldproeven, kunnen de overig beschreven proeven onder gecontroleerde omstandigheden plaatsvinden. Vanuit deze geconditioneerde proeven kunnen wetenschappelijke conclusies getrokken worden en via de veldproeven worden deze zaken gelijktijdig getoetst aan de praktijkomstandigheden.

Een aantal tabellen zijn opgenomen als bijlage om de leesbaarheid van het document te verhogen.

3 KARAKTERISATIE BEMESTINGSPRODUCTEN

3.1 OPZET

3.1.1 Doel

In dit onderdeel worden de 12 verschillende mestproducten gekarakteriseerd die worden aangewend in de veldproeven 2015 en 2016, de incubatieproeven en potproeven. De karakterisatie heeft tot doel om een uitgebreide view te hebben op de inhoud en samenstelling van de producten.

3.1.2 Werkwijze

De stalen worden genomen volgens compendium Bemonsteringsprocedures in het kader van het Mestdecreet en aangeleverd in gesloten plastic emmers/vaten/zakken en gekoeld bewaard (0-4°C) tot de start van de analyse (< 72u na binnen brengen van de stalen) bij het labo ILVO-Plant, Teelt en Omgeving, het laboratorium van Inagro en het laboratorium Analytische Chemie en Toegepaste Ecochemie van de Universiteit Gent. Voor het nemen van ieder substaal voor analyse, wordt het staal grondig gemengd om drijf- en/of zinklagen te mengen doorheen de rest van het staal.

De producten die worden gebruikt in de incubatie- en potproeven bij het ILVO, worden bij het labo ILVO-Plant, Teelt en Omgeving geanalyseerd. De producten die worden gebruikt in de incubatieproeven aan de UGent, worden geanalyseerd door het laboratorium van Inagro en het laboratorium Analytische Chemie en Toegepaste Ecochemie van de Universiteit Gent. Dit maakt dat voor sommige producten 2 verschillende analyses worden uitgevoerd. In deze gevallen worden 2 verschillende stalen van eenzelfde batch van het product gebruikt. Dat resulteerde in enige variatie in de samenstelling gerapporteerd door ILVO en Inagro of UGent voor dezelfde producten. Het staal van DUF VDM wordt echter omwille van het lage totale stikstof en ammonium gehalte na analyse aan de Universiteit Gent niet verder weerhouden voor de N en C-incubatieproef. Hierop wordt er een nieuw staal genomen van dezelfde locatie waar het eerder staal van kwam. Daardoor zijn de stalen van ILVO en UGent voor het mestproduct DUF VDM niet afkomstig van dezelfde batch. DUF VDM wordt dan ook voor deze karakterisatie aangeduid als DUF VDM₁ (ILVO) en DUF VDM₂ (UGent). Om verwarring te vermijden, wordt bij iedere proef verwezen naar het specifieke analyseverslag waarop de potproef en/of incubatieproef wordt berekend (zie Tabel 2a en Tabel 2b) en wordt geen gebruik gemaakt van gemiddelde waarden van de meerdere analyses die op hetzelfde product worden uitgevoerd.

3.1.3 Analyses

Op de 12 meststalen worden de parameters N_{tot}, P_{tot}, K_{tot}, EC, pH, Organische koolstof (OC) alsook essentiële metalen (Cu, Zn, Fe) en uitwisselbare basen (K, Na, Ca, Mg) geanalyseerd. De meststalen worden gedurende meer dan 48u gedroogd in een mechanisch geventileerde droogstoof ter bepaling van het drogestof-gehalte (DS)¹. Substalen van dit gedroogde staal worden gemalen en gebruikt voor de bepaling van het organische stof-gehalte (OS)², het P₂O₅, K₂O, MgO, CaO en Na₂O-gehalte³. Het ammonium- en nitraatstikstofgehalte en totale stikstofgehalte van de meststalen wordt bepaald bij het labo ILVO-Plant, Teelt en Omgeving⁴. Aan het laboratorium Ecochem van de Universiteit Gent wordt de totale stikstof in de bemestingsproducten gedetermineerd via Kjeldahl analyse en het ammonium gehalte wordt bepaald via een Kjeltrec-1002 distillatie eenheid (Gerhardt

¹ Gewerkt volgens Europese norm EN 13040

² Gewerkt volgens Europese norm EN 13039

³ Gewerkt volgens norm CMA 2/IV/19

⁴ respectievelijk via de extractie en metingsprocedures CMA/2/IV/6, CMA/2/IV/7 en CMA/2/IV/4 (N-Dumasmethode)

Vapodest) na toediening van MgO aan het staal en terugtitratie met kleuromslag (Van Ranst et al., 1999). Daarnaast worden ook de sporenelementen Fe, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb en Zn bepaald door het laboratorium Analytische Chemie en Toegepaste Ecochemie van de Universiteit Gent via ICP-OES. Bij het labo ILVO-Plant, Teelt en Omgeving worden enkel de sporenelementen Al en Fe bepaald. EC en pH worden bepaald door het laboratorium Analytische Chemie en Toegepaste Ecochemie van de Universiteit Gent door gebruik te maken van een WTW-LF537 (WTW GmbH, GE) conductiviteit electrode en een Orion-520A (Orion Research Inc, USA) pH-meter.

Het organische koolstof (OC) gehalte wordt bepaald door middel van het VITO protocol CMA / 2 / IV / 3 voor organische stof bepaling. De organische koolstof kan op basis van de organische stof worden berekend voor alle monsters met een droge stof hoger dan 2% volgens de volgende vergelijking:

$$\%C = \% \text{ organische stof} / 1.8$$

Het OC-gehalte wordt additioneel bepaald via elementenanalyse door het laboratorium aan de Universiteit Gent.

3.1.4 Selectie producten

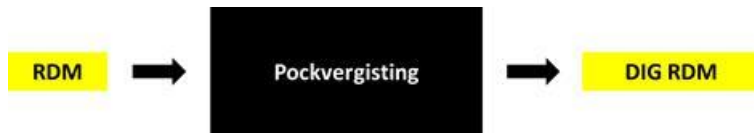
In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de stalen die worden geselecteerd en welke proeven respectievelijk worden uitgevoerd voor zowel de incubatie- en potproeven. Voor varkensdrijfmest worden bij de verschillende verwerkingstechnieken andere types varkensdrijfmest gebruikt, m.a.w. VDM en VDM voor LNP zijn 2 verschillende stalen varkensdrijfmest, DUF VDM is op een ander type drijfmest gebaseerd dan DUF VDM LNP, net zoals DIF VDM LNP op een ander type varkensdrijfmest gebaseerd is dan DIF VDM of DIF VDM Fraunhofer. De stalen van DIG RDM en RDM in de pot- en incubatieproeven zijn van dezelfde proceslijn (voor en na pocketvergisting) afkomstig. Dit is ook het geval voor de stalen DUF VDM₁ en VDM maar niet voor DUF VDM₂ (zoals hierboven aangegeven). Ook de producten DIF VDM LNP en DUF VDM LNP zijn afkomstig van dezelfde varkensdrijfmest namelijk VDM voor LNP na het LNP proces. De DIF digestaat voor en na het Fraunhoferprocédé⁵ zijn afkomstig van dezelfde batch. Hetzelfde geldt voor de DIF VDM. Bij het Fraunhoferprocédé worden 2 sequenties getest, nl. enerzijds eerst de mest- of digestaatscheiding en dan de aanzuring van de dunne fractie (schema 5), en anderzijds eerst de aanzuring en dan de mest- of digestaatscheiding (schema 6). Het aanzuren van het Fraunhoferprocédé wordt dus enerzijds toegepast op de dunne fractie van digestaat of varkensdrijfmest na scheiding, waarbij de dikke fractie (zonder aanzuring) van de scheiding (DIF VDM of DIF Digestaat) verder getest wordt in deze studie (schema 5). Anderzijds wordt de aanzuring van het Fraunhoferprocédé op ruwe varkensdrijfmest of digestaat toegepast voor de mest- of digestaatscheiding, waarbij de aangezuurde dikke fractie van de scheiding verder getest wordt in deze studie als DIF VDM Fraunhofer of DIF Digestaat Fraunhofer (schema 6). In de bijhorende schema's wordt geschetst hoe deze verwerkte dierlijke mestproducten zijn geproduceerd. De geel gemarkeerde producten in de schema's zijn de producten die worden geanalyseerd op samenstelling, incubatie- en potproef. Het staal 'DIF digestaat' wordt ook getest in de incubatieproeven maar kan niet worden opgenomen in de potproef omdat er te weinig materiaal beschikbaar is om de proef uit te voeren.

⁵ Dit procedé wordt beschreven in Luik 1 vanaf p70.

Tabel 1. Overzicht van alle stalen van verwerkte mest en de incubatieproeven en potproeven die worden uitgevoerd op basis van deze stalen. Opeenvolgende stalen met een achtergrondkleur zijn gebaseerd op hetzelfde uitgangsmateriaal (oorsprong en bemonsteringstijdstip).

Schema	Codenaam	Beschrijving	N-mineralisatie UGent	Stabiliteit organische stof UGent	N-mineralisatie ILVO	Stabiliteit organische stof ILVO	Plantbeschikbare P
1	RDM	ruwe runderdrijfmest	X	X			X
	DIG RDM	digestaat van pocketvergisting	X	X			X
2	CRSM	gecomposteerde runderstalmest			X	X	X
3	DUF VDM ₁	dunne fractie varkensdrijfmest					X
	DUF VDM ₂	dunne fractie varkensdrijfmest	X	X			
	VDM	ruwe varkensdrijfmest	X	X			X
4	DUF VDM LNP	dunne fractie varkensdrijfmest na Low Nutrient Press	X	X			X
	DIF VDM LNP	dikke fractie varkensdrijfmest na Low Nutrient Press			X	X	X
	VDM voor LNP	ruwe varkensdrijfmest voor Low Nutrient Press					X
5	DIF VDM (voor Fraunhofer)	dikke fractie varkensdrijfmest			X	X	X
6	DIF VDM Fraunhofer*	dikke fractie van aangezuurde drijfmest (Fraunhofer)			X	X	X
5	DIF DIG (voor Fraunhofer)	Dikke fractie digestaat			X	X	
6	DIF DIG Fraunhofer*	Dikke fractie van aangezuurde digestaat (Fraunhofer)			X	X	X

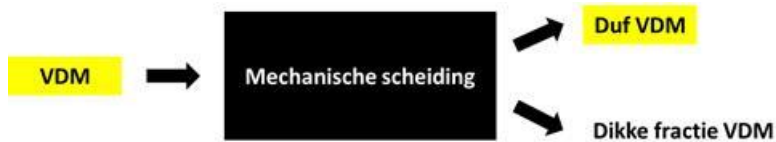
*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM.



Figuur 1. Schema 1 pocketvergisting



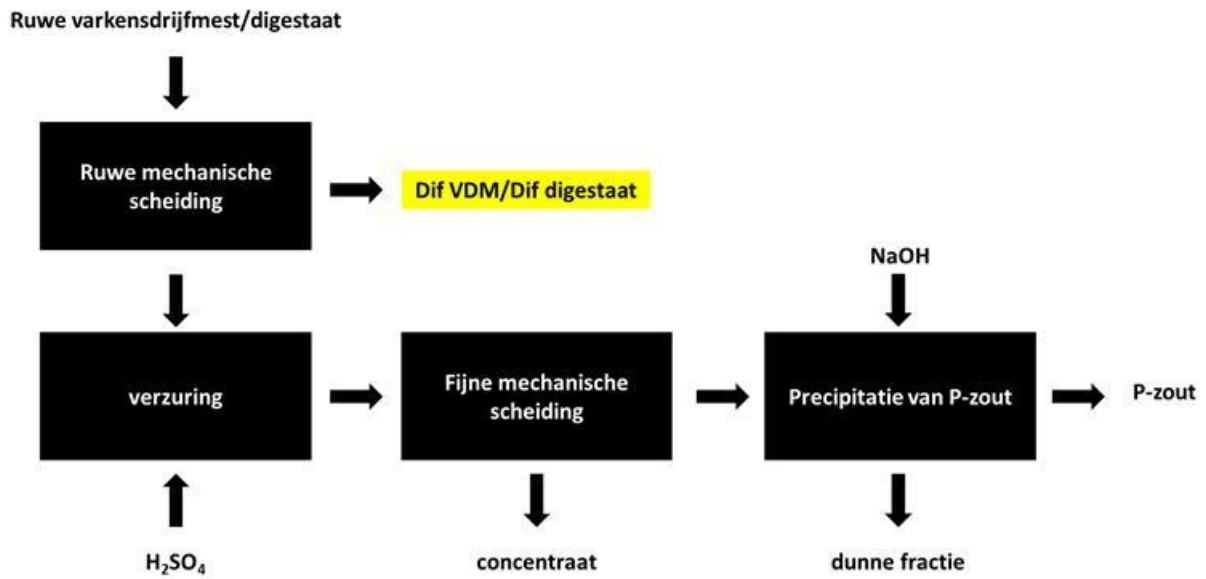
Figuur 2. Schema 2 compostering van stalrest



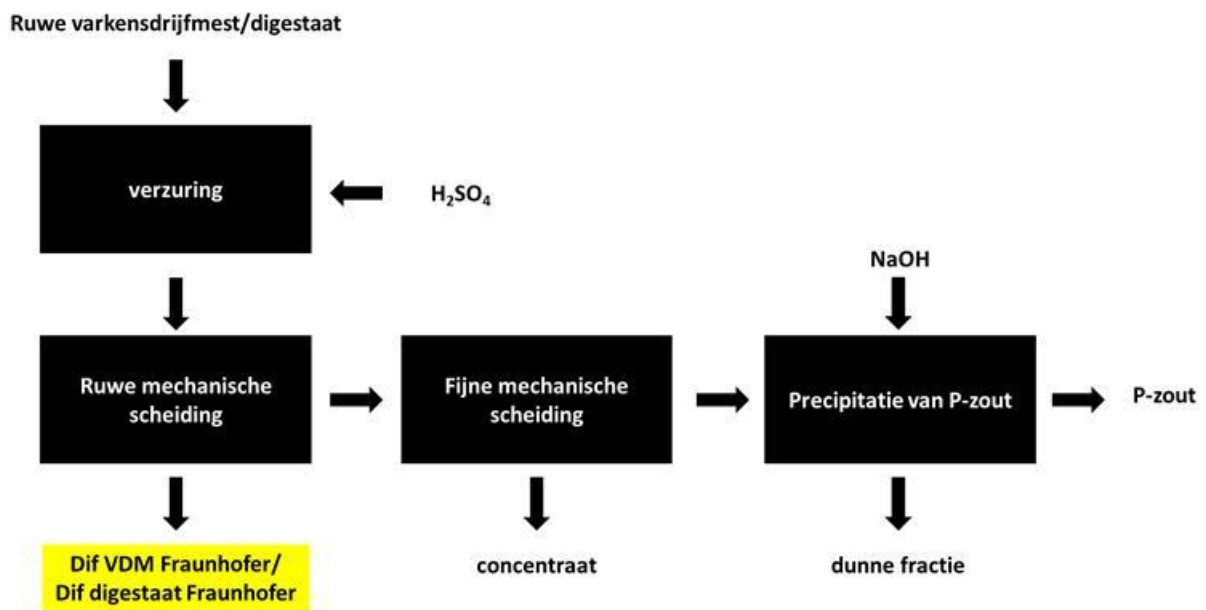
Figuur 3. Schema 3 mechanische scheiding



Figuur 4. Schema 4 mechanische scheiding met Low Nutrient Press



Figuur 5. Schema 5 Fraunhoferprocédé toegepast op de dunne fractie van digestaat of varkensdrijfmest na scheiding



Figuur 6. Schema 6 Fraunhoferprocédé op ruwe varkensdrijfmest of digestaat voor scheiding

3.2 RESULTATEN

In Tabel 2 a en b wordt een overzicht gegeven van de samenstelling van de verwerkte mestproducten. De runderdrijfmest (RDM) gebruikt in deze proeven vertoont een gelijkaardige samenstelling als in de literatuur wordt gevonden (Schröder et al., 2009; Coppens, 2009). Het digestaat (DIG RDM) afkomstig van de pocketvergisting die gevoed wordt met dezelfde runderdrijfmest vertoont enkel grote verschillen op het vlak van organische stof. Dit is een logisch gevolg van de anaerobe vergistingsstap die een deel van de organische stof heeft omgezet in biogas. DIG RDM heeft gelijkaardige eigenschappen als vermeld in Luik 1 (Tabel 44). Ook de gecomposteerde runderstalmest (CRSM) heeft gelijkaardige eigenschappen als andere types gecomposteerde stalmest (zie Luik 1, Tabel 50) maar heeft wel een iets hoger droge stofgehalte, mogelijks door de langere stockage op het veld.

De analyse van VDM in Tabel 2a en b vertoont een lagere waarde voor zowel stikstof als fosfaat dan wat de literatuur aangeeft (Coppens, 2009) bij zowel VDM en VDM voor LNP. Bij de meeste analyses vertoont het droge stof gehalte van de varkensdrijfmest wel een waarde die in de lijn ligt van de verwachtingen. Enkel bij de analyse van VDM voor LNP aan de UGent toont de zeer lage droge stof waarde en bijgevolg fosfaat gehalte (in vergelijking met de analyse aan ILVO) aan dat er mogelijk iets mis is gegaan bij de homogenisatie van het staal. Verschillen in analyse tussen ILVO en UGent zijn waarschijnlijk te verklaren door heterogeniteit van de producten, waardoor de afzonderlijke porties (emmers) van de mesttypes die aan UGent en ILVO bezorgd werden, toch onderling beperkte verschillen in samenstelling vertoonden.

De analyse door het ILVO van de DUF VDM₁ geeft een lagere N_{tot} en N_{min} dan wat eerdere analyses aantoonde (zie Luik 1, 1.2). Het staal van DUF VDM₂ die aan de UGent geleverd wordt, bleek na analyse een heel laag gehalte aan NH₄-N (<0,3 g/kg VS) te bevatten en is daarom niet geschikt voor verdere experimenten. Er gebeurde een nieuwe staalname waarvan de resultaten terug te vinden zijn in de Tabel 2b. De analyse door de UGent van dunne fractie varkensdrijfmest (DUF VDM₂) ligt voor N_{tot} en fosfaat binnen de te verwachten waarden aangaande op de literatuur (zie Luik 1, 1.2). Ammoniakale stikstof van DUF VDM₂ ligt echter een stuk onder de verwachte 4 g NH₄-N/kg VS (zie Luik 1, Tabel 23).

De scheidingsstap door middel van de Low Nutrient Press (LNP) leverde een dunne en dikke fractie op. Aangezien dit een innovatieve scheidingstechniek is kan men geen vergelijking maken met de literatuur. Uit de analyses van de dunne fractie (DUF LNP) en varkensdrijfmest (VDM LNP) kan men zien dat de fosfor concentraties tussen deze producten (DUF LNP en VDM LNP) niet sterk verschilt. De resultaten tussen ILVO en UGent verschillen voor zowel DUF LNP als VDM LNP. Dit kan te wijten zijn aan het onvoldoende homogeniseren van het product tijdens het nemen van substalen aan de UGent waardoor een lagere droge stof gehalte wordt gevonden. Dit heeft zijn weerslag op de stikstof (N_{tot} en N_{min}) en fosfaat concentraties in deze producten (DUF LNP en VDM LNP). Bij DIF LNP zijn de bekomen waarden van de twee onderzoekinstellingen gelijkaardig.

De dikke fracties hebben allemaal een droge stof gehalte van tussen de 20 en 35 % dit stemt overeen met de literatuur (zie Luik 1, 1.2). Uit de vergelijking van de dikke fractie van varkensdrijfmest en digestaat (DIF VDM en DIF DIG) voor en na het Fraunhoferprocédé kan er duidelijk vastgesteld worden dat per eenheid droge stof de concentraties aan N_{tot}, P₂O₅ en K₂O dalen omwille van het Fraunhoferprocédé.

Organische stof

De vergelijking van C-bepaling door middel van omrekening organische droge stof (bepaald via CMA / 2 / IV / 3) en de elementaire analyse is weergegeven in Tabel 2a.

De gemiddelde organische koolstof waarden (%) die worden verkregen via CMA / 2 / IV / 3 werkwijze resulteerde in 3 à 15% hogere waarden dan die verkregen via elementaire analyse (Tabel 2). De nieuwe organische koolstofwaarden verkregen via elementaire analyses worden bij de C-mineralisatie gebruikt.

Zware metalen

De zware metalen samenstelling van de bemestingsproducten op basis van droge stof zijn weergegeven in Tabel 4. Het digestaat uit pocket vergisting (DIG RDM) en runderdrijfmest (RDM) resulteren in soortgelijke concentraties zware metalen. Het gehalte aan zware metalen van 'DIG RDM' voldoet aan de thans geldende Vlaamse technische eisen voor zware metalen, die 6, 250, 375, 50, 300 en 900 mg kg⁻¹ DS voor respectievelijk Cd, Cr, Cu, Ni, Pb en Zn bedragen (Saveyn en Eder, 2014). Voor producten verkregen na de Low Nutrient Press scheiding, zijn de concentraties van zware metalen aangetroffen in de volgende volgorde: VDM voor LNP > DUF VDM LNP > DIF LNP. Deze volgorde wordt beïnvloed door het gehalte aan droge stof van deze producten. Hoe lager het gehalte droge stof, hoe hoger de concentratie van zware metalen per eenheid droge stof. Men kan zien dat de overschrijdingen enkel gebeuren voor Cu en Zn. Voor Cu wordt de drempelwaarde van 500 mg/kg DS overschreden in het geval van varkensdrijfmest (VDM) en de dunne fracties van varkensdrijfmest na LNP (DUF VDM LNP) en na centrifuge (DUF VDM₂). Zowel de DUF VDM₂ en DUF VDM LNP overschrijden de maximale waarde van 900 mg Zn/kg DS.

Het uitdrukken van de concentraties zware metalen op basis van droge stof en daarop de normen afstemmen kan een verkeerd beeld geven omtrent het milieu risico dat het bemestingsproduct met zich meebrengt. Het toegestane gebruik van deze meststoffen in de praktijk is gelimiteerd door de aanwezige stikstof en fosfaat. De mestwetgeving geeft aan dat er maximaal 170 kg N (of 250 kg N/ha via derogatie) uit dierlijke mest kan gebruikt worden per hectare en afhankelijk van verschillende factoren (teelt, P verzadiging in bodem,...) tussen de 45 kg en 115 kg P₂O₅ (MAP 5). Omwille van deze eerder genoemde beperkingen is het relevanter om de normering van zware metalen in meststoffen te bekijken vanuit het agronomisch gebruik of bijgevolg in functie van N en P₂O₅ gehalte. Indien er wordt gerekend met een maximale dosis van 170 kg N dierlijk en 95 kg P₂O₅ per ha (de maximale gift onder klasse II van MAP5) kan gezien worden dat de normen die zijn vastgesteld op 300 g As, 12 g Cd, 500 g Cr, 750 g Cu, 10 Hg, 600 g Pb, 100 g Ni en 1800 g Zn per hectare per jaar (VLAREMA Bijlage 2.3.1.C) enkel voor Cu wordt overschreden door het gebruik van dunne fractie varkensdrijfmest en varkensdrijfmest. De jaarlijkse toediening van Cu door het gebruik van DUF VDM₂ als bemesting bedraagt op basis van de huidige analyses 755,44 g Cu/ha/jaar terwijl dat dit voor VDM 828 g Cu/ha/jaar bedraagt (zie Tabel 5).

Binnen de stuurgroep wordt eveneens gepolst naar impact op metaal-toediening indien gewerkt wordt aan hogere N bemestingsnormen in kader van derogatie. In dit project is dit enkel toepasbaar voor rundveemest. Een tabel wordt toegevoegd met de Cu en Zn dosering in het geval rundveemest bemest zou worden aan 250 kg/h N in plaats van 170 kg/ha.

Tabel 2a. samenstelling van de bemestingsproducten aan UGent met droge stof (DS), organische stof (OS), organische koolstof (OC), verse stof (VS) en elektrische geleidbaarheid (EC)

	DS	OS (% VS)	OC**	OC***	C/N**	C/N***	N tot	NH ₄ ⁺ -N (g/kg VS)	P ₂ O ₅	EC (mS/cm)	pH
RDM	8,6	6,8	3,8	3,3	7,6	6,6	5,0	2,3	1,7	21,6	7,6
DIG RDM	6,4	4,7	2,6	2,2	6,4	5,4	4,0	1,6	1,3	18,0	7,6
CRSM	40,3	18,6	10,3	9,72	13,1	12,3	7,9	0,4	4,7	4,3	8,1
DUF VDM ₂	2,3	1,3	0,7	0,7	1,3	1,4	5,3	2,7	0,4	27,6	7,9
VDM	5,2	3,8	2,1	1,8	3,9	3,4	5,3	2,9	2,1	28,0	7,6
DUF VDM LNP	2,4	1,2	0,7	0,6	1,3	1,1	5,3	3,3	0,6	31,2	8,0
DIF VDM LNP	46,6	40,0	22,2	19,1	19,3	16,5	11,5	3,2	11,0	2,4	8,2
VDM voor LNP	2,2	1,0	0,6	0,5	1,3	1,2	4,4	2,9	0,5	36,9	7,9

Tabel 2b. samenstelling van de bemestingsproducten aan ILVO met droge stof (DS), organische stof (OS), organische koolstof (OC) en verse stof (VS)

	DS (% VS)	OS	Ntotaal	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Al (mg/kg VS)	Fe (mg/kg VS)
RDM	10,0	7,1	4,5	1,4	<0,001	1,4	6,0	1,0	2,3	0,5	65	113
DIG RDM	5,0	3,4	3,3	1,3	<0,001	1,0	4,1	0,8	1,7	0,9	55	90
CRSM	36,1	14,5	8,4	0,2	0,203	4,3	13,0	2,7	6,7	1,3	564	892
DUF VDM ₁	4,2	2,3	2,4	0,1	0,014	1,1	4,8	0,5	2,5	1,5	67	602
VDM	6,1	4,4	5,2	1,7	<0,001	2,0	4,0	1,4	2,4	1,1	27	111
DUF VDM LNP	5,9	3,8	6,4	2,8	<0,001	1,7	5,0	2,2	2,4	2,2	32	100
DIF VDM LNP	43,9	36,8	10,7	1,2	<0,001	12,0	5,3	5,6	20,5	2,2	122	776
VDM voor LNP	8,0	5,6	6,9	2,9	<0,001	2,2	5,2	2,5	3,2	2,3	39	119
DIF VDM (voor Fraunhofer)	20,6	14,9	10,7	0,7	0,002	6,9	5,6	7,3	9,9	1,6	148	370
DIF VDM Fraunhofer*	28,3	23,1	9,0	1,9	<0,001	5,7	4,6	3,7	7,6	1,4	170	398
DIF digestaat (voor Fraunhofer)	34,6	26,0	15,7	3,0	<0,001	7,1	8,4	1,6	11,1	5,3	2034	3042
DIF digestaat Fraunhofer*	22,8	17,3	8,3	2,4	<0,001	3,2	4,0	0,6	9,0	2,5	1044	1527

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM.

**op basis van VITO protocol (CMA/2/IV/3)

***op basis van elementaire analyse

Tabel 3. samenstelling sporenelement in de bemestingsproducten op verse stof basis

beschrijving	Al	Fe	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
	g/ton vers									
RDM	104 ± 21	103 ± 22	0,03 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,25 ± 0,02	19,4 ± 4,0	22,5 ± 4,5	0,35 ± 0,01	< 0,20	27,5 ± 5,8
DIG RDM	81,6 ± 2,0	137,5 ± 3,1	< 0,01	0,11 ± 0,00	0,22 ± 0,01	9,8 ± 0,4	13,7 ± 0,6	0,32 ± 0,07	< 0,20	23,0 ± 0,2
CRSM	871 ± 106	1547 ± 365	0,06 ± 0,00	0,55 ± 0,06	2,59 ± 0,51	7,6 ± 1,2	75,6 ± 3,3	1,42 ± 0,07	1,90 ± 0,34	58,2 ± 1,6
DUF VDM ₂	10,0 ± 0,2	187 ± 10	< 0,01	0,07 ± 0,01	0,10 ± 0,00	23,7 ± 1,0	10,3 ± 0,06	0,30 ± 0,02	< 0,20	43,9 ± 2,8
VDM	29,4 ± 2,8	102,3 ± 8,6	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,01	0,25 ± 0,00	26,0 ± 2,6	28,6 ± 2,0	0,41 ± 0,01	< 0,20	40,8 ± 3,2
DUF VDM LNP	10,5 ± 0,4	27,9 ± 1,6	< 0,01	0,07 ± 0,00	0,07 ± 0,00	13,9 ± 1,4	8,0 ± 0,6	0,26 ± 0,01	< 0,20	23,3 ± 1,4
DIF VDM LNP	90,7 ± 5,4	612 ± 72	< 0,01	0,58 ± 0,01	5,54 ± 0,89	59,2 ± 1,9	227 ± 13	3,54 ± 0,52	< 0,20	174 ± 13
VDM voor LNP	7,5 ± 0,9	16,9 ± 2,1	< 0,01	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,00	7,5 ± 1,0	6,0 ± 0,8	0,22 ± 0,00	< 0,20	12,4 ± 1,5
DIF VDM (voor Fraunhofer)	148	370								
DIF VDM Fraunhofer*	170	398								
DIF digestaat (voor Fraunhofer)	2034	3042								
DIF digestaat Fraunhofer*	1044	1527								

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM.

**odl: onder de detectielimiet



Tabel 4. samenstelling sporenelement in de bemestingsproducten op droge stof basis en met de overschrijding van de waarden onderstreept

beschrijving	Al	Fe	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
	g/ton droge stof									
RDM	1218 ± 241	1209 ± 252	0,31 ± 0,06	2,0 ± 0,1	2,9 ± 0,2	226 ± 47	263 ± 52	4,1 ± 0,2	2,6 ± 1,9	321 ± 68
DIG RDM	1279 ± 32	2157 ± 48	0,22 ± 0,04	1,8 ± 0,0	3,4 ± 0,2	154 ± 6	215 ± 10	5,0 ± 1,1	2,5 ± 0,7	361 ± 3
CRSM	2161 ± 263	3836 ± 906	0,15 ± 0,01	1,4 ± 0,1	6,4 ± 1,3	19 ± 3	188 ± 8,3	3,5 ± 0,2	4,7 ± 0,8	144 ± 4
DUF VDM ₂	426 ± 9	7997 ± 443	< 0,01	2,9 ± 0,3	4,3 ± 0,1	<u>1012 ± 41</u>	438 ± 26	12,8 ± 1,0	< 0,20	<u>1876 ± 119</u>
VDM	570 ± 54	1984 ± 167	0,32 ± 0,00	1,1 ± 0,1	4,8 ± 0,1	<u>504 ± 50</u>	554 ± 39	7,9 ± 0,2	< 0,20	791 ± 61
DUF VDM LNP	439 ± 18	1170 ± 67	0,33 ± 0,00	2,8 ± 0,1	2,9 ± 0,1	<u>581 ± 59</u>	335 ± 23	10,7 ± 0,4	< 0,20	<u>978 ± 59</u>
DIF VDM LNP	195 ± 12	1314 ± 155	< 0,01	1,2 ± 0,0	11,9 ± 1,9	127 ± 4	488 ± 28	7,6 ± 1,1	< 0,20	374 ± 27
VDM voor LNP	344 ± 44	778 ± 97	0,18 ± 0,00	2,7 ± 0,2	2,3 ± 0,0	348 ± 45	276 ± 37	10,1 ± 0,1	< 0,20	571 ± 68
DIF VDM (voor Fraunhofer)	720	1794								
DIF VDM Fraunhofer*	601	1405								
DIF digestaat (voor Fraunhofer)	5878	8791								
DIF digestaat Fraunhofer*	4579	6698								

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM,

**odl: onder de detectielimiet

Tabel 5. De toegelaten toediening van de verschillende mestproducten (onder de limiet van 170 kg N dierlijk of 95 kg P₂O₅, maximale toediening bij klasse II) per mestproduct met daarbij de Cu en Zn gift (g ha⁻¹). Voor DIF VDM LNP zijn correcties gebeurd voor de P₂O₅ omwille van de norm overschrijving (>95 kg ha⁻¹). De mestproducten met een overschrijding zijn onderstreept.

beschrijving	hoeveelheid (ton VS/ha)	Ntot	Nwerkzaam (kg/ha)	P ₂ O ₅	Cu		Zn
					(g/ha)		(g/ha)
RDM	34,0	170	102	56		660	935
DIG RDM	42,5	170	116	54		417	978
CRSM	21,5	170	68	102		164	1252
DUF VDM ₂	32,1	170	116	13		<u>760</u>	1408
VDM	32,1	170	102	69		<u>834</u>	1309
DUF VDM LNP	32,1	170	116	20		446	747
DIF VDM LNP		170		(162,0)			
	7,3	84	50	80		511,80	1506,61
VDM voor LNP	38,6	170	102	21		290	479

Tabel 6. De toegelaten toediening van de verschillende mestproducten (voor derogatie van 250 kg N dierlijk) per mestproduct met daarbij de Cu en Zn gift (g ha⁻¹). De mestproducten met een overschrijding zijn onderstreept.

Beschrijving	hoeveelheid (ton VS/ha)	Ntot	Nwerkzaam (kg/ha)	Cu		Zn
				(g/ha)		(g/ha)
RDM	50	250	150		<u>970</u>	1375
DIG RDM	63	250	171		613	1438
CRSM	32	250	100		241	<u>1842</u>
DUF VDM ₂	47	250	171		<u>1118</u>	<u>2071</u>
VDM	47	250	150		<u>1226</u>	<u>1925</u>
DUF VDM LNP	47	250	171		656	1099
DIF VDM LNP	22	250	0		<u>1287</u>	<u>3783</u>
VDM voor LNP	57	250	150		426	705



4 INCUBATIEPROEVEN: BEPALEN VAN DE N-DYNAMIEK

4.1 OPZET PRODUCTEN MET EEN C-WERKING

Om de N-mineralisatie in te schatten op basis van een incubatieproef wordt de voorkeur gegeven een bodem te gebruiken van het type zandleem, met een pH-KCl in of dicht tegen de streefzone en geen overmatig organisch koolstof en mineraal N-gehalte. Voor deze N-incubatieproef met verwerkte mestproducten wordt geopteerd om te werken met een bodemstaal van het proefveldperceel in Roeselare. Deze bodem voldoet aan de eisen van de N-incubatieproef (Tabel 7), Voor de C-incubatieproef (zie verder) wordt deze bodem ook gebruikt.

Tabel 7. Bodemeigenschappen van de gebruikte grond in de incubatieproeven. Het NO_3^- en NH_4^+ -gehalte worden gemeten bij de start van de incubatieproef door het labo ILVO-Plant, Teelt en Omgeving. Beoordeling als akkerland volgens de bodemkundige dienst van België (ref; Maes, S., Elsen, A., Tits, M., Boon, W., Deckers, S., Bries, J., Vogels, N., Vandendriessche, H. 2012. Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw- en weilandpercelen (2008-2011). Bodemkundige Dienst van België). (A.L.: ammoniumlactaat)

Parameter	eenheid	Gehalte	Beoordeling
Bodemtextuur	-	zandleem	-
pH-KCl	-	5,6	tamelijk laag
organisch koolstofgehalte	%	1,10	tamelijk laag
P-gehalte (A.L. extractie)	mg P/ 100g grond	30	tamelijk hoog
K-gehalte (A.L. extractie)	mg K/ 100g grond	9,2	laag
Mg-gehalte (A.L. extractie)	mg Mg/ 100g grond	18	tamelijk hoog
Ca-gehalte (A.L. extractie)	mg Ca/ 100g grond	110	streefzone
NO_3^- -N	mg N/kg DS	12,6	-
NH_4^+ -N	mg N/kg DS	1,7	-
Droge stof	%	83,4	

Voor deze incubatieproef wordt het protocol gevolgd zoals beschreven in: *BAM/deel1/12: Bodem - Bepaling van snel vrijkomende organische stikstof, versie 3.0 (juni 2010)*. De hoeveelheid organische meststof die wordt toegediend, wordt bepaald door het totaal N-gehalte van het product (Tabel 8). Er wordt een dosis van 170 kg N/ha toegediend. Deze hoeveelheid wordt gekozen omdat dit ook de maximumdosis is die uit 'dierlijke meststoffen' mag worden toegediend in MAP IV. Bij een N-incubatieproef is er standaard geen correctie voorzien voor PK-input. De PK-input is dus volledig bepaald door de samenstelling van de organische meststof (Tabel 8). Per behandeling worden 3 parallellen aangelegd. Bij opzet van de incubatieproef worden de producten handmatig verkleind om met voldoende precisie de hoeveelheid verwerkte dierlijke mest analytisch te kunnen afwegen. Hiervoor worden de producten NIET gedroogd. De dosis verwerkte mest wordt gemengd met de bodem en op een vochtgehalte gebracht waarbij 50% van het poriënvolume gevuld is met water. Het mengsel wordt in buisjes gebracht en samengedrukt tot een bulkdensiteit van 1,4 kg/dm³. De buisjes worden afgedekt met parafilm en in een klimaatkast geïncubeerd bij 15°C en 70% luchtvochtigheid. Bodem, water en organische meststof worden eerst grondig gemengd, dan in de buisjes aangebracht en dan pas brengen we het mengsel naar de juiste dichtheid. Tijdens de incubatieproef kijken we na of er extra vocht moet toegevoegd worden via controle van het gewicht van het buisje, en indien nodig wordt water druppelsgewijs toegevoegd via bedruppeling met pasteurpipet aan het oppervlak bovenaan de buisjes om zo een homogene verdeling van het water te garanderen. Via een 1M KCl-extractie wordt op vaste tijdstippen (na 0, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98 en 112 dagen) het mineraal N-gehalte in de bodem bepaald. Door dit mineraal N-gehalte te verminderen met het mineraal N-

gehalte van de blanco bodem, kan de N-mineralisatie uit de verwerkte mestproducten worden bepaald. De opzet van de N-mineralisatieproef wordt geïllustreerd in Figuur 7.

Opmerking:

In Tabel 8 wordt een overzicht gegeven van de P- en K-gift per product, door het gelijkstellen van de totale N-dosis op 170 kg N/ha. Het valt hierbij op dat het toepassen van Dif VDM Fraunhofer, waar P werd uitgehaald via het Fraunhofer procedé (zie schema 6), slechts een zeer weinig lagere P-gift impliceert dan Dif VDM. Dit is te wijten aan de N/P-verhouding. Tijdens het Fraunhofer procedé werd ook het totale N-gehalte van Dif VDM Fraunhofer verlaagd in vergelijking met Dif VDM (zie Tabel 2). Dit is ook het geval bij Dif dig en Dif dig Fraunhofer.

Tabel 8. Beschrijving van de totaal toegediende hoeveelheid organische meststof en NPK-input via de organische meststof per behandeling voor de N-incubatieproef. De berekeningen worden gebaseerd op de mestanalyses uitgevoerd door het ILVO-laboratorium Plant, Teelt en omgeving (zie Tabel 2b). Opeenvolgende stalen met dezelfde achtergrondkleur zijn gebaseerd op hetzelfde uitgangsmateriaal (oorsprong en bemonsteringstijdstip).

Behandeling	Meststof (kg vers/ha)	Org. stof (kg/ha)	N-totaal (kg N/ha)	P-totaal (kg P ₂ O ₅ /ha)	K-totaal (kg K ₂ O/ha)
CRSM	20 199	2 939	170	88	263
DIF VDM LNP	15 878	5 848	170	191	84
DIF VDM (voor Fraunhofer)	15 858	2 358	170	109	89
DIF VDM Fraunhofer*	18 886	4 361	170	108	87
DIF DIG (voor Fraunhofer)	10 799	2 802	170	77	91
DIF DIG Fraunhofer*	20 486	3 536	170	65	82

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM

Relatie tussen N-mineralisatie in de test en N-mineralisatie in het veld

Het proces van N-mineralisatie is een microbiologisch proces dat afhankelijk is van de bodemtemperatuur. Bij een toenemende bodemtemperatuur zal de microbiële activiteit en dus ook de N-mineralisatie (of immobilisatie) toenemen, indien voldoende voedingsbronnen aanwezig zijn voor het microbiële bodemleven en de bodem voldoende vochtig is. In de praktijk betekent dit dus dat de N-mineralisatie erg jaarafhankelijk is. Er wordt aangenomen dat onder ‘gemiddelde’ Vlaamse



klimatologische omstandigheden de N-mineralisatie start eind februari, begin maart en vervolgens toeneemt onder impuls van de stijgende bodemtemperatuur. In de periode maart-oktober (24 tot 28 weken) stijgt de bodemtemperatuur in de bouwvoor van 5 tot >15°C op het einde van de zomer. In het vroege najaar daalt de N-mineralisatie opnieuw om tot quasi nul herleid te worden eind oktober. Een incubatieproef van 112 dagen (= 16 weken) bij een temperatuur van 15°C bootst **de potentiële mineralisatie na in een 'gemiddeld' mineralisatiejaar**. De potentiële N-mineralisatie die wordt vastgesteld in deze incubatieproef geeft dus een ruwe inschatting van de N-mineralisatie van het verwerkte mestproduct gedurende het mineralisatiejaar volgend na toediening vroeg in het voorjaar. Om de N-bemestende waarde te kunnen bepalen van deze producten in het jaar van toedienen, dient er dus rekening gehouden te worden met de groeiperiode van het gewas waarin het gewas effectief N opneemt (zie voorbeelden). Ondanks dat het hier gaat om een ruwe inschatting van de N-mineralisatie, heeft de incubatieproef het voordeel dat alle producten met dezelfde referentie onder gecontroleerde omstandigheden worden vergeleken. Het is op deze wijze ook mogelijk om de N-mineralisatie over meerdere proeven heen te gaan vergelijken.

Voorbeeld 1: Engels raaigras

Wanneer eind februari een organische meststof wordt ingewerkt en direct nadien Engels raaigras wordt gezaaid, zal 100% van de potentiële N-mineralisatie uit de organische meststof opneembaar⁶ zijn voor het raaigras. Het raaigras blijft immers groeien tot oktober. Dit is ook het geval wanneer het raaigras slechts in juni bv. wordt gezaaid en de bodem tot juni braak bleef liggen. Bij veronderstelling dat er geen N-uitspoeling plaatsvond in de periode maart-juni, zal de N-mineralisatie van het organische mestproduct immers gewoon de voorraad minerale N van de bodem aanvullen.

Voorbeeld 2: Zomertarwe

Wanneer eind februari een organische meststof wordt ingewerkt en direct nadien zomertarwe wordt gezaaid, zal slechts een gedeelte van de potentiële N-mineralisatie van de organische meststof opneembaar zijn voor de zomertarwe. De zomertarwe neemt immers slechts N op tot halfweg juli. De N-mineralisatie blijft echter ook na juli doorgaan. In het geval van zomertarwe kan men dus stellen dat ongeveer 50% van de N die mineraliseerde uit de organische meststof, opneembaar is voor de zomertarwe. De N-mineralisatie na juli, kan opgenomen worden door een nateelt of vanggewas.

Voorbeeld 3: zomerteelt bloemkool

Bloemkool geplant omstreeks half juli, neemt ongeveer 12 weken N op. Bij toediening van een organische meststof net voor het planten, zal slechts de N die gemineraliseerd wordt uit de specifieke organische meststof in de 12 weken na planten, opneembaar zijn voor het bloemkoolgewas. 12 weken na planten is de N-mineralisatie reeds stilgevallen (eind september-oktober). Dit betekent dat slechts 40 tot 50% van de totale potentiële N-mineralisatie (zoals gemeten gedurende de volledige periode van de N-incubatieproef) heeft plaats gevonden, omdat de organische meststof pas in juli wordt toegediend i.p.v. aan het begin van het mineralisatiejaar.

⁶ We spreken hier van opneembare N, omdat niet alle minerale N in de bodem opneembaar is voor het gewas. Het is afhankelijk van de efficiëntie en ruimtelijke positie van de plantenwortels, hoeveel van de minerale N in de bodem opneembaar is voor een gewas.





Figuur 7. Afmeten van het toe te voegen water (linksboven), mengen van de organische meststoffen doorheen de bodem (rechtsboven), gelabelde buisjes voor de N-mineralisatieproef (linksonder) en de buisjes in de klimaatkast (rechtsonder).

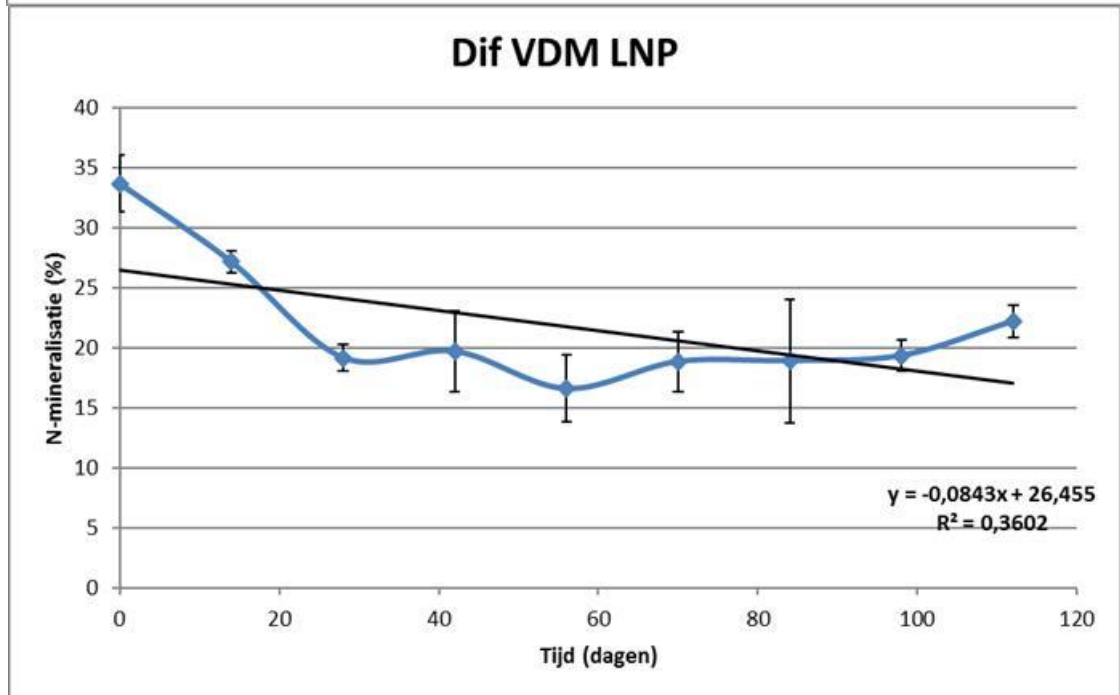
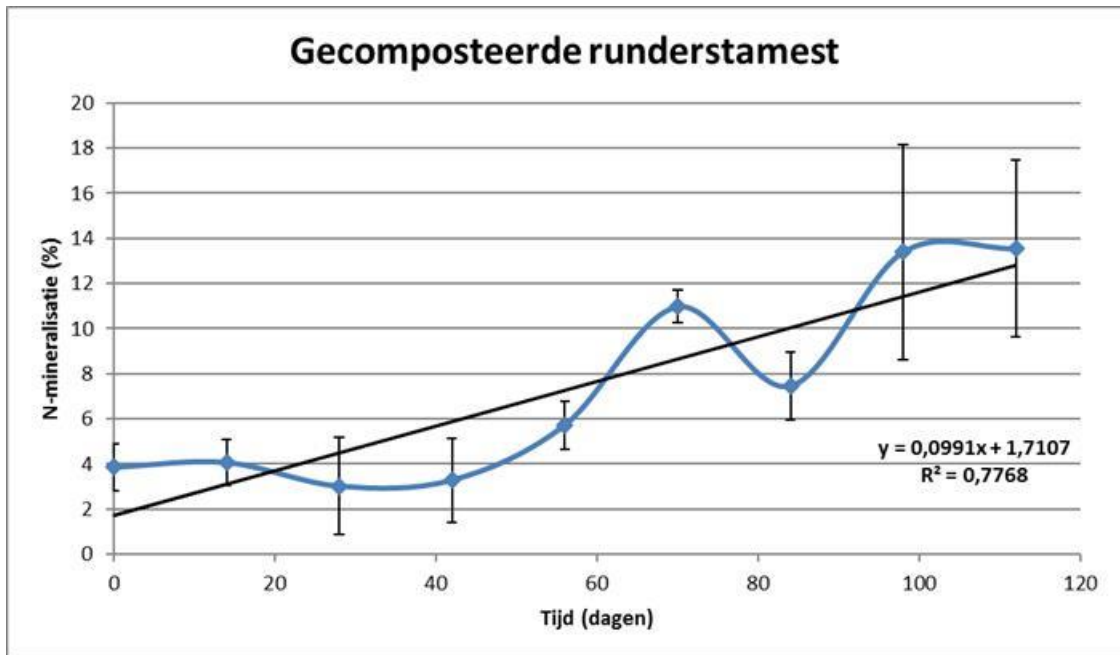
4.2 RESULTATEN PRODUCTEN MET EEN C-WERKING

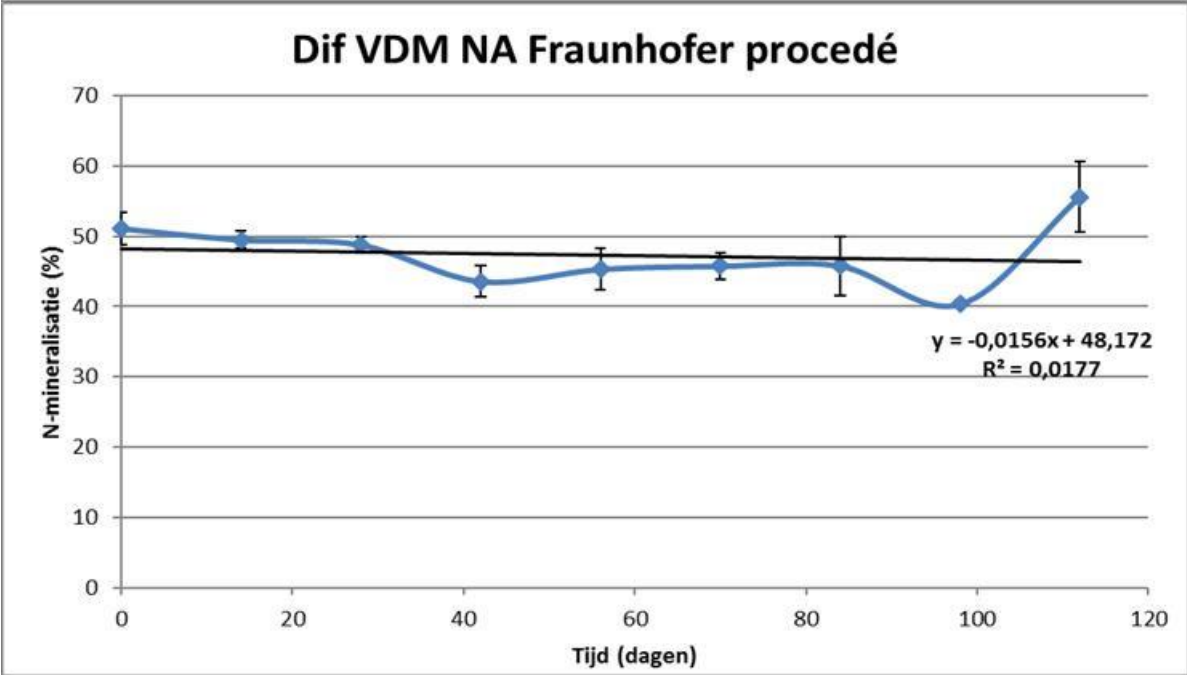
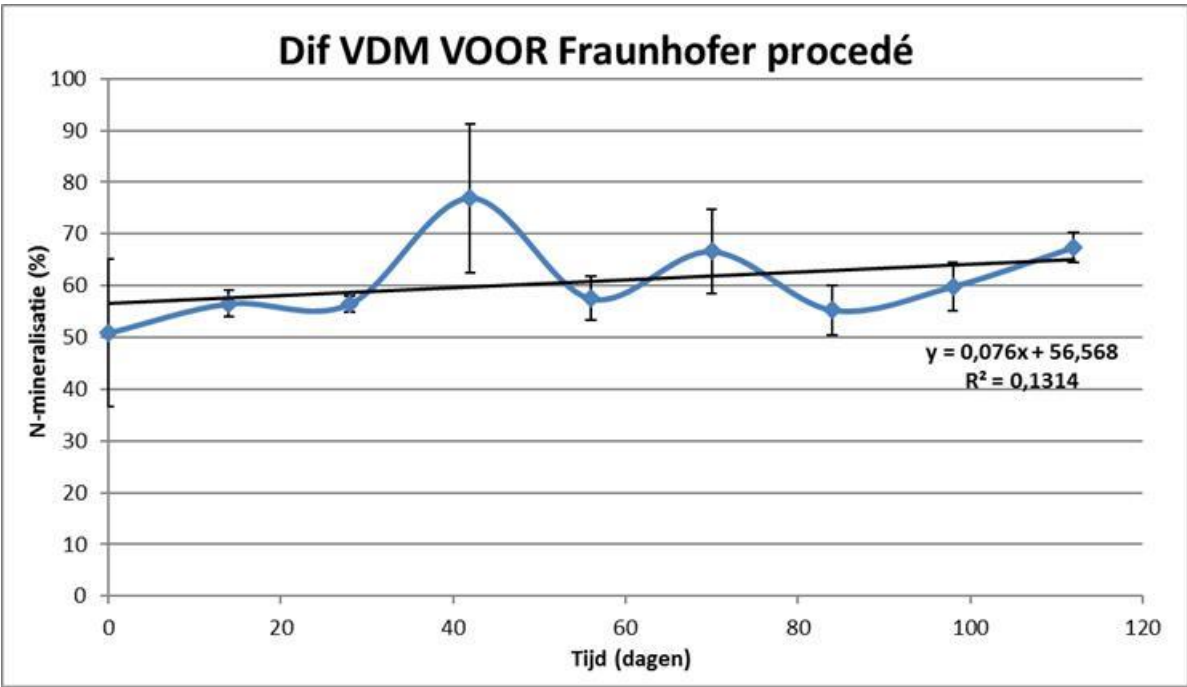
Door het minerale N-gehalte van de bodem in de N-mineralisatieproef op te volgen doorheen de tijd kan de N-mineralisatie in kaart gebracht worden. Via het beschreven protocol wordt aangenomen dat de N-mineralisatie lineair kan benaderd worden. Een lineaire regressie van de N-mineralisatie in functie van de tijd, kan dus als volgt omschreven worden:

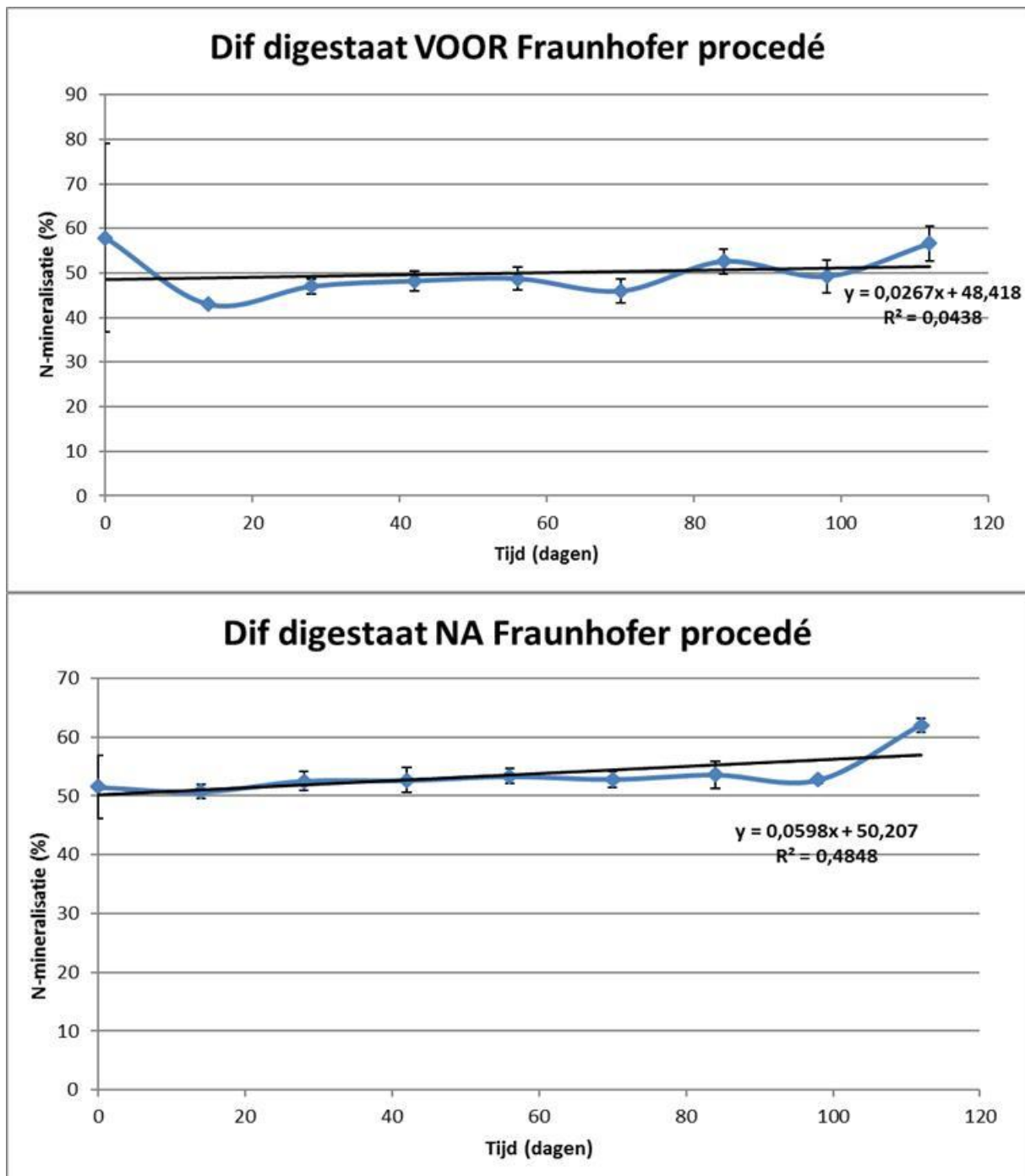
$$N\text{-mineralisatie} = a * \text{tijd} + b$$

Hierbij is de N-mineralisatie en de tijd, respectievelijk uitgedrukt in % ten opzichte van de totaal toegediende hoeveelheid N (organisch + mineraal) en in weken. Bij de berekening van de N-mineralisatie wordt ook rekening gehouden met de N-mineralisatie van een blanco-bodem. Aangezien ook een meting wordt verricht op dag 0, direct na de inmenging van de organische meststof door de bodem, is parameter b (het snijpunt van de N-mineralisatie regressierechte met de y-as) ook een inschatting van de hoeveelheid N-mineraal/N-totaal van de organische meststof. De parameter a kan beschouwd worden als de mineralisatiesnelheid van het resterende gedeelte organische N. De resultaten van de N-incubatieproef worden hieronder op grafiek weergegeven.









Figuur 8. Overzicht van het N-mineralisatieverloop van de verschillende mestproducten die bij ILVO worden opgevolgd via de incubatieproeven.

De gecomposteerde runderstalmest bevat <5% van de N onder minerale vorm. Dit wordt zowel via het analyseverslag als via de incubatieproef bevestigd (zie Tabel 8). Na toevoeging van de gecomposteerde stalmest aan de bodem vindt er verdere significante mineralisatie plaats ($p < 0,01$) van de organische N. Deze N-mineralisatie is echter vrij beperkt en na 16 weken (112 dagen) is slechts 12,8% van de totale N omgezet in minerale N.

De dikke fractie die wordt geproduceerd met de Low Nutrient Press vanuit varkensdrijfmest, leidde initieel tot een beperkte N-immobilisatie in de eerste 4 weken na toedienen van het product aan de bodem (zie Tabel 9 en bijlage 1). Daarna viel de N-immobilisatie stil. Ondanks de initiële N-



immobilisatie wordt geen significante afname van minerale N gedurende de incubatieproef vastgesteld.

Zowel bij de dikke fracties van varkensdrijfmest en digestaat, als de aangezuurde dikke fractie van varkensdrijfmest voor het Fraunhofer procedé, wordt geen significante mineralisatie of immobilisatie vastgesteld (Tabel 9). Dit wil zeggen dat de hoeveelheid minerale N wordt bepaald door de samenstelling van deze producten en niet door hun mineralisatie. Volgens het analyseverslag schommelt de hoeveelheid minerale N tussen de 6 en de 21% van de totale N. De incubatieproef geeft echter aan dat reeds bij toedienen van de producten aan de bodem (dag 0) de verhouding van de minerale N ten opzichte van de totale N een stuk hoger ligt (50%). Het blijft echter zo dat voor alle 3 de producten er gedurende 16 weken na toedienen van het product aan de bodem noch mineralisatie, noch immobilisatie plaatsvindt. De dikke fractie van aangezuurd digestaat had een significante N-mineralisatie (Tabel 9), maar kan op de grafiek opgemerkt worden dat de mineralisatiecurve vrijwel horizontaal ligt en dat de mineralisatie vrij laag is. Ook hier wordt de totale mineralisatie dus voornamelijk bepaald door het gehalte aan minerale N dat vrijkomt bij toediening aan de bodem. Opnieuw stellen we vast dat volgens de analyse de N_{min}/N_{tot} verhouding met 29% een stuk lager ligt dan de 50% gemineraliseerde N die op dag 0 van het incubatie-experiment wordt vastgesteld.

N-bemestende waarde in praktijk

Wanneer de **gecomposteerde runderstalmest** wordt toegediend aan een dosis van 170 kg N/ha in het voorjaar, zal potentieel 23 kg N/ha mineraal vrijkomen. De hoeveelheid N die reeds in de gecomposteerde runderstalmest onder minerale vorm aanwezig is, kan worden verwaarloosd. Hieruit volgt dat bij een toediening van dit product aan de bodem in juni-juli zoals in voorbeeld 3, slechts 50% -oftewel 11-12 kg N/ha- van de potentiële mineralisatie zal plaatsvinden.

De **DIF VDM LNP**, legt onmiddellijk N vast na toedienen via immobilisatie. De hoeveelheid minerale N die in het mestproduct zit, is echter toereikend opdat geen N-immobilisatie uit de bodemvoorraad plaatsvindt. Na de initiële immobilisatie vindt er een N-mineralisatie plaats. De volledige duur van de incubatieproef is nodig om terug op het niveau van minerale N te komen dat bij toediening in de organische meststof zat. De N-bemestende waarde van dit product is dus klein.

De dikke fracties die in het Fraunhofer procedé worden getest: **DIF VDM, DIF VDM Fraunhofer, DIF digestaat en DIF digestaat Fraunhofer**; hebben een vergelijkbare potentiële N-mineralisatie. Omdat alle 4 de producten noch mineralisatie, noch immobilisatie vertoonden tijdens de N-mineralisatieproef, wordt de N bemestende waarde volledig bepaald door de hoeveelheid N die zich bij toediening onder minerale vorm in het mestproduct bevindt. Bij een dosis van 170 kg N/ha, wordt het equivalent van 95 tot 115 kg N/ha onder minerale vorm toegediend en vindt dus geen significante mineralisatie plaats. Het tijdstip van toedienen of de periode wanneer het gewas N opneemt is dus ook niet bepalend bij deze producten.

Tabel 9. N-samenstelling van de verse organische meststoffen en het verloop van de N-mineralisatie na 16 weken (112 dagen) incubatie.

Meststof	Samenstelling organische meststoffen				N-mineralisatie			
	NH ₄ ⁺ -N (kg/ton vers)	NO ₃ ⁻ -N (kg/ton vers)	N _{tot} (kg/ton vers)	N _{min} /N _{tot} (%)	a (%N/week)	b (%N)	Potentiële N-mineralisatie (%)	(kg N/ha)
CRSM	0,19	0,203	8,42	4,6	0,69 (<i>p</i> < 0,01)	1,71	12,8	22
DIF VDM LNP	1,17	<0,001	10,71	10,9	-0,59 (<i>p</i> = 0,09)	26,46	22,2	38
DIF VDM (voor Fraunhofer)	0,69	0,002	10,72	6,4	0,53 (<i>p</i> = 0,34)	56,57	67,4	115
DIF VDM Fraunhofer	1,87	<0,001	9,00	20,8	-0,11 (<i>p</i> = 0,73)	48,17	55,6	95
DIF digestaat (voor Fraunhofer)	3,02	<0,001	15,74	19,2	0,19 (<i>p</i> = 0,59)	48,42	56,6	96
DIF digestaat Fraunhofer	2,40	<0,001	8,30	29,0	0,42 (<i>p</i> = 0,04)	50,21	56,9	97

**Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM*

De parameters a en b zijn respectievelijk de abscis en ordinaat van de lineaire regressie van de N-mineralisatie in functie van de tijd (N-mineralisatie = a*tijd + b). De p-waarde (significantieniveau) van de richtingscoëfficiënt wordt telkens onderaan parameter a tussen haakjes meegegeven. De volledige grafieken van N-mineralisatie zijn terug te vinden in Figuur 8. De potentiële N-mineralisatie wordt uitgedrukt in percentage van de totale N toegediend via de organische meststof en in kg N/ha bij een dosis van 170 kg N_{tot}/ha van de organische meststof. Wanneer het lineaire model significant is (*p*<0,05) wordt dit percentage uitgerekend op basis van het model. Wanneer het lineaire model niet significant is wordt het percentage van het laatste tijdstip in de incubatieproef weergegeven. De berekeningen worden gebaseerd op de mestanalyses uitgevoerd door het ILVO-laboratorium plant, teelt en omgeving (zie Tabel 2b). Opeenvolgende stalen met dezelfde achtergrondkleur zijn gebaseerd op hetzelfde uitgangsmateriaal (oorsprong en bemonsteringstijdstip).



4.3 OPZET PRODUCTEN MET EEN N-WERKING

De bodemeigenschappen van dezelfde bodem die ook wordt gebruikt voor de N-mineralisatie experimenten in ILVO wordt beschreven in Tabel 7.

Het protocol beschreven in: *BAM/deel1/12: Bodem - Bepaling van snel vrijkomende organische stikstof, versie 3.0 (juni 2010)* wordt gevolgd voor de uitvoering van de incubatieproef. De hoeveelheid organische meststof die wordt toegediend, wordt bepaald door het totaal N-gehalte van het product (Tabel 10). Een dosis van 119 kg werkzame N/ha wordt toegediend in elke behandeling wat overeenkomt met 198 kg N totaal/ha. Deze hoeveelheid wordt gekozen omwille van het feit dat het doel van de N (en C) incubatieproeven is om de veldomstandigheden te simuleren van de veldproef met aardappelen (zie 1.6.2). Voor deze veldproef wordt het bemestingsadvies door Inagro opgesteld en bedroeg het 119 kg werkzame N/ha en 80 kg P₂O₅/ha. De hoeveelheid werkzame stikstof in de dierlijke mest en derivaten is berekend op basis van 60 % werkzaamheidscoëfficiënt. In deze N incubatieproef wordt omwille van het bemestingsadvies een correctie uitgevoerd voor de behandeling van ruwe varkensdrijfmest (VDM) aangezien deze anders de geadviseerde limiet van 80 kg P₂O₅/ha zou overschrijden (Tabel 10). De andere producten kunnen de 119 kg werkzame N/ha invullen zonder de maximaal geadviseerde 80 kg P₂O₅/ha. Elke behandeling wordt in viervoud uitgevoerd en alle producten worden in verse vorm toegepast. De dosis verwerkte mest wordt gemengd met de bodem en op een vochtgehalte gebracht waarbij 50% van het poriënvolume gevuld is met water. Het mengsel wordt in buisjes gebracht en samengedrukt tot een bulkdensiteit van 1,4 kg/dm³. De buisjes worden afgedekt met parafilm en in een klimaatkast geïncubeerd bij 15°C en 70% luchtvochtigheid. Via een 1M KCl-extractie wordt op vaste tijdstippen (na 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 en 120 dagen) het mineraal N-gehalte in de bodem bepaald. Door dit mineraal N-gehalte te verminderen met het mineraal N-gehalte van de blanco bodem, kan de N-mineralisatie uit de verwerkte mestproducten worden bepaald. De opzet van de N-mineralisatieproef wordt geïllustreerd in Figuur 9.

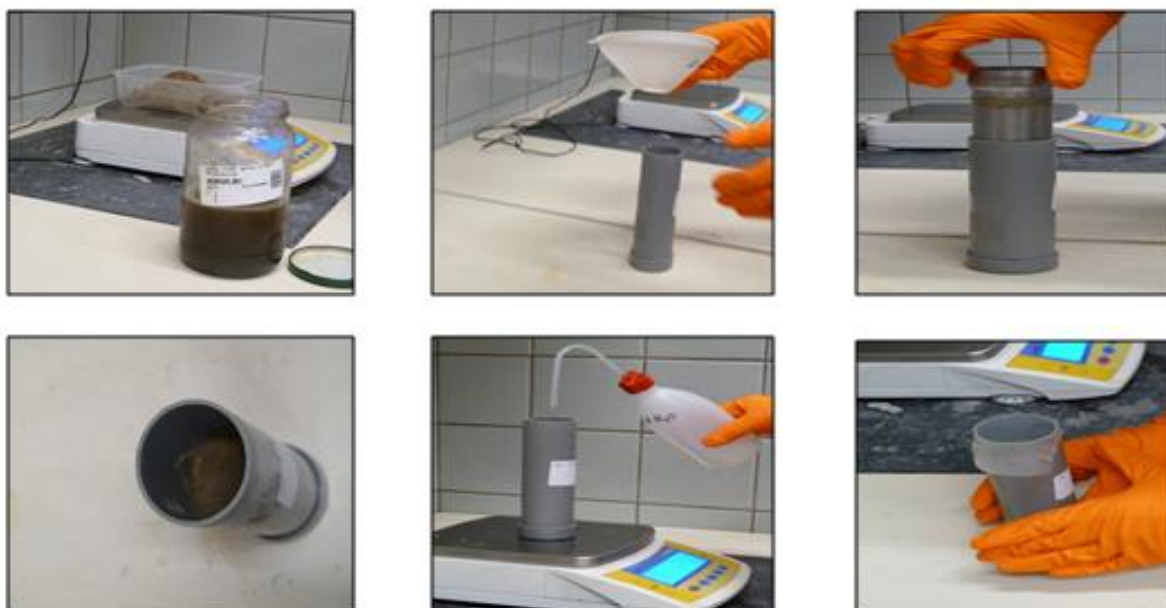
Om dit om te vormen naar de hoeveelheid per incubatiebuis wordt de (cirkelvormige) oppervlakte van de buis berekend en voor N- incubatie respectievelijk gedeeld door 2 omwille van de hoogte van de bodem aanwezig in de buizen om de 0 tot 30 cm in de bodem na te boosten. Onderstaande formule heeft de omrekening weer:

mestproduct volume voor incubatie (l) = hoeveelheid mestproduct (ton/ha)* oppervlakte incubatie buis (m²) / 10 / 2

Door middel van het opvolgen van de N minerale inhoud in de bodem over de tijd kan de vrijgestelde N (%) berekend worden met de volgende formule:

$$\%N \text{ vrijgesteld} = \frac{([\text{NO}_3, \text{ mixture}] - [\text{NO}_3, \text{ soil}]) + ([\text{NH}_4, \text{ mixture}] - [\text{NH}_4, \text{ soil}])}{N \text{ product}}$$

Om de gemineraliseerde N (%) op elk bemonstering moment (t = 1, 2, ... 6) te bepalen, moet de hoeveelheid minerale N in producten op t = 0 (gelijk aan NH₄-N/N_{tot}) afgetrokken worden van het percentage N vrijgegeven.



Figuur 9. Afmeten van de hoeveelheid bodem en bemestingsproduct (linksboven), mengen van de organische meststoffen en de bodem (boven), samendrukken het mengsel tot vastgelegde dichtheid (rechtsboven), toevoegen van water (midden onder) , afdekken van de buizen

Tabel 10. Beschrijving van de totaal toegediende hoeveelheid organische meststof en N en P-input via de organische meststof per behandeling voor de N-incubatieproef uitgevoerd aan de UGent. Voor VDM behandeling wordt een correctie toegepast om de maximale toegelaten dosis van 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ niet te overschrijden.

Product	hoeveelheid (kg VS/ha)	N-werkzame (kg N/ha)	Ntotaal (kg/N ha)	P-totaal (kg P ₂ O ₅ /ha)	OC-totaal (kg C/ha)
RDM	39 532	119	198	68	1 316
DIG RDM	49 119	119	198	62	1 081
VDM	(39 438) 37 000	(119) 112	187	(84) 79	(718) 673
DUF VDM ₂	37 249	119	198	15	228
DUF VDM LNP	37 308	119	198	23	269

4.4 RESULTATEN PRODUCTEN MET EEN N-WERKING

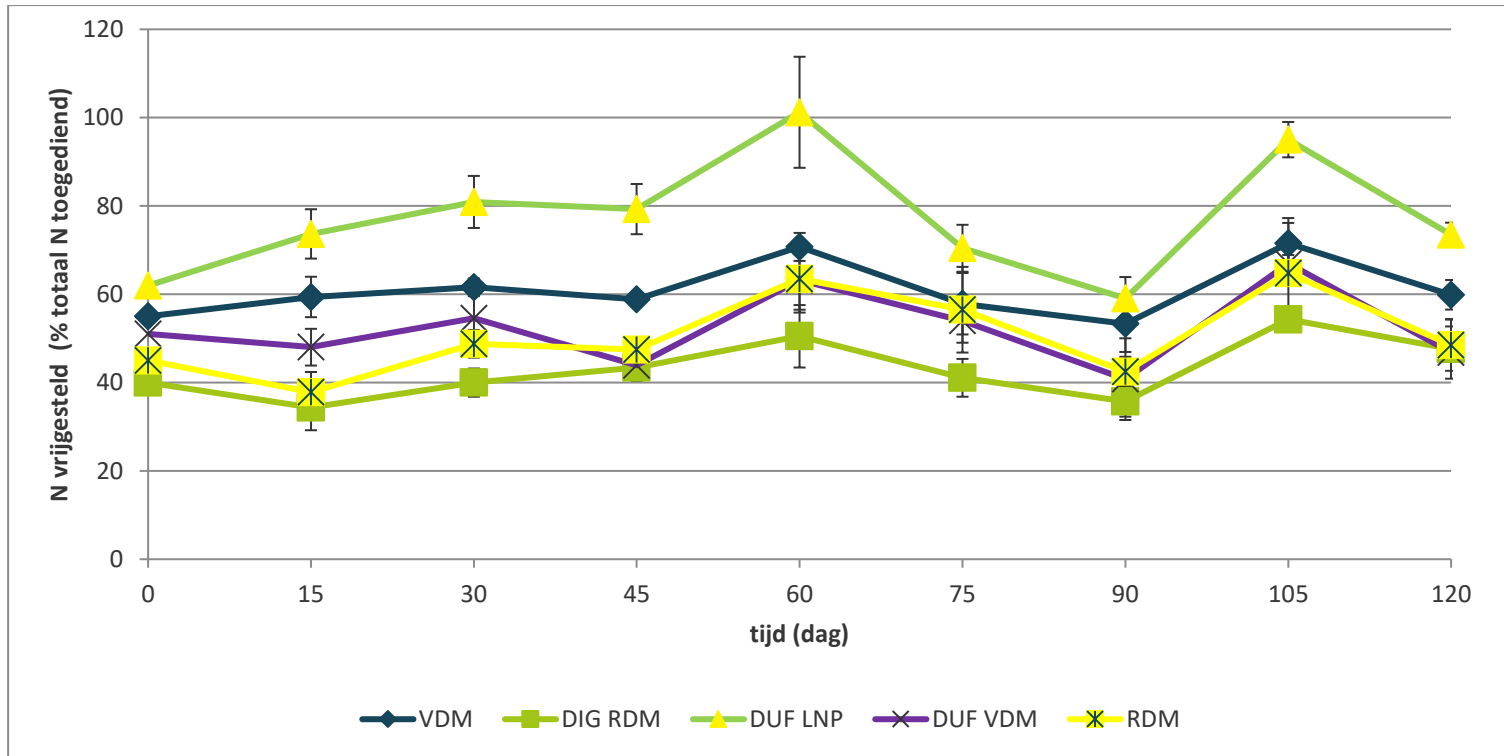
Figuur 10 a en b presenteren de N mineralisatie en vrijstelling voor de vijf geselecteerde producten. De dunne fractie varkensdrijfmest na de *low nutrient press* (DUF VDM LNP) is een product met de laagste C/N verhouding en de hoogste NH₄⁺-N/N_{tot}, het vertoont de hoogste N mineralisatie gedurende de 120 dagen. Hoewel de dunne fractie van varkensdrijfmest (DUF VDM) na centrifuge een gelijkaardige C/N verhouding met 'DUF LNP' heeft, vertoont de N mineralisatie en vrijgisting

een veel trager verloop. Dit is mogelijk te wijten aan de lagere $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{N}_{\text{tot}}$ ratio van de 'DUF VDM' en de grotere hoeveelheid van $\text{NO}_3\text{-N}$ dat werd gemineraliseerd bij 'DUF LNP' (Figuur 12). Een gelijkaardige trend voor 'Duf VDM₂' en 'DUF LNP' werd vastgesteld met betrekking tot de $\text{NH}_4\text{-N}$ vrijstelling tot op dag 60. Na dag 60 was de minerale N in 'DUF LNP' volledig aanwezig in de $\text{NO}_3\text{-N}$ vorm. Op het einde van het N mineralisatie experiment waren beide 'DUF LNP' en 'Duf VDM₂' enkel terug te vinden onder de $\text{NO}_3\text{-N}$ vorm (Figuur 8).

De onbehandelde mestproducten, runderdrijfmest (RDM) en varkensdrijfmest (VDM), vertonen significante verschillen in N vrijgesteld en mineralisatie snelheid bij het begin van de incubatieproef. Dit is waarschijnlijk te wijten aan een verschillende C/N verhouding (Tabel 2). Naar het einde van de incubatieproef (dag 90) worden er geen significante verschillen meer gedetecteerd tussen de twee producten met betrekking tot de vrijgestelde en gemineraliseerde N (Figuur 14). Op de laatste dag van de incubatieproef (120 dagen) resulteerde 'DUF LNP' in significant meer minerale N in vergelijking met andere producten.

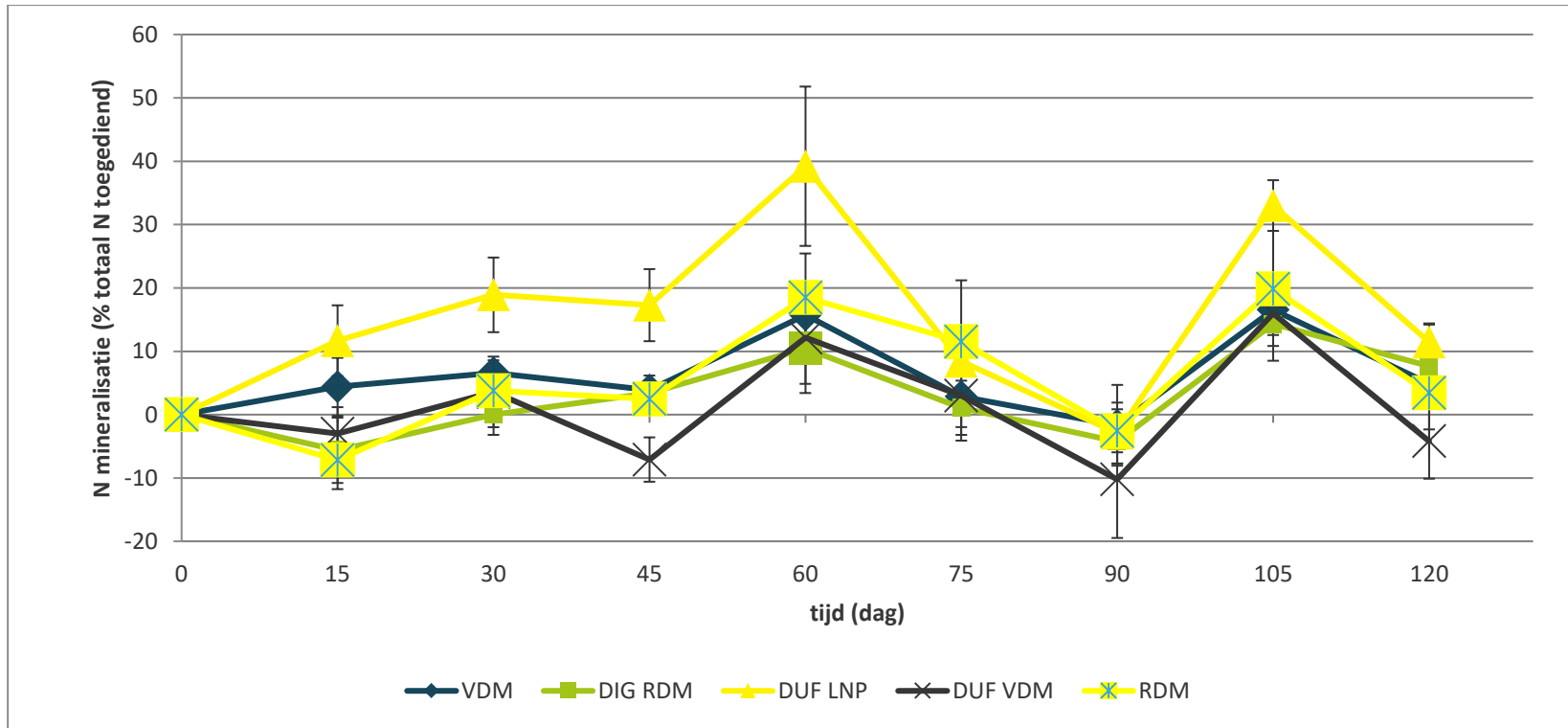
De N vrijgesteld en mineralisatie van RDM vertoont gedurende de gehele incubatieproef een hogere N mineralisatie in vergelijking met digestaat pocketvergisting RDM (DIG RDM). Dit is waarschijnlijk te wijten aan de hogere $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{N}_{\text{tot}}$ ratio in RDM dan DIG RDM. De staalname van beide producten wordt terzelfdertijd uitgevoerd waardoor men de residentietijd in de vergister in rekening moet brengen.

Na een incubatieperiode van 120 dagen, was de N mineralisatie voor alle behandelingen onder de 15% (Figuur 6B). Aangezien de bijdrage van de gemineraliseerde N laag was, werd een N afgifte gedetecteerd op dag 120 gelijk aan de N afgifte bij $t = 0$. Dit kan worden waargenomen in Tabel 17 waar de potentiële N afgifte (%) werd geschat. Lineaire regressie van N afgifte en mineralisatie was niet significant (Bijlage 1). Daarom werden schattingen gemaakt op basis van het laatste gegevenspunt (LDP), na 120 dagen, en op basis van de gemiddelde N-mineralisatie (GEM) dat werd waargenomen. Resultaten tonen aan dat de N vrijgave sterk bepaald wordt door de hoeveelheid $\text{NH}_4\text{-N}$ aanwezig product op het moment van toepassing.



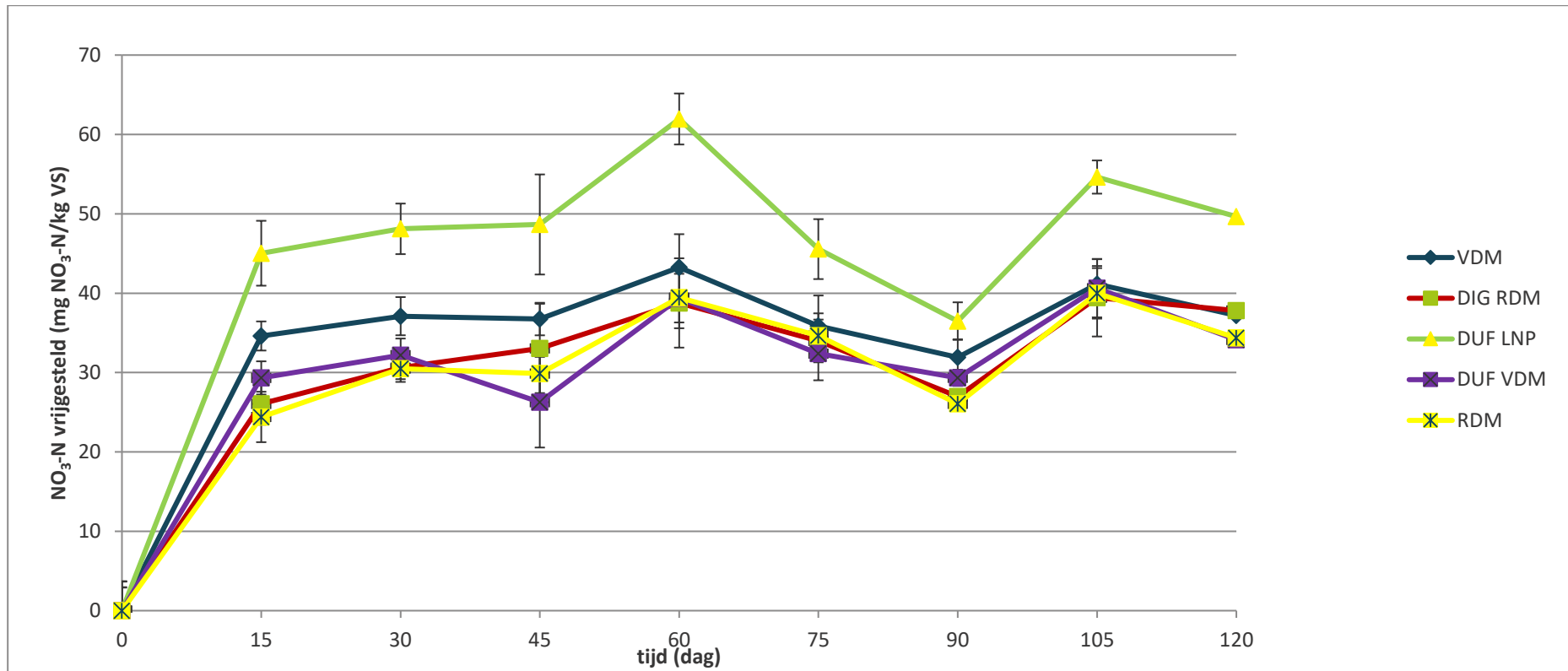
Figuur 10a. Gemiddelde en standaard deviatie (n=4) van het percentage (%) vrijgesteld stikstof per mestproduct doorheen de tijd. Het tijdstip t=0 geeft de verhouding N_{min}/N_{tot} weer die in het mestproduct aanwezig is, aangezien dit de vrijgestelde N aangeeft die reeds in het mestproduct aanwezig is en dus bij de start van de incubatie





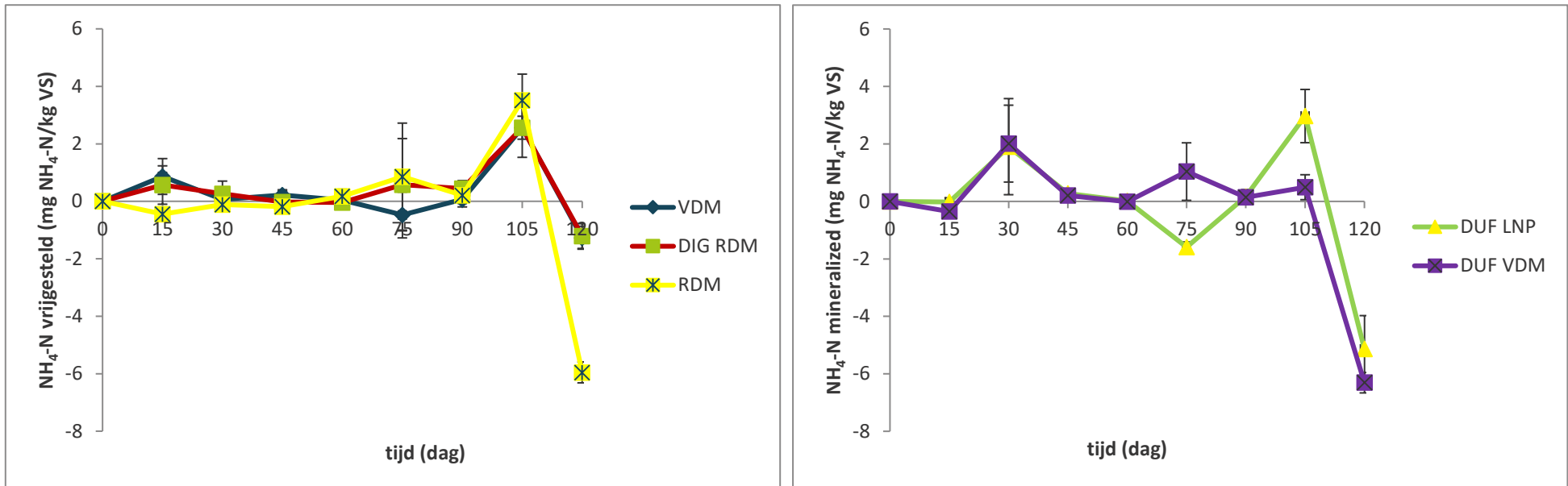
Figuur 11b. Gemiddelde en standaard deviatie (n=4) van het percentage (%) van gemineraliseerde stikstof per mestproduct doorheen de tijd.





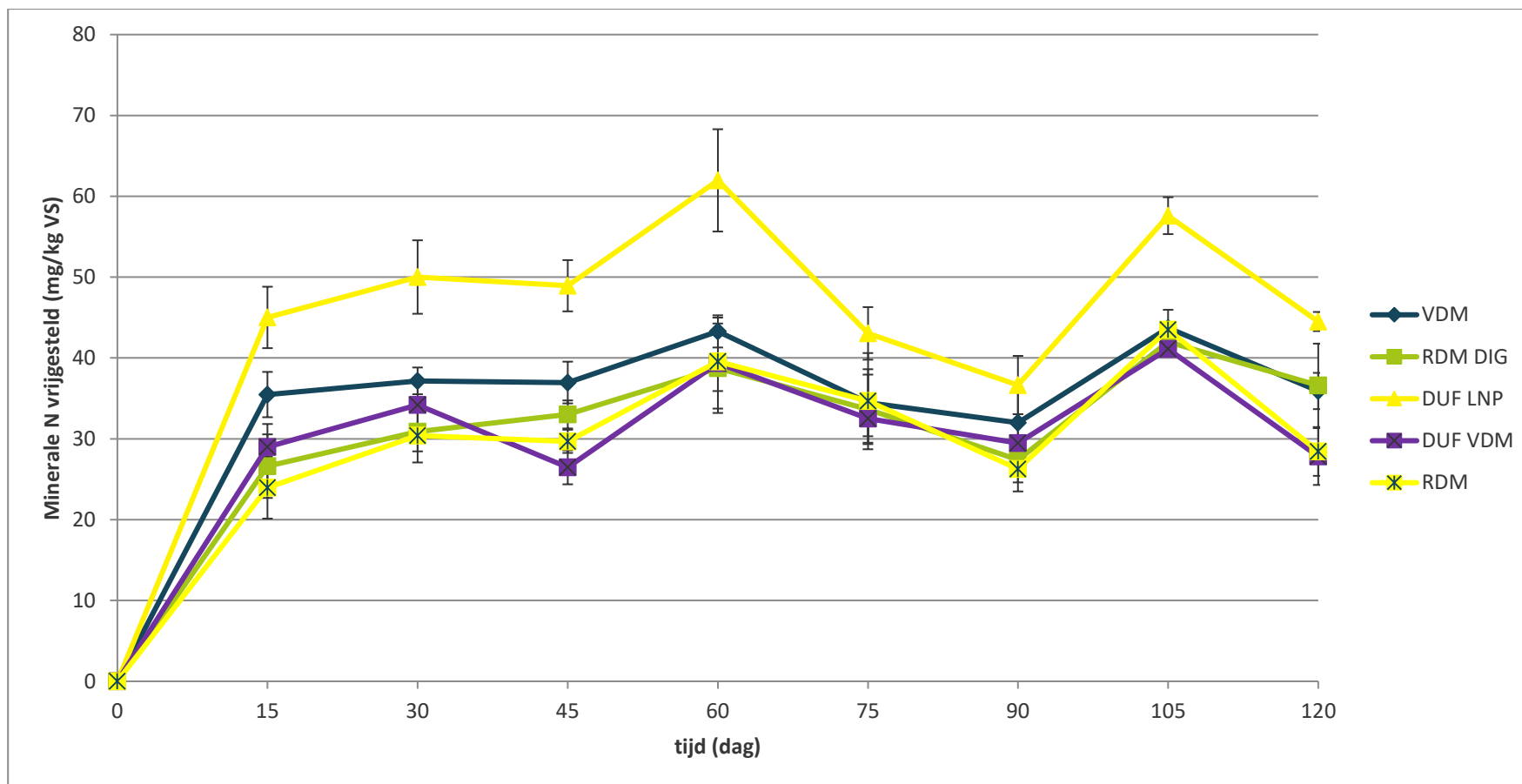
Figuur 12. NO₃-N vrijgesteld (mg NO₃-N/kg VS) per mesttype gedurende 120 dagen





Figuur 13. Ammonificatie effect van de gemineraliseerde organische stikstof (mg/kg VS) van de bemestingsproducten gedurende 120 dagen





Figuur 14. Minerale N (NO₃-N en NH₄-N) (mg/kg VS) vrijgesteld per bemestingsproduct gedurende 120 dagen

Tabel 11. N-samenstelling van de verse organische meststoffen en het verloop van de N-vrijgesteld na 17 weken (120 dagen) incubatie. Bij de bemestingsproducten waar de nulhypothese van de lineaire regressie niet wordt verworpen ($p < 0,05$) wordt het laatste data punt (LDP), geobserveerd na 120 dagen, en het gemiddelde (GEM) van alle datapunten doorheen de N-incubatie (met uitzondering van $t=0$) gebruikt om de potentiële N vrijgesteld (%) in te schatten. De volledige grafieken van N-vrijgesteld zijn terug te vinden in bijlage 1. De potentiële N-vrijgesteld wordt

////////////////////////////////////

uitgedrukt in percentage van de totale N toegediend via de organische meststof en in kg N/ha bij een dosis van 198 kg Ntot/ha van de organische meststof. Voor VDM kan er slechts 186 kg Ntot/ha toegediend worden omwille van de fosfaatlimiet 80 kg P₂O₅ ha⁻¹.

Meststof	Samenstelling organische meststoffen				N-vrijgesteld			
	NH ₄ ⁺ -N (kg/ton vers)	NO ₃ ⁻ -N (kg/ton vers)	Ntot (kg/ton vers)	Nmin/Ntot (%)	Potentiële N-vrijgesteld LDP		Potentiële N-vrijgesteld GEM	
					(%)	(kg N/ha)	(%)	(kg N/ha)
VDM	2,9	< 0,001	5,3	55	60 ± 3	112	61 ± 6	114
RDM DIG	1,6	< 0,001	4,0	40	48 ± 7	95	43 ± 7	85
DUF LNP	3,3	< 0,001	5,3	62	73 ± 3	145	77 ± 14	153
DUF VDM ₂	2,7	< 0,001	5,3	51	47 ± 6	93	52 ± 9	103
RDM	2,3	< 0,001	5,0	45	48 ± 6	95	51 ± 9	101



5 INCUBATIEPROEVEN: BEPALEN VAN DE C-DYNAMIEK

5.1 OPZET PRODUCTEN MET EEN C-WERKING

Voor deze incubatieproef wordt dezelfde bodem gebruikt als in de incubatieproef ter bepaling van de N-mineralisatie (zie Tabel 7). Deze zandleembodem heeft met een organisch C-gehalte van 1,10% een C-gehalte dat in de streefzone ligt voor zandleembodems en is daarmee ook geschikt voor deze C-incubatieproef ter bepaling van het gehalte aan effectieve organische stof (EOC-gehalte). Voor deze incubatieproef wordt het protocol gevolgd, zoals beschreven in: *OVAM, 2002. Oriënterend onderzoek naar de invulling van de begrippen mineraalrijk - mineralenarm, humusrijk. D/2002/5024/06. 33 blz.* In dit protocol wordt de organische meststof gemengd in de bodem, wordt extra vocht toegevoegd tot 50% van het poriënvolume is gevuld met water en samengedrukt in een buisje tot een bulkdensiteit van 1,4 kg/dm³. Ieder buisje wordt in een tonnetje geplaatst samen met een potje met een waterige NaOH-oplossing. Het afgesloten tonnetje (geen gasuitwisseling met omgeving mogelijk) wordt in een klimaatkast geïncubeerd bij 21,5°C. Tijdens de C-mineralisatie door het microbiële bodemleven wordt CO₂ uitgestoten, welk reageert met NaOH en leidt tot de vorming van Na-carbonaten. Op regelmatige tijdstippen (zie hieronder) worden de NaOH-oplossingen uit de tonnetjes gehaald, worden de carbonaten neergeslagen met BaCl, neerslag afgefiltereerd en wordt via automatische terugtitratie met HCl bepaald hoeveel NaOH in de oplossing niet gereageerd met CO₂. Deze hoeveelheid wordt verminderd met de CO₂-uitsoot van de blanco bodem en de CO₂ die reeds bij aanvang van de proef aanwezig is in de tonnetjes. Op deze wijze kan onrechtstreeks de C-mineralisatie van de bewerkte mest worden bepaald. Foto 1 geeft een beeld van het verloop van deze C-incubatieproef. De hoeveelheid bewerkte mest die wordt toegediend, wordt bepaald door het organisch stofgehalte van de meststof. Er wordt een dosis van 4000 kg organische stof per hectare toegediend. Deze hoeveelheid wordt gekozen omdat deze dosis voldoende hoog is om verschillen in C-mineralisatie te kunnen detecteren zonder dat NPK-input van de mestproducten te extreem hoog is. Bij een C-incubatieproef is er standaard geen correctie voorzien voor NPK-input. De NPK-input is dus volledig bepaald door de samenstelling van de bewerkte mest (Tabel 12). Per behandeling worden 3 parallellen aangelegd. Bij opzet van de incubatieproef worden de producten handmatig verkleind om met voldoende precisie de hoeveelheid verwerkte mest analytisch te kunnen afwegen. Hiervoor worden de producten NIET gedroogd. De afbraak van organische stof wordt bepaald na 1, 2, 3, 4, 7, 10, 14, 17, 21, 28, 36, 39, 42, 51 en 84 dagen. Zoals beschreven in het OVAM-protocol van 2002 gebeurt er op elk meetmoment ook een correctie voor de achtergrondconcentratie aan CO₂ via meting van deze concentratie in tonnetjes zonder bodem met een buisje met NaOH-oplossing.

Tabel 12. Beschrijving van de totaal toegediende hoeveelheid organische meststof en NPK-input per behandeling voor de C-incubatieproef. De berekeningen worden gebaseerd op de mestanalyses uitgevoerd door het ILVO-laboratorium plant, teelt en omgeving (zie Tabel 2b).

Behandeling	Meststof (kg vers/ha)	Org. stof (kg/ha)	N-totaal (kg N/ha)	P-totaal (kg P ₂ O ₅ /ha)	K-totaal (kg K ₂ O/ha)
CRSM	27 491	4 000	231	119	358
DIF VDM LNP	10 861	4 000	116	130	58
DIF VDM	26 900	4 000	288	185	151
DIF VDM Fraunhofer*	17 324	4 000	156	99	80
DIF digestaat	15 414	4 000	243	110	130
DIF digestaat Fraunhofer*	23 175	4 000	192	74	92

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM

De afbraak van organische koolstof in de bodem gebeurt volgens onderstaand model:

$$OC(t) = OC_A(1 - e^{-kt})$$

Hierbij is OC(t) de totale afbraak aan organisch koolstof (OC) op tijdstip t. In dit model is er voorzien dat een gedeelte van de organische meststof zeer snel afbreekt en een gedeelte langzaam afbreekt. De parameters OC_A en k kunnen respectievelijk beschouwd worden als de hoeveelheid mineraliseerbare koolstof op korte termijn en als de mineralisatiesnelheid. De hoeveelheid effectieve organische stof die opgebouwd kan worden door het toedienen van een organische meststof wordt bepaald door na te rekenen wat de hoeveelheid organische stof is die niet gemineraliseerd zal zijn na 1 jaar. Omdat bij organische mestproducten het gehalte aan effectieve bodemorganische stof wordt uitgedrukt in 'organische stof' en enkel C-metingen in de incubatieproef worden bepaald, dient er gebruik gemaakt te worden van een omrekeningsfactor. Gebaseerd op protocol CMA/2/IV/3 (www.emis.vito.be) wordt %org. stof = 1,8 x %C aangenomen. Deze factor wordt in de studie "Begroten van de gevaren en opportuniteiten van verschillende bio-energieproductiesystemen voor de organische koolstofvoorraden in de Vlaamse landbouwbodems" gecontroleerd voor een aantal digestaatproducten, en deze factor bleek bruikbaar voor zowel compost als digestaat.



Foto 1. Buisje met bodem-organische meststof mengsel en potje met NaOH-oplossing om de geproduceerde CO₂ in op te vangen samen in een afsluitbaar tonnetje (linksboven), tonnetjes in de klimaatkast (rechtsboven), affiltreren van neergeslagen carbonaten uit de NaOH-oplossing na toevoeging van BaCl (linksonder) en de automatische titratie met HCl ter bepaling van de hoeveelheid geproduceerde CO₂-C (rechtsonder).

5.2 BEPALING VAN CELWANDCOMPONENTEN

De stabiliteit van organische materiaal of organische meststoffen kan op meerdere wijzen worden bepaald. Naast bepaling van het EOS-gehalte via een C-mineralisatie experiment, kan ook rechtsreeks naar de samenstelling van de organische meststof worden gekeken. Hier wordt dit gedaan door bepaling van de 'celwandcomponenten', met name het lignine, hemicellulose en cellulose-gehalte. Door bepaling van deze gehalten in het organische materiaal kan een idee gegeven worden van de afbreekbaarheid van het materiaal. Hoe hoger het cellulose- en hemicellulose-gehalte en hoe lager het lignine-gehalte, hoe meer potentieel het organisch materiaal heeft om verder afgebroken te worden. Om de celwandcomponenten te bepalen wordt een trapsgewijze extractie van een gedroogd staal uitgevoerd. Een extractie met een neutraal detergent ter bepaling van de totale celwandcomponenten (NDF), een extractie met een zuur detergent ter bepaling van de cellulose en lignine samen (ADF) en ten slotte een extractie met zwavelzuur ter bepaling van het ligninegehalte (ADL). De gehalten cellulose (= ADF – ADL), hemicellulose (= NDF – ADF) en lignine (= ADL) kunnen op basis van deze extracties worden bepaald. Om het biodegradatiepotentieel of de biodegradeerbaarheid van het organische product te bepalen wordt de verhouding (cellulose+hemicellulose)/lignine bepaald. Hoe hoger deze ratio, des te meer potentieel het organische materiaal heeft om verder afgebroken te worden. Om de resultaten van de biodegradeerbaarheid te kunnen kaderen zijn in Tabel 13 de biodegradeerbaarheid van enkele producten die in eerder onderzoek van het ILVO aan bod kwamen, weergegeven.

Tabel 13. Het biodegradatiepotentieel $\left(\frac{\text{cellulose} + \text{hemicellulose}}{\text{lignine}}\right)$ van een aantal mestproducten en compostproducten van composteerinstallaties uit eerdere projecten, waarin ILVO participeerde

Benaming product	Biodegradatiepotentieel
Runderstalmest	4,8
Dikke fractie rundermengmest	3,7
Compost van runderstalmest	1,0
Groencompost winter ⁽¹⁾	1,0
Groencompost zomer ⁽²⁾	1,4
Gerststro	9,2
Vlaslemen	2,9

(1) gemiddelde van 6 installaties

(2) gemiddelde van 7 installaties

5.3 RESULTATEN PRODUCTEN MET EEN C-WERKING

Voor ieder product zijn de parameters OC_A en k significant verschillend van nul na 28 dagen. In bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van de gemeten en gemodelleerde C-mineralisatie per product in functie van de tijd. In Tabel 14 worden beide parameters van het hierboven beschreven model weergegeven. In Figuur 8 worden de metingen en het model van C-mineralisatie weergegeven per product. De parameter OC_A geeft het percentage C weer in het product dat snel afbreekbaar is. Dit gehalte lag met 7,1% en 7,5% het laagste voor de dikke fracties van digestaat en met 11,0% het hoogste voor de dikke fractie uit de Low Nutrient Press (LNP). De parameter k geeft weer hoe snel het gemakkelijk afbreekbaar organisch C wordt afgebroken. De dikke fracties van digestaat voor en na het Fraunhofer-procedé breken met 0,07% per dag het snelst af en de gecomposteerde runderstalmest breekt met 0,03% per dag het traagst af.

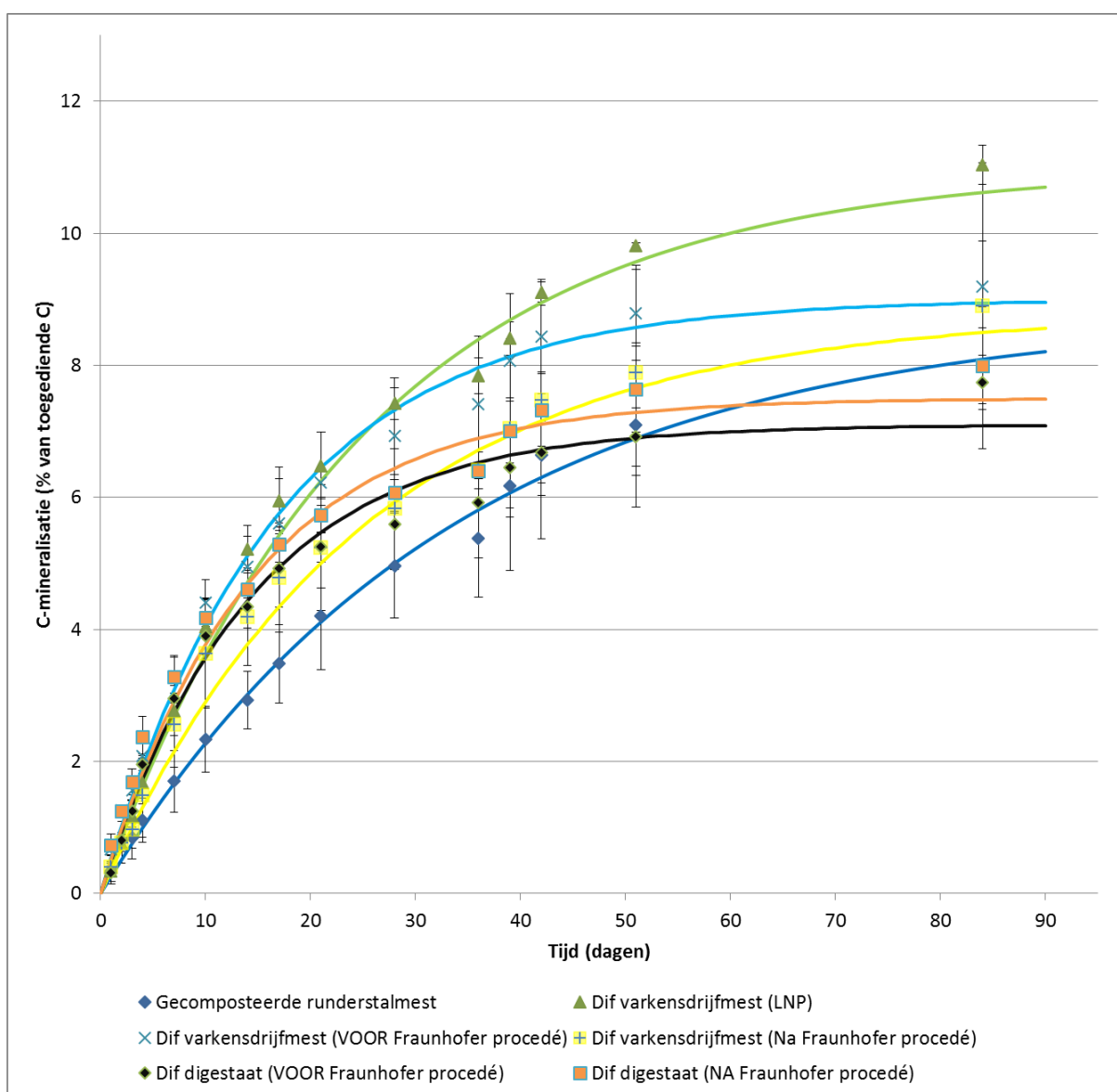
Tabel 14. De gemakkelijk mineraliseerbare organische stof OCA , mineralisatiesnelheid k en de inschatting van het EOC-gehalte van de producten volgens het model $OC(t) = OCA(1 - e^{-kt})$. Parameters OCA en k zijn beide significant ($p < 0,05$) in het model. De berekeningen worden gebaseerd op de mestanalyses uitgevoerd door het ILVO-laboratorium plant, teelt en omgeving (zie Tabel 2b).

Benaming product	OC_A (%)	k (%/dag)	EOC of $100 - OC_A$ (% van organische C)	EOC (kg C / ton vers product)
CRSM	8,8	0,03	91,2	73,8
DIF VDM LNP	11,0	0,04	89,0	182,1
DIF VDM	9,0	0,06	91,0	75,2
DIF VDM Fraunhofer*	8,8	0,04	91,2	117,0

////////////////////////////////////

DIF digestaat	7,1	0,07	92,9	133,9
DIF digestaat Fraunhofer*	7,5	0,07	92,5	88,7

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM



Figuur 15. Verloop van de C-mineralisatie van de producten volgens de metingen en volgens het model $OC(t) = OC_A(1 - e^{-kt})$.

De hoeveelheid stabiele organische koolstof is de fractie van de toegediende organische koolstof die in de bodem nog aanwezig is na 1 jaar. Gelet op de duur van het experiment is het dus niet mogelijk om de hoeveelheid EOC direct te bepalen. De producten worden daarom beschreven via de grootte $100 - OC_A$, welke dus een inschatting geeft van het %EOC. Hierbij wordt EOC uitgedrukt als een percentage van de koolstof in het verwerkte mestproduct. Het %EOC van de verschillende producten schommelt tussen 89,0% tot 92,9%. Hierbij is het ook duidelijk dat het uitvoeren van het

Fraunhofer procedé op zowel de dikke fractie van digestaat als de dikke fractie van varkensdrijfmest weinig of geen invloed had op het %EOC.

De hoeveelheid effectieve organische koolstof die door het toepassen van een van deze producten wordt aangevoerd, is naast het %EOC, natuurlijk ook sterk afhankelijk van het organische koolstofgehalte van het product. Daarom wordt het EOC-gehalte ook uitgedrukt in kg per ton vers product. Het effectief organisch koolstofgehalte wordt berekend als:

$$\text{EOC-gehalte (verse stof basis)} = \frac{\% \text{organisch stof gehalte verwerkte mestproduct}}{1,8} * (100 - \text{OC}_A)$$

Het EOC-gehalte op verse stof basis is met 73,8 kg/ton het laagste voor de gecomposteerde runderstalmest en met 182,1 kg/ton het hoogste voor de dikke fractie van de Low Nutrient Press. Het hoge EOC-gehalte van de dikke fractie van de Low Nutrient Press kan te wijten zijn aan de sterk doorgedreven scheiding die gebeurt bij de Low Nutrient Press. Op basis van de massabalansen kunnen we berekenen dat per 1000kg verse varkensdrijfmest slechtst 47 kg dikke fractie wordt afgescheiden. Deze dikke fractie bevat een sterk hoog DS-gehalte van 43,9% en heeft zelfs het vezelrijke uitzicht van potgrond. Mogelijk komen dus meer vezels terecht in de dikke fractie t.o.v. de dunne fractie. De dikke fracties van digestaat en varkensdrijfmest die worden getest in het Fraunhofer procedé liggen daar tussenin. Het valt op dat de dikke fractie van varkensdrijfmest en de dikke fractie van digestaat respectievelijk een duidelijke stijging en een duidelijke daling in EOC-gehalte op verse stof basis vertoonden voor en na het Fraunhofer procedé. Deze verschillen zijn louter te wijten aan verschillen in organisch stofgehalte en droge stof-gehalte (DS) tussen de producten voor en na het Fraunhofer procedé. Het %EOC per eenheid koolstofgehalte is zoals eerder aangehaald, immers weinig of niet beïnvloed door het uitvoeren van het Fraunhofer procedé.

De stabiliteit van de verwerkte mestproducten kan zoals eerder aangehaald, ook worden bepaald op basis van de samenstelling van de celwandcomponenten en hun verhouding. Tabel 15 geeft een overzicht van de celwandcomponenten en de biodegradeerbaarheid. RDM heeft een duidelijk veel hogere biodegradeerbaarheid dan alle andere mestproducten. De biodegradeerbaarheid van RDM ligt iets hoger dan deze van runderstalmest zoals deze wordt vastgesteld in eerder onderzoek (zie Tabel 13). Pocketvergisting van deze RDM leidt tot een heel stuk lagere biodegradeerbaarheid van het digestaat. Dit kan verwacht worden, aangezien tijdens de pocketvergisting vooral de makkelijk afbreekbare celwandcomponenten cellulose en hemicellulose zijn afgebroken. Gecomposteerde runderstalmest heeft duidelijk een lagere biodegradeerbaarheid dan verse runderstalmest (Tabel 13 en Tabel 15). De gecomposteerde runderstalmest die hier wordt getest, had wel nog steeds een hogere biodegradeerbaarheid (1,8) dan wat in eerder onderzoek wordt vastgesteld (1,0; zie Tabel 13). Dit is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de natte stalmest die hier wordt getest minder uitgecomposteerd is.

Naast het verschil in de hoeveelheid vezels die in elke fractie terechtkomen, kan de biochemische samenstelling van deze vezels ook verschillen tussen deze fracties. De DUF VDM₁ heeft een biodegradeerbaarheid die nog een stuk lager ligt dan deze van ruwe VDM. Dit wijst er op dat cellulose en hemicellulose in mindere mate in de dunne fractie terecht komen, dan lignine bij de mechanische scheiding van VDM. Bij de scheiding van VDM door de LNP, is het verschil in biodegradeerbaarheid tussen DUF, DIF en ruwe VDM een stuk kleiner. Het valt ook op dat de VDM (2,8) en de VDM die in de LNP (2,0) wordt getest, een stuk lagere biodegradeerbaarheid hebben dan RDM. Het organisch materiaal in de VDM is dus een stuk verder afgebroken dan bij RDM. Dit kan te wijten zijn aan zowel de voedersamenstelling als de werking van het verteringsstelsel bij varkens en runderen.

De DIF van digestaat en DIF van digestaat Fraunhofer hebben met 1,6 en 1,5, de laagste biodegradeerbaarheid van alle verwerkte mestproducten. Dit is te wijten aan de afbraak van de makkelijk afbreekbare celwandcomponenten tijdens het vergistingsproces. De verzurende stap die in het Fraunhofer procedé wordt uitgevoerd, had slechts een beperkte daling in biodegradeerbaarheid tot gevolg bij zowel DIF VDM als DIF digestaat.

Tabel 15. Overzicht van de celwandcomponenten samenstelling en biodegradeerbaarheid van de verwerkte mestproducten. De laatste kolom herhaalt de resultaten van de C-incubatieproef. De berekeningen worden gebaseerd op de mestanalyses uitgevoerd door het ILVO-laboratorium plant, teelt en omgeving (zie Tabel 2b)

	Cellulose	Hemicellulose	Lignine	biodegradatiepotentieel	EOC of 100-OC _A
	%/DS	%/DS	%/DS	(-)	% van organische C
RDM	17,0	18,8	7,0	5,1	
DIG RDM	12,8	15,3	10,0	2,8	
CRSM	6,8	8,6	8,6	1,8	91,2
DUF VDM ₁	2,7	16,8	11,9	1,6	
VDM	14,3	21,7	13,0	2,8	
DUF VDM LNP	10,4	16,2	12,9	2,1	
DIF VDM LNP	24,3	26,6	22,5	2,3	89,0
VDM VOOR LNP	14,3	18,1	16,6	2,0	
DIF VDM (voor Fraunhofer)	20,7	25,4	15,4	3,0	91,0
DIF VDM Fraunhofer*	22,9	25,4	18,9	2,6	91,2
DIF digestaat (voor Fraunhofer)	17,1	9,2	16,9	1,6	92,9
DIF digestaat Fraunhofer*	19,7	10,3	20,0	1,5	92,5

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM

De resultaten van de celwandcomponentanalyse volgen niet geheel de lijn van de metingen in de C-incubatieproef. Van de producten die worden getest in de C-incubatieproef, hebben de DIF digestaat en DIF digestaat Fraunhofer beide de laagste biodegradeerbaarheid en het hoogste percentage aan EOC. De DIF VDM LNP heeft een biodegradeerbaarheid die een stuk hoger ligt en het laagste percentage EOC. De gecomposteerde runderstalmest ligt voor beide parameters tussen die van DIF VDM LNP en DIF digestaat in. Ondanks dat DIF VDM en DIF VDM Fraunhofer de hoogste biodegradeerbaarheid hebben, is het percentage EOC vergelijkbaar met dat van gecomposteerde runderstalmest. Dit wijst er op dat de DIF VDM en DIF VDM Fraunhofer een belangrijke hoeveelheid organische stof bevatten die potentieel gemakkelijk afbreekbaar is, maar die niet of slechts gedeeltelijk wordt afgebroken door het microbieel bodemleven. De N-mineralisatieproef geeft echter geen N-gebrek aan (zie eerder).

5.4 OPZET PRODUCTEN MET EEN N-WERKING

Dezelfde grond die wordt gebruikt voor de N-incubatie test wordt ook gebruikt in het C-mineralisatie experiment (Tabel 92). De zandachtige leemgrond had een organisch C-gehalte van 1,10%, een C-gehalte die geschikt is voor C-incubatie test om de C-mineralisatie te bepalen. Het protocol voor het incubatie experiment wordt verstrekt door de Vakgroep Bodembeheer (Bijlage 1). Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit protocol doorgaans wordt gehanteerd om C-mineralisatie patronen te beoordelen van organische bodemverbeteraars a.d.h.v. CO₂ vrijstelling. Het wordt dus niet courant gebruikt voor vloeibare stoffen (zoals vloeibare fracties van mest) en de resultaten moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. In naleving van begrenzungen op stikstof/fosfor doseringen, kunnen slechts zeer geringe absolute hoeveelheden organisch C worden toegevoegd, waardoor grote variabiliteit van de gegevens plaatsvindt en dus grote onzekerheid. Het



consortium koos evenwel voor deze toegepaste methodologie, om een kruisvergelijking mogelijk te maken met ILVO koolstofmineralisatie experimenten.

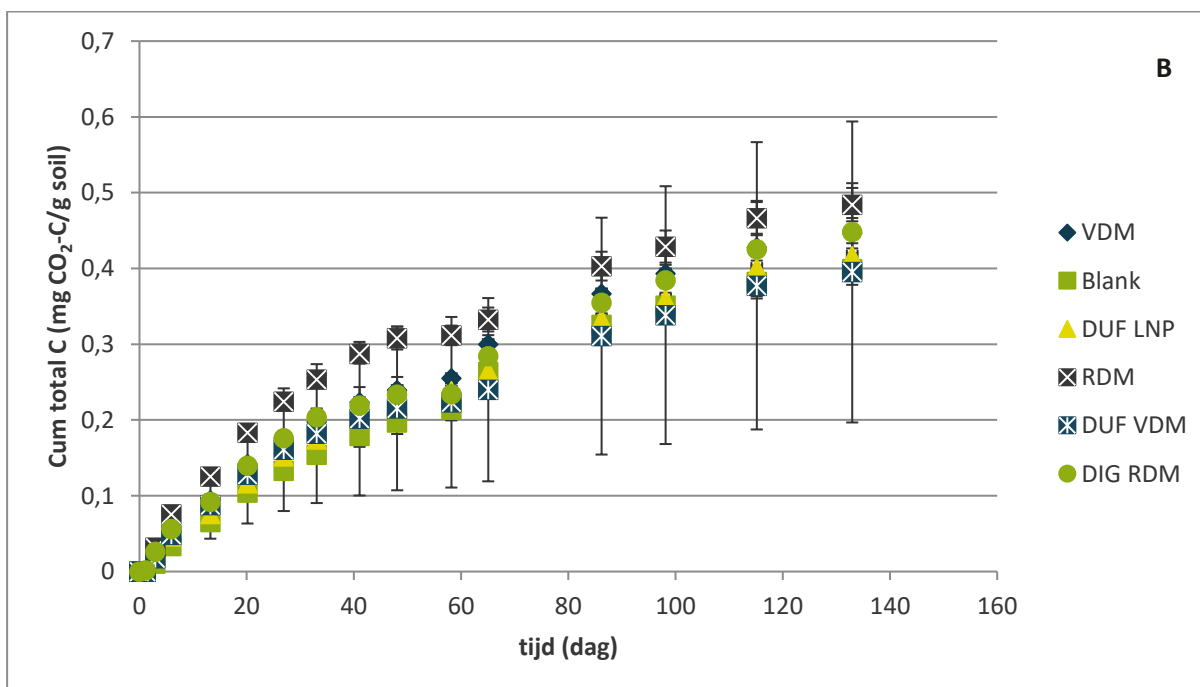
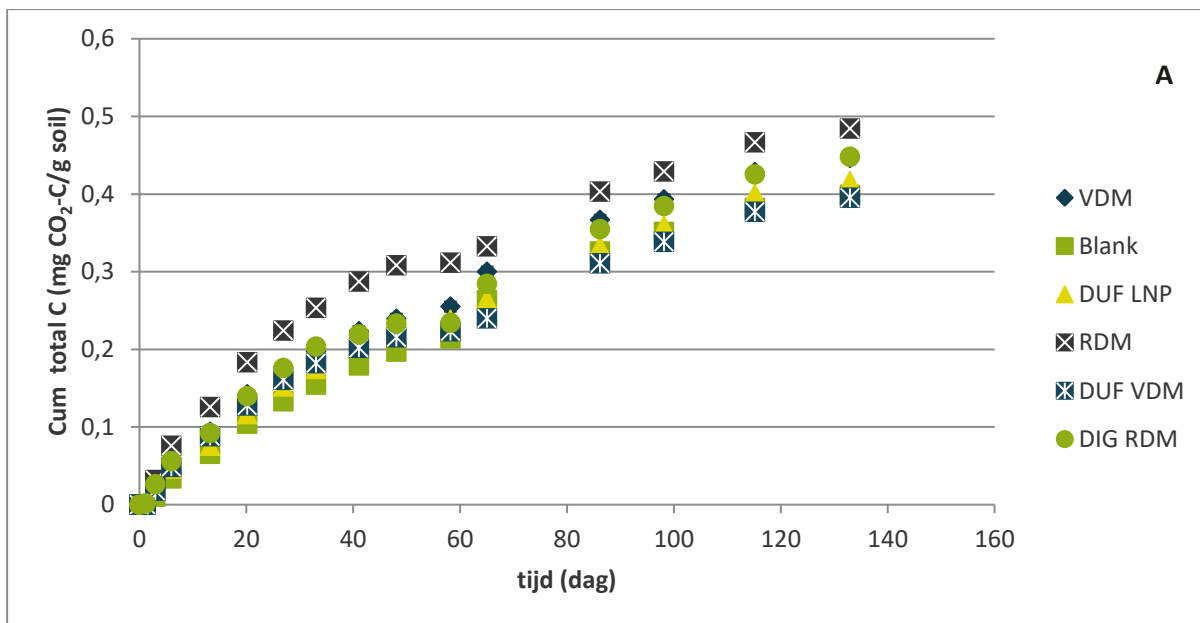
Voor deze incubatieproef wordt het protocol gevolgd, zoals beschreven in: *OVAM, 2002. Oriënterend onderzoek naar de invulling van de begrippen mineralenrijk - mineralenarm, humusrijk.*

D/2002/5024/06. 33 blz. In dit protocol wordt de organische meststof gemengd in de bodem, wordt extra vocht toegevoegd tot 50% van het poriënvolume is gevuld met water en samengedrukt in een buisje tot een bulkdensiteit van 1,4 kg/dm³. Ieder buisje wordt in een tonnetje geplaatst samen met een potje met een waterige NaOH-oplossing. Het afgesloten tonnetje (geen gasuitwisseling met omgeving mogelijk) wordt in een klimaatkast geïncubeerd bij 21,5°C. Tijdens de C-mineralisatie door het microbiële bodemleven wordt CO₂ uitgestoten, welk reageert met NaOH en leidt tot de vorming van Na-carbonaten. Op regelmatige tijdstippen (zie hieronder) worden de NaOH-oplossingen uit de tonnetjes gehaald, worden de carbonaten neergeslagen met BaCl, neerslag afgefiltreerd en wordt via automatische terugtitratie met HCl bepaald hoeveel NaOH in de oplossing niet reageerde met CO₂. Deze hoeveelheid wordt verminderd met de CO₂-uitsoot van de blanco bodem en de CO₂ die reeds bij aanvang van de proef aanwezig is in de tonnetjes. Op deze wijze kan onrechtstreeks de C-mineralisatie van de bewerkte mest worden bepaald. Per behandeling worden er vier herhalingen voorzien. De afbraak van organische stof in de bodem wordt vastgesteld op dag 1, 3, 6, 13, 20, 27, 33, 41, 48, 58, 65, 86, 98, 115 en 133 na toediening van de organische meststof.

De toegediende hoeveelheid organische meststof in deze C incubatieproef wordt weergegeven in Tabel 10. De totale toegediende hoeveelheid organische meststof wordt bepaald op basis van het bemestingsadvies dat wordt opgesteld door Inagro voor deze bodem en het gewas aardappel. Het bemestingsadvies schrijft voor dat er 119 kg werkzame N/ha en maximaal 80 kg P₂O₅/ha mag toegediend worden. Op deze manier simuleert deze C incubatieproef met wat er zou gebeuren in de bodem in de veldproef aardappel in Roeselare. Om dit om te vormen naar de hoeveelheid per incubatiebuis wordt de (cirkelvormige) oppervlakte van de buis berekend en voor N-incubatie respectievelijk gedeeld door 2 en 4 omwille van de hoogte van de bodem aanwezig in de buizen om de 0 tot 30 cm in de bodem na te boosten. Onderstaande formule heeft de omrekening weer: mestproduct volume voor incubatie (l) = hoeveelheid mestproduct (ton/ha) * oppervlakte incubatie buis (m²) / 10 / 4

5.5 RESULTATEN PRODUCTEN MET EEN N-WERKING

Figuur 16 geeft de cumulatieve (cum) waarden weer van totale koolstof emissie (mg CO₂-C / g grond) over de duur van het experiment heen. De producten met de hoogste C / N-verhouding, zoals runderdrijfmest (RDM), vertoonden de hoogste C_{TOT} cum (mg CO₂-C / g grond). Tegelijkertijd vertoonden producten met een lagere C / N-verhouding ('DUF LNP' en "DUF VDM") niet-significante C-afgifte in vergelijking met de blanco behandeling. Meer nog, vanaf dag 65 vertoonde de blanco behandeling zelfs een hogere C-afgifte dan de behandelingen met vloeibare fractie van varkensmest ('DUF LNP' en "DUF VDM"). Dit onderstreept de vaststelling dat voor (relatief) koolstofarme producten, het zeer moeilijk is om betrouwbare C-afgifte te meten. Onzekerheid in C-afgifte metingen van 'DUF LNP' en "DUF VDM' wordt ook gereflecteerd in de hoge standaarddeviatie dat voor deze behandelingen wordt verkregen tijdens de incubatie experiment (Bijlage 3).

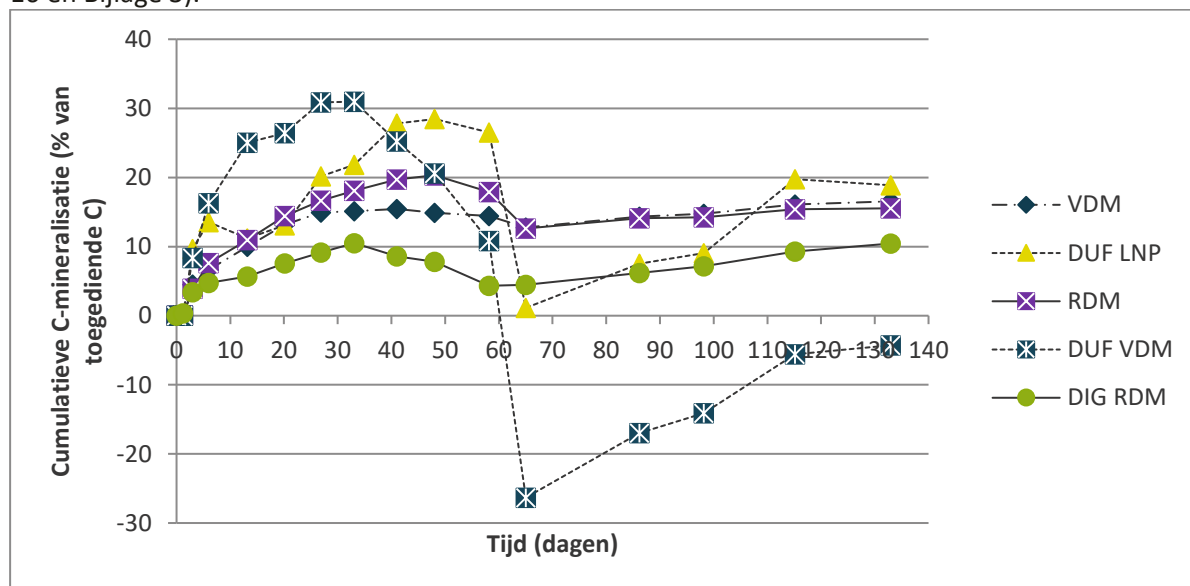


Figuur 16. Cumulatieve C mineralisatie afbraak in de bodem voor de verschillend behandelingen in de tijd met (A) gemiddelde waarden en (B) gemiddelde waarden met standaard deviatie

Bij nader onderzoek van de individuele metingen voor CO₂ afgifte per behandeling worden de blanco waarnemingen afgetrokken van de verschillende behandelingen, om aldus een schatting te maken van C-mineralisatie (in de vorm van CO₂) per kg C toegevoegd. In het huidige experiment zagen we

////////////////////////////////////

een aanzienlijke vrijstelling van CO₂ uit de blanco behandeling vanaf dag 65. Deze aanzienlijke stijging van de organische koolstof mineralisatie kan mogelijks worden toegeschreven aan vertraagde microbiële activiteit in deze bodems (lag-fase van de microbiële activiteit in niet-bemeste bodems). Als we het netto saldo van de CO₂-uitstoot uit bemesting maken met aftrek van waarnemingen uit de blanco bodems verkrijgen we zelfs negatieve waarden zoals te zien is in Figuur 17 . Runderdrijfmest (RDM) en digestaat uit pocketvergisting (DIG RDM) zijn producten die uit dezelfde proceslijn afkomstig zijn. Ze vertonen een gelijkaardige trend met betrekking tot C-mineralisatie. 'RDM' en 'DIG RDM' bereikte elk hun hoogste C-afgifte (%) op dag 48 en 33, respectievelijk 21 en 11% van de toegevoegde C. Dezelfde trend is waargenomen voor 'VDM', waarvan de C vrijlating na 65 dagen incubatie in de lijn is met die van 'RDM'. Het lijkt erop dat alle C is gemineraliseerd in 'RDM', 'DIG RDM' en 'VDM' behandelingen tussen 33 en 48 dagen (Figuur 15). Daarna worden C-mineralisatie waarden waargenomen die lager lagen dan deze gemeten in de blanco behandeling. Dit is zichtbaar in de daling van cumulatieve C-geminaliseerde (%) van toegepaste meststoffen (Figuur 16 en Bijlage 3).



Figuur 17. Cumulatieve C-mineralisatie (% van toegediende C) voor geteste behandelingen in de loop van de tijd in dagen

In Tabel 15 worden de celwandcomponenten van de verschillende producten gebruikt in deze incubatieproef. Enkel voor DUF VDM wordt een ander staal genomen en kan dus geen link gelegd worden met de bekomen resultaten. Uit het vergelijken van de resultaten in Tabel 15 kan duidelijk gezien worden dat RDM een hoger biodegradatiepotentieel heeft dan DIG RDM dit valt dan ook af te leiden uit de hoeveelheid C die gemineraliseerd is doorheen de incubatieproef. VDM vertoont in het begin van de incubatieproef een tragere mineralisatie dan RDM maar halverwege verloopt de gecumuleerde gemineraliseerde C gelijk tussen de twee stalen. Uit de celwandcomponent analyse kan dan ook gezien worden dat het biodegradatiepotentieel gelijk is aan dat van DIG RDM maar dat er wel een stuk meer (hemi)cellulose aanwezig is wat de hogere C mineralisatie per eenheid toegevoegde C verklaart.

Zoals eerder aangegeven, leidt de huidige experimentenopzet van C-mineralisatie beoordeling tot grote variabiliteit voor behandelingen met geringe C-gift en introduceert dit bijgevolg een grote onzekerheid in de gegevens. De geringe C-gift wordt veroorzaakt door een lagere toediening van het mestproduct dan bij de proefopzet in ILVO aangezien het bemestingsadvies wordt gevolgd. Daardoor is in de meeste gevallen N de limiterende component die meer C toevoeging uit de mestproducten niet toeliet. De bekomen resultaten geven dus weer wat er zou gebeuren indien de

mestproducten aan hoeveelheden worden toegediend die in de praktijk gangbaar zijn. Daarnaast zijn sommige mestproducten niet geschikt om (door een lage concentratie aan C erin zoals DUF LNP en DUF VDM) een proefopzet uit te voeren waar de koolstof toediening relatief hoog is aangezien de excessieve toediening van vocht zou leiden tot niet representatieve bodemcondities. Dit legt uit dat de resultaten bij deze proefopzet niet één op één kan vergeleken worden met diegenen uit de ILVO proef om de bijdrage aan de C-mineralisatie uit organische bodemverbeteraars te beoordelen.

Omwille van het substantiële effect van de reeds aanwezige koolstof in de bodem in tegenstelling tot de gelimiteerde hoeveelheid aan C die via de organische meststoffen worden toegediend moet men enige voorzichtigheid aan de dag leggen bij het interpreteren van de resultaten. Dit aangezien de achtergrond mineralisatie (van de C reeds aanwezig in de bodem) de effecten van de onderzochte mestproducten overschaduwde. Daarom beschouwen we incubatie experimenten die N-mineralisatie opvolgen voor beoordeling van dit type producten (laag in droge stof) als meer representatief voor wat betreft correcte inschatting van mineralisatiepatronen.



onstabiele resultaten berekend door telkens uit te gaan van de maximaal waargenomen procentuele C-mineralisatie.

Tabel 16: N-werkingscoëfficiënt en effectieve organische koolstofinhoud (EOC per ton VM) van de verschillende mestproducten berekend op basis van de resultaten uit de incubatiestudies.

Benaming product	N-werkings-coëfficiënt (%)	EOC (kg C/ton VM)
VDM	108	15
DIG RDM	84	20
DUF LNP	131	5
DUF VDM	87	4
RDM	85	26
CRSM	13	74
DIF VDM LNP	22	182
DIF VDM	67	75
DIF VDM Fraunhofer*	56	117
DIF digestaat	57	134
DIF digestaat Fraunhofer*	57	89

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM

Voor de EOC-opbouw van gecomposteerde runderstalmest t.o.v. de initiële stalmest zijn er geen cijfers beschikbaar. T.o.v. de initiële samenstelling van de stalmest gebruikt in dit project stellen we na de compostering een duidelijke daling van het % organisch materiaal vast (van 80% naar 40%) maar de stabiliteit van het organisch materiaal is duidelijk hoger na compostering, want het biodegradatiepotentieel daalt van 7,8 naar 1,8. Dit gaat ook gepaard met een omzetting van minerale N onder de vorm van NH₄-N naar NO₃-N.

Het effect is echter sterk afhankelijk van de stalmest zelf: er werden verschillende stalmesten gecomposteerd (Nelissen et al., 2015), hieruit bleek dat de verandering van de eigenschappen van de



stalmest tijdens composteren sterk afhankelijk is van het vochtgehalte en het aandeel stro in de stalmest.



6 VELDPROEVEN: COMBINATIES VAN PRODUCTEN TESTEN BIJ VERSCHILLENDE TEELTEN

De veldproeven worden aangelegd op verschillende grondtexturen. Hiervoor worden volgende regio's geselecteerd:

- de Kempische zandgronden
- de West-Vlaamse zandgronden
- de West-Vlaamse klei-polders
- de zandleemstreek

Door zowel een geografische als texturele spreiding te voorzien, worden zowel de typische teelten voor een bepaalde regio als de verschillende voorkomende grondtexturen in Vlaanderen opgenomen. Aangezien het wenselijk is om hetzelfde veld gedurende 2 opeenvolgende jaren op te volgen, worden bepaalde teeltopvolgingen specifiek opgezocht. De objecten worden gedurende de 2 jaren op dezelfde plaats aangelegd. Het effect van de behandelingen van het jaar voordien zal ook zo kunnen voorkomen in de praktijk, vandaar dat dit ook wordt opgenomen in de proef. Als teelten wordt gekozen voor gras, maïs, aardappelen en groenten (prei en bloemkool). Het is belangrijk dat de producten worden uitgetest onder omstandigheden die voor de meeste landbouwbedrijven herkenbaar zijn. Tevens is er voor gekozen om vruchtopvolgingen te selecteren zoals die gebruikelijk voorkomen in de praktijk. Gras en maïs zijn de meest voorkomende teelten in Vlaanderen. Vooral ook in kader van derogatie is de combinatie van deze teelten belangrijk. Wanneer ernaar gestreefd wordt via dit project om mestbewerking op bedrijfsniveau te realiseren, wordt vooral gekeken naar deze bedrijven die veel mest produceren. Dit zijn ofwel de rundveebedrijven (met gras en maïs in rotatie) of de varkensbedrijven. Deze laatste bedrijven hebben dan voornamelijk maïs, aardappelen of grove groenten in hun rotatie. Deze zijn daarom als voornaamste teelten geselecteerd. Tevens zijn dit teelten die grotere nutriëntenbehoeftes hebben of gevoelig zijn aan bepaalde tekorten (bv. fosforopname bij startgroei van maïs, zwavel bij prei, aardappel en gras, ...). Deze gevoeligheden aan bepaalde tekorten zijn praktijkvaststellingen. De teeltkeuze is georiënteerd volgens de streek waar ze frequent voorkomen. Het belangrijke feit dat deze proeven de praktijkomstandigheden zo nauw als mogelijk benaderen, betekenen sterk gevalideerd cijfermateriaal voor de landbouwers (lagere drempel voor implementatie). De veldproeven worden aangelegd door de praktijkcentra volgens de GEP-voorschriften⁷.

Onderstaande tabel (Tabel 17) geeft aan hoe de teeltopvolging eruit ziet en welke organisatie instaat voor de praktische uitvoering ervan. Er wordt gekozen om geen veldproef op biologische velden uit te voeren gezien de beperkte begroting en het beperkte areaal. Bepaalde objecten zullen wel een stempel 'biologisch object' krijgen: er wordt enkel met producten bemest die in biologische landbouw toegestaan zijn. De lijn met een biologisch proefperceel is dan niet volledig door te trekken, maar er kan wel een inschatting worden gemaakt. Algemeen kunnen alle producten die van biologische bedrijven afkomstig zijn of de vaste mesten, doorgaan als biologisch product.

⁷ algemene EPPO guideline m.b.t. aanleg GEP-proeven (PP 1/152 (4)):

<http://pp1.eppo.int/getnorme.php?id=154>



Tabel 17. Overzicht veldproeven per grondsoort, praktijkcentrum (uitvoerder) en teelt

	Jaar 2015	Jaar 2016	Uitvoerder
Zandgrond	gras-maïs	gras-maïs	Hooibeekhoeve+BDB
Zandgrond	bloemkool	prei	Inagro
Kleigrond	maïs	gras	Inagro
Zandleemgrond	aardappel	maïs	Inagro

Veldproeven zijn nodig om bepaalde parameters grondig en correct te kunnen inschatten. Het gaat meer bepaald om de volgende parameters:

- N (beschikbaar en reststikstof) op verschillende tijdstippen zoals verder aangegeven
- plantopbrengst en –kwaliteit (bij oogst) volgens GEP-proefveldwerking
- de grootte van de stikstofverliezen naar de omgeving, als volgt bepaald:
 - uitspoelingsverliezen beneden de bewortelingszone: via de metingen van minerale N van 0-90 cm op verschillende tijdstippen, gecombineerd met metingen van de N opname door het gewas en aangevuld met modelberekeningen
 - gasvormige verliezen: deze worden niet opgemeten in het kader van het project maar een inschatting kan worden gemaakt op basis van de samenstelling van het toegediend organisch materiaal, gecombineerd met expertkennis en modelberekeningen

Om deze parameters te kunnen meten worden verschillende objecten uitgezet, In deze objecten worden producten gebruikt en gecombineerd volgens de aanbevelingen uit luik 1. Afhankelijk van de teelt en de bodem zullen de objecten anders ingevuld moeten worden (bijvoorbeeld totale hoeveelheid toe te dienen N varieert), de rationale blijft echter steeds gelijk: er kan bijvoorbeeld geopteerd worden om meer dunne fractie toe te dienen, maar minder onbewerkte dierlijke mest. De proeven worden aangelegd in 4 herhalingen. De 4 herhalingen dienen voor de statistische verwerking. De verschillende behandelingen (8, incl 3 referenties kunstmest, varkensdrijfmest en runderdrijfmest) zijn nodig om de agronomische waarde te bepalen. Bij de verschillende proefvelden worden dezelfde organische mestsoorten aangewend. Echter is het praktisch niet haalbaar om dezelfde mest uit dezelfde mestput aan te wenden. Vooreerst is het toedieningstijdstip verschillend omdat steeds zo kort mogelijk voor de teelt wordt bemest. Door dit verschil in tijdstip kan variatie optreden in mestsamenstelling vanuit dezelfde put. Daarnaast liggen de proefvelden ook verspreid over Vlaanderen waardoor kleine volumes mest over grote afstand zouden vervoerd worden met stockage van meerdere types vloeibare mest op het veld indien op hetzelfde tijdstip vanuit 1 mestput mest zou vervoerd worden. Tot op het tijdstip van toediening kan geen geconditioneerde opslag voorzien worden evenmin als verschillende soorten vloeibare mesten tegelijkertijd voor een ruimere periode op te slaan. Daarom is er per proefveld wel hetzelfde mesttype aangewend, maar dit mesttype komt uit een andere mestput. Hoewel dit variabiliteit veroorzaakt tussen de objecten, stemt deze situatie overeen met de praktijk, waarbij niet voor elke mesttoediening een analyse voorhanden is. Er zal dan ook dieper ingegaan worden op deze variabiliteit en de implicaties hiervan voor de praktijk. De werkingspercentages voor ruwe drijfmest en stalrest zijn deze zoals vermeld in het Mestdecreet. De werkingspercentages voor DUF en DIG RDM worden berekend op basis van gemiddelde analysecijfers (bron labo Inagro) van ammoniakale N t.o.v. kjeldahl stikstof (i.c. resp. 3,2 / 4,7 = 68% en 2,5 / 3,9 = 64%) voor de veldproeven 2015.

De impact van het toedienen van de mest via mestinjecteur op bodemverdichting is groter op de objecten met organische mest dan bij het kunstmestobject, waar bij laatstgenoemde de N-gift manueel gebeurde. Daarom wordt met de mestinjecteur evenveel gereden over alle objecten, ook over het kunstmestobject. Bodemverdichting kan zich immers vertalen in een effect op de opbrengst. De kleigrond is het meest gevoelig voor bodemcompactie.



De opvolging van N (nitraat en ammonium) in het bodemprofiel (0-90 cm) doorheen het seizoen (1 bij aanvang en 3 op latere tijdstippen), zijn nodig om enerzijds de mineralisatie en nitrogen use efficiency en anderzijds N-vrijzetting nauwkeurig te kunnen bepalen, alsook om de uitspoeling tijdens de winter op te volgen (i.e. milieukundig effect). Voor de aanvang van de proef, wordt een bouwvooranalyse (pH, %C, P, K, Ca, Mg, Na) uitgevoerd en worden bij aanleg van de behandelingen een meststaal genomen en geanalyseerd. Bij de oogst wordt een opbrengstbepaling uitgevoerd en gebeurt een gewasanalyse van de totale plant met bepaling van DS, P, N en K per herhaling. Met de totale plant wordt zowel de bovengrondse als de wortelmasa bedoeld, voor zover deze wortelmasa te bepalen is (bv bij aardappelen is dit niet mogelijk). De staalnames gebeuren volgens compendium. De analyses gebeuren in geaccrediteerde labo's volgens gestandaardiseerde analysemethodes. Voor de elementen S, Ca, Cu, Fe, Al en Zn is een staalname uitgevoerd bij de start van de veldproeven (1 mengstaal over gans het proefveld, samen met de analyse van de bouwvoor) en na 2 jaar veldproeven (eind 2016) met een staalname per object voor de bouwvoor en de vermelde elementen.

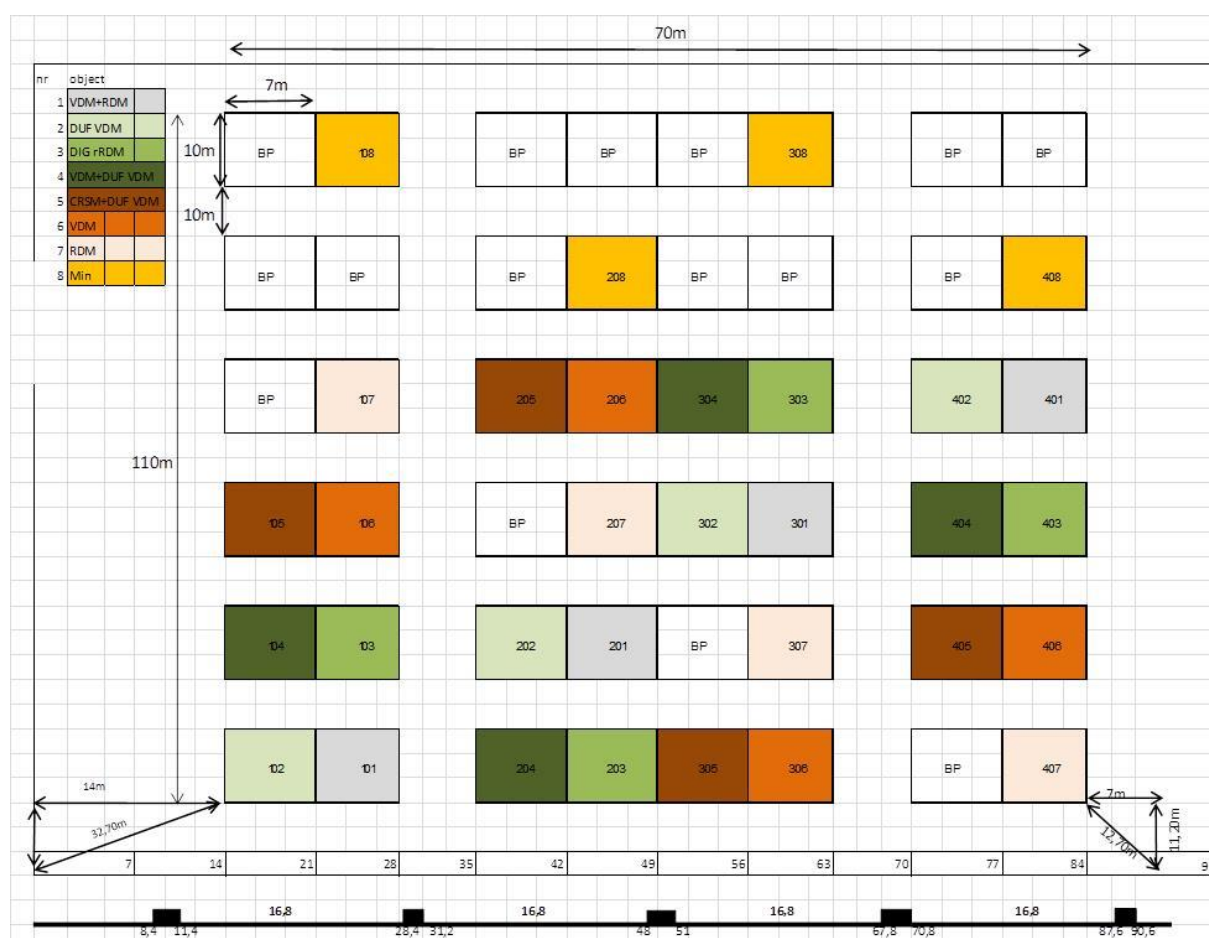


Tabel 21. Overzicht staalnamedata en data teelthandelingen

Datum	Actie
20/03/2015	bouwvoor + N-analyse
2/04/2015	toepassing mestproducten
14/04/2015	planten bloemkool ras Fortaleza (en beperkt ras Clapton)
29/04/2015	bijbemesting met kunstmest om bij ieder object een gelijke hoeveelheid werkzame N te hebben
27/05/2015	N-analyse
12/06/2015	berekening bloemkool
29/06/2015	start oogst
03/07/2015	einde oogst
6/07/2015	N-analyse
22/11/2015	N-analyse

6.1.1.2 Bemesting en veldproefopzet

Onderstaand is het proefplan weergegeven met aanduiding van de ligging van de verschillende objecten in vier herhalingen. Het eerste cijfer (honderdtal) geeft de herhaling aan, De twee laatste cijfers duiden op het objectnummer. Op de locatie in Kortemark worden bijkomend enkele objecten aangelegd met digestaat en kunstmest (aangeduid als BP) in het kader van een ander project.



Figuur 18. Proefplan Kortemark

Op basis van de voorafgaande mestanalyse wordt de bemestingshoeveelheid berekend. Hierbij wordt getracht om de N-behoefte maximaal in te vullen zodat achteraf met zo weinig mogelijk kunstmest moest worden bijgepast. De bijpassing van N via kunstmest is zeker nodig bij de teelt van bloemkool, omdat anders geen kwaliteitsvol product kan worden gehaald. De toegediende fosfaatbemesting wordt begrensd door de wettelijk maximale dosis die op perceelsniveau toegelaten wordt (55 kg P_2O_5 /ha). Bij toepassen van de producten wordt een bijkomend meststaal genomen om effectief te weten hoeveel nutriënten bij de vooropgestelde dosis worden toegediend.



Tabel 22. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Kortemark voor bemesting

Object	N ⁸	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkingscoëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest ⁹	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O
						Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam		
						(kg/ton VS)	%	(ton/ha)	(kg/ha)			
1 VDM (+RDM)	6,7	4,5	6,5	60	9	60	36				41	59
1 RDM (+VDM)	2,7	1,1	4,3	60	13	35	21				14	56
som						95	57	167	262	224	55	350
2 DUF VDM	3,5	0,3	3,7	68	60	210	143	81	291	224	19	350
3 DIG RDM	3,2	1,2	4,2	64	47	148	95	129	277	224	55	350
4 VDM (+DUF VDM)	6,7	4,5	5,4	60	10	67	40				45	54
4 DUF VDM (+VDM)	3,5	0,31	3,6	68	32	112	76				10	115
som						179	116	108	287	224	55	350
5 CRSM (+DUF VDM)	6,1	1,1	4,9	30	27	165	49				30	131
5 DUF (+CRSM)	3,5	0,3	3,7	68	29	102	69				9	107
som						266	118	106	372	224	39	350
6 VDM	6,7	4,5	6,5	60	12	80	48	176	256	224	54	350
7 RDM	2,7	1,1	4,32	60	50	135	81	143	278	224	55	350
8 kunstmest								224	224	224	0	350

⁸ Gemeten Kjeldahl stikstof (=ammoniakale stikstof + amidische stikstof (organisch gebonden))

⁹ Van deze hoeveelheid kunstmeststof werd 80 kg/ha via bandbemesting bij het planten toegediend

Tabel 23. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Kortemark tijdens bemesting

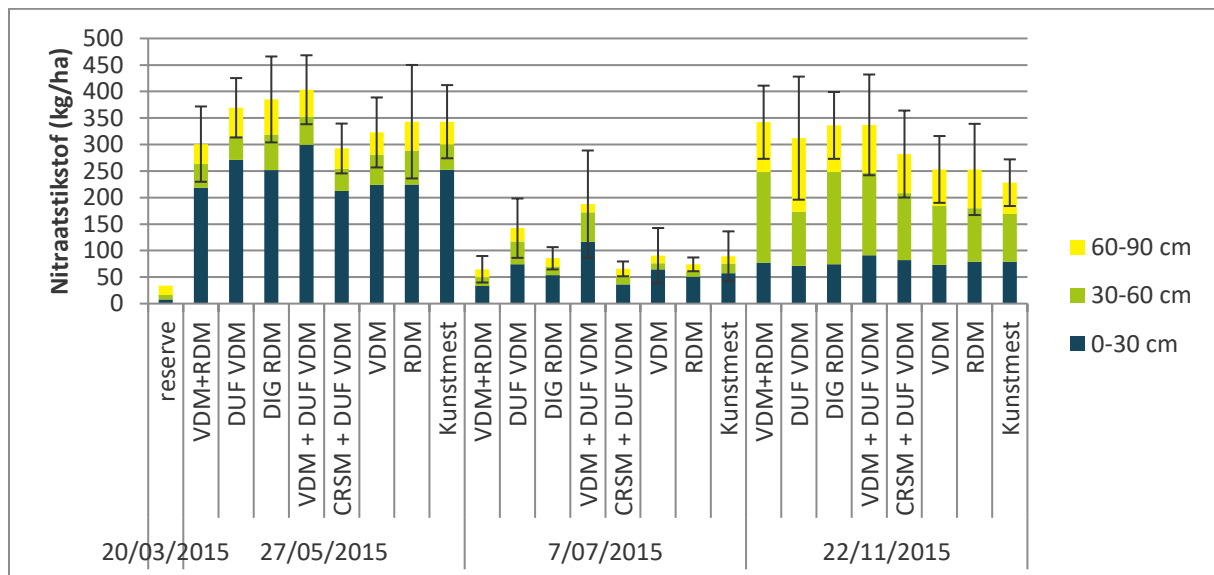
Object	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkingscoëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O
						Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam		
						(kg/ton VS)			%	(ton/ha)	(kg/ha)	
1 VDM(+RDM)	6,9	4,4	5,4	60	9	62	37				40	49
1 RDM (+VDM)	2,7	1,29	4,2	60	13	35	21				17	55
som						97	58	167	264	225	56	338
2 DUF VDM	3,7	0,59	3,6	68	60	222	151	81	303	232	35	344
3 DIG RDM	3,1	1,07	3,7	64	47	146	93	129	275	222	50	327
4 VDM (+DUF VDM)	6,9	4,5	5,4	60	10	69	41				45	54
4 DUF VDM(+VDM)	3,7	0,31	3,6	68	32	118	81				10	115
som						187	122	108	295	230	55	350
5 CRSM (+DUF VDM)	8,8	5,4	14	30	27	238	71				146	378
5 DUF (+CRSM)	3,7	0,59	3,6	68	29	107	73				17	104
som						345	144	106	451	250	163	593
6 VDM	6,9	4,4	5,4	60	12	83	50	176	259	226	53	337
7 RDM	2,7	1,29	4,2	60	50	135	81	143	278	224	65	344
8 kunstmest								224	224	224	0	350

Bij toediening wordt veel meer fosfaat gemeten bij CRSM dan dat de initiële analyse aangaf. Met een P-werkingscoëfficiënt van 30% wordt dan effectief maar evenveel werkzame fosfor toegediend als in de andere objecten, nl ongeveer 50 kg P₂O₅/ha.



6.1.1.3 Nitraatmetingen

Bij de stalname op 27 mei 2015 worden ammoniumwaarden gemeten tussen 2 en 111 kg ammoniumstikstof per hectare. Deze hoge waarden zijn het gevolg van de droge weersomstandigheden waardoor de toegediende meststoffen op 29 april nog onvoldoende zijn opgelost. Hierdoor geven de gemeten nitraatstikstofwaarden op 27 mei niet voor 100% de exacte bodemvoorraad weer. De gemeten waarden zijn waarschijnlijk een overschatting van de actuele bodemvoorraad doordat nog een gedeelte van de meststoffen niet omgezet zijn (en dus mee gemeten worden in de bodemanalyse). Op 7 juli 2015 zaten de gemeten ammoniumwaarden terug zeer laag (rond 4 kg/ha), wat wijst op een gestabiliseerde omgeving en reële nitraatwaarden. Na de eerste ronde bloemkool wordt nog een 2^{de} vrucht bloemkool geteeld waarbij uniform wordt bemest met kunstmest (120 kg N/ha). Deze 2^{de} teelt wordt niet opgevolgd. Tijdens de sperperiode is er een toename van de nitraatstikstof te merken door mineralisatie van de gewasresten van de bloemkolen die recent zijn geoogst en bodem organische stof. Toch worden zeer hoge nitraatresidu's gemeten voor de teelt bloemkool. Op dit tijdstip is het te laat in het seizoen om nog een vanggewas in te zaaien om de residuele stikstof op te nemen.



Figuur 19. Evolutie van nitraatstikstof (gemiddelde \pm SD, n=4) i.f.v. seizoen voor de verschillende objecten bloemkool Kortemark 2015

6.1.1.4 Opbrengst en plantkarakteristieken

Bij de oogst worden de bloemkolen gescoord op gewasstand (1=slecht; 9=goed), bladkleur (1=geel; 9=groen), uniformiteit (1=heterogeen; 9=homogeen) en sleet (1=veel sleet; 9=geen sleet). Uit onderstaande tabel blijkt dat er geen verschil is tussen de objecten en dat algemeen de bloemkolen een goede gewasstand hadden, een groene bladkleur, uniform zijn en geen sleet vertoonden. Bij de aanplant is er in 1 van de 4 herhalingen een ander ras gebruikt omdat er te weinig planten ter beschikking zijn. Bij de gewasanalyse zijn er daarom slechts de 3 herhalingen van hetzelfde ras (Fortaleza) bemonsterd omdat verschillende rassen een invloed kunnen hebben op de samenstelling.

6.1.1.5 Conclusie

Voor de opbrengst en kwaliteitsparameters worden wel 4 herhalingen bemonsterd omdat de ras invloed hier geen rol speelt. Hoewel het object 5 veel meer werkzame N kreeg toegediend, vertaalde dit zich niet in enig verschil in opbrengst bij de oogst (geen significante verschillen via Duncan,



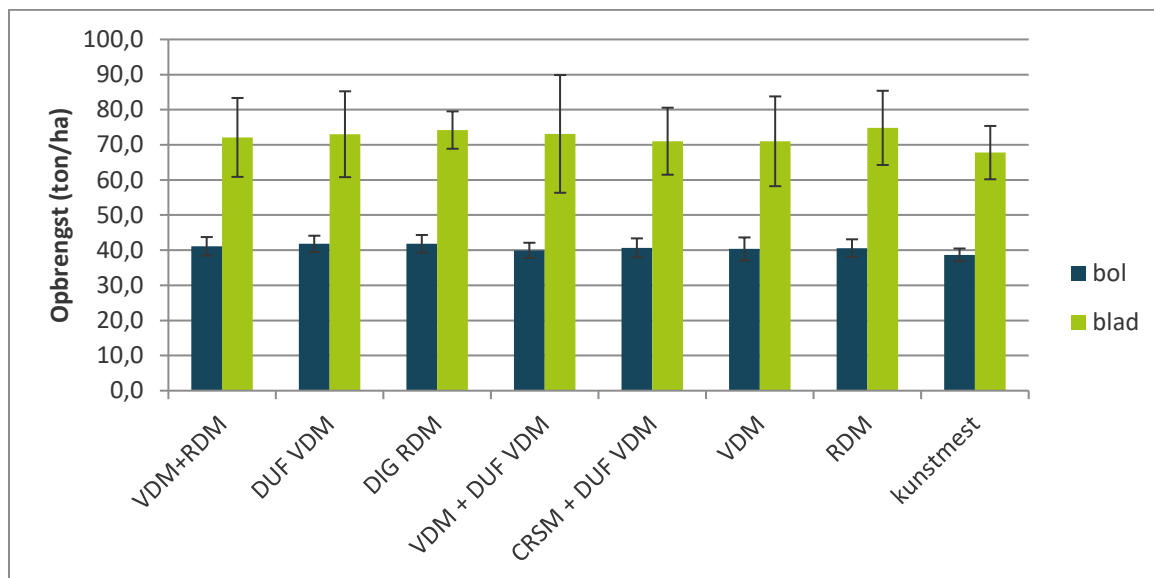
p=0.05). Bij de nitraatbepaling in de bodem op 7 juli (bij de oogst), is er een lage bodemvoorraad vast te stellen bij 6 van de 8 objecten. Enkel de objecten DUF VDM en VDM + DUF VDM vertonen een hoger residu.



Tabel 24. Opbrengst en kwaliteitsgegevens (extra (EX) kwaliteit of klasse I, II of III en rotte noot) van bloemkool 2015 te Kortemark

		Gewasstand	bladkleur	uniformiteit	sleet	stukgewicht bol	stukgewicht blad	EX	I	II	III	rotte noot
						gr	gr	%	%	%	%	%
VDM+RDM	1	8,50	7,25	7,75	9,00	1525,45 a	2674,97 a	0,00	70,69	12,63	9,55	7,13
DUF VDM	2	8,50	7,25	7,75	9,00	1550,94 a	2708,89 a	0,00	69,40	14,46	10,86	5,28
DIG RDM	3	8,75	7,00	8,00	9,00	1551,28 a	2752,69 a	0,00	70,32	13,72	11,54	4,42
VDM+DUF VDM	4	8,75	7,00	8,00	9,00	1481,92 a	2712,01 a	0,00	75,59	13,85	8,84	1,72
CRSM+DUF VDM	5	8,75	7,00	7,75	9,00	1508,29 a	2635,13 a	0,00	75,15	16,07	3,87	4,91
VDM	6	8,50	7,00	8,00	9,00	1497,50 a	2634,21 a	0,00	67,23	15,62	12,35	4,79
RDM	7	8,75	7,00	8,00	9,00	1505,77 a	2775,88 a	0,00	67,77	12,03	11,95	8,25
kunstmest	8	8,75	7,00	8,00	9,00	1435,15 a	2514,61 a	0,00	76,77	9,66	9,26	4,31





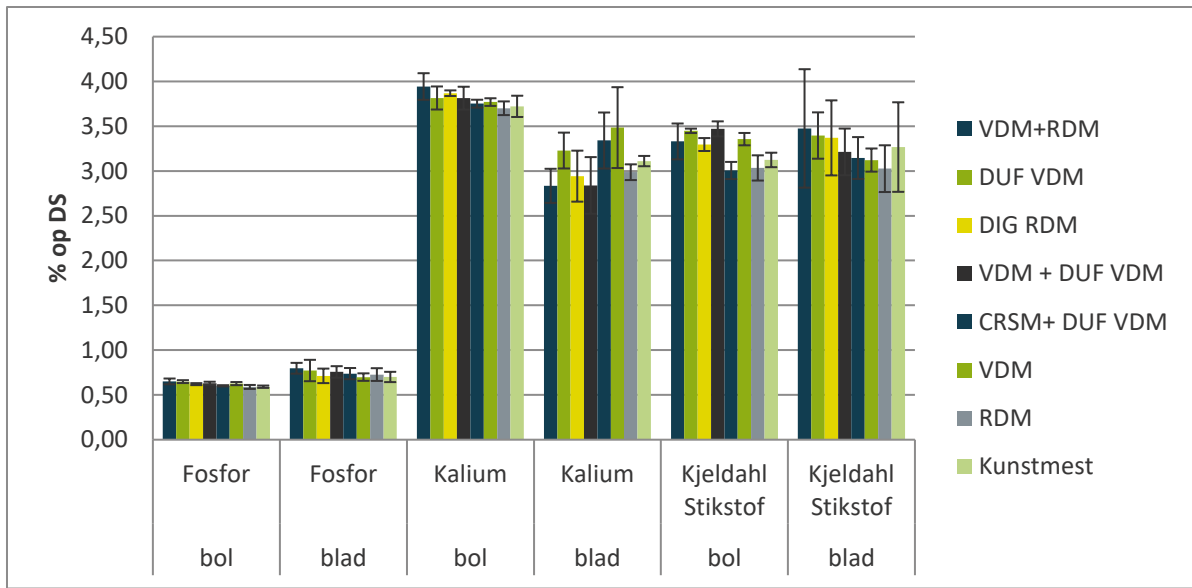
Figuur 20. Opbrengstgegevens (gemiddelde \pm SD, n=4) bloemkool voor bol- en bladmassa te Kortemark

Tabel 25. Opbrengstgegevens en gewasanalyse bloemkool (deel bol) te Kortemark 2015

Object	Verse opbrengst (ton/ha)	Droge stofopbrengst (ton DS/ha)	% DS	% N op DS	% P op DS	% K op DS
1 VDM +RDM	41,12 a	2,55 a	6,2	3,33	0,65	3,94
2 DUF VDM	41,80 a	2,48 a	5,9	3,45	0,65	3,81
3 DIG RDM	41,81 a	2,64 a	6,3	3,30	0,62	3,87
4 VDM +DUF VDM	39,94 a	2,44 a	6,1	3,47	0,63	3,81
5 CRSM +DUF DVM	40,65 a	2,57 a	6,3	3,01	0,60	3,75
6 VDM	40,36 a	2,56 a	6,3	3,36	0,63	3,77
7 RDM	40,59 a	2,57 a	6,3	3,03	0,59	3,70
8 Kunstmest	38,68 a	2,43 a	6,3	3,12	0,59	3,72

Tabel 26. Opbrengstgegevens en gewasanalyse bloemkool (deel blad) te Kortemark 2015

Object	Verse opbrengst (ton/ha)	Droge stofopbrengst (ton DS/ha)	% DS	% N op DS	% P op DS	% K op DS
1 VDM +RDM	72,10 a	6,74 a	9,3	3,47	0,80	2,83
2 DUF	73,02 a	5,86 a	8,0	3,40	0,77	3,23
3 DIG RDM	74,20 a	6,47 a	8,7	3,37	0,71	2,94
4 VDM +DUF VDM	73,10 a	6,36 a	8,7	3,21	0,76	2,84
5 CRSM +DUF VDM	71,03 a	6,32 a	8,9	3,14	0,74	3,34
6 VDM	71,00 a	5,98 a	8,4	3,12	0,70	3,48
7 RDM	74,82 a	6,64 a	8,9	3,03	0,73	2,99
8 Kunstmest	67,78 a	6,37 a	9,4	3,27	0,70	3,11



Figuur 21. Gewasanalyse (gemiddelde \pm SD, n=3) voor gewasdeel bol en blad bloemkool Kortemark 2015

Na de eerste teelt bloemkool wordt nog een tweede ronde bloemkool geplant door de proefveldhouder en uniform bemest met kunstmeststof aan een dosis van 120 kg N/ha. Hier wordt geen organische mest meer toegediend. Deze 2^e ronde wordt niet opgevolgd voor opbrengstbepaling of gewasanalyse. Enkel in het najaar (22/11/2015) wordt nog een nitraatresidu analyse uitgevoerd.



6.1.2 Veldproef aardappel Roeselare

6.1.2.1 Inleiding

De uitvoering van deze veldproef met aardappelen van het ras Anosta gebeurde door Inagro. Door bemonstering van de bouwlaag 0-30 cm worden volgende analyseresultaten bekomen. Het betreft een perceel met een zandleem textuur.

Tabel 27. Analyseresultaten bouwvooranalyse (extractiemiddel ammoniumlactaat tenzij anders vermeld) op staalnamedatum 09/03/2015

Parameter	Eenheid	Resultaat	Streefzone
Textuur		Zandleem	
pH	pH-KCl	5,6	5,5-6,0
Organische koolstof	%OC op droge grond	1,1	1,0-1,5
Fosfor	mg/100g droge grond	30	12-20
Kalium	mg/100g droge grond	9	14-23
Magnesium	mg/100g droge grond	18	9-16
Calcium	mg/100g droge grond	110	102-268
Natrium	mg/100g droge grond	<2,0	3,1-6,7
Zwavel	mg/100g droge grond	<2,0	2,3-3
Ijzer	mg/100g droge grond	1783,30	
Aluminium	mg/100g droge grond	18,06	
Koper	mg/100g droge grond	0,18	
Zink	mg/100g droge grond	0,99	
Fosfor_CaCl ₂	mg/kg droge grond	1,4	

Op bovenstaande bouwvooranalyse wordt een zeer hoog ijzergehalte gemeten. Een verklaring hiervoor kan niet gevonden worden. Het hoog gemeten ijzergehalte is waarschijnlijk een niet betrouwbare meetwaarde en wordt verder niet meer meegenomen in de bespreking. Dit heeft geen invloed naar het bemestingsadvies. Deze hoge waarde wordt niet teruggevonden bij bouwvooranalyse op het einde van de 2 proefjaren.

Tabel 28. Analyseresultaten stikstofanalyse op 09/03/2015

Laag	Nitrat (kg/ha NO ₃ -N)	Ammonium (kg/ha NH ₄ -N)
0-30 cm	11	<4
30-60 cm	28	<4
60-90 cm	35	<4

Tabel 29. Adviesformulering

Bemestingsadvies	Stikstof (kg/ha)	Fosfor (kg/ha)
Inagro	119	80
BDB	192 (160 + 32)	60

Volgende handelingen worden uitgevoerd op het proefveld:

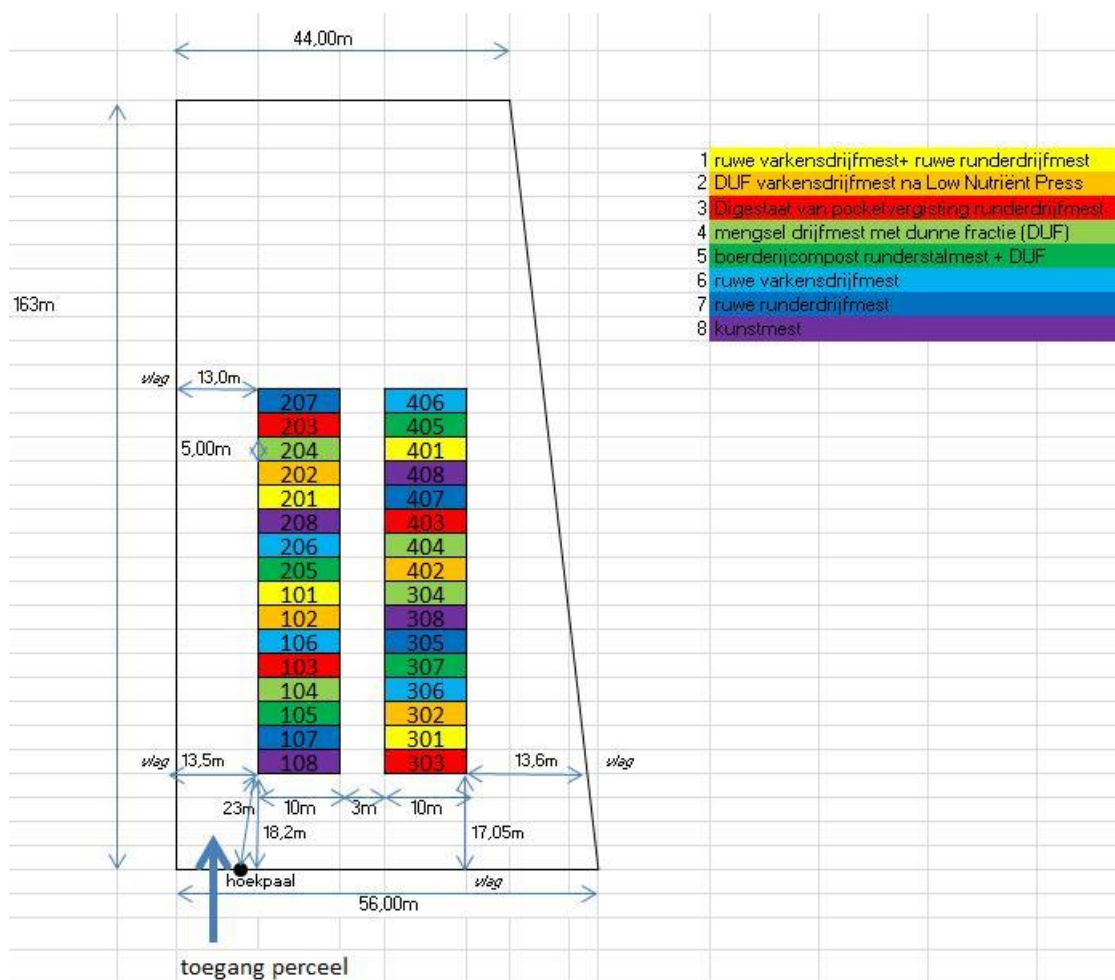
//

Tabel 30. Overzicht staalnamedata en data teelthandelingen

Datum	Actie
09/03/2015	bouwvoor + N-analyse
23/03/2015	toepassing mestproducten
16/04/2015	planten aardappelen (Anosta)
14/04/2015	bijbemesting kunstmest K en N ¹⁰
07/05/2015	bijbemesting kunstmest N ¹¹
04/06/2015	N-analyse
03/08/2015	oogst
11/08/2015	N-analyse ¹²

6.1.2.2 Bemesting en veldproefopzet

Onderstaand is het proefplan weergegeven met aanduiding van de ligging van de verschillende objecten in vier herhalingen. Het eerste cijfer (honderdtal) geeft de herhaling aan. De twee laatste cijfers duiden op het objectnummer.



Figuur 22. Proefplan Roeselare

¹⁰ N enkel object 8

¹¹ N bij object 1 en object 6

¹² Er was nog een staalname grond voorzien in de sperperiode, maar deze werd door menselijke fout niet uitgevoerd

Op basis van voorafgaande mestanalyse wordt de bemestingshoeveelheid berekend. Hierbij wordt getracht om de N-behoefte maximaal in te vullen zodat achteraf met zo weinig mogelijk kunstmest moest worden bijgepast. De bijpassing van N via kunstmest is zeker nodig bij de teelt van aardappel bij de objecten met varkensmest, omdat anders geen kwaliteitsvol product kan worden gehaald. Enkel in deze objecten kan onvoldoende N worden aangevoerd via organische producten wegens de beperking van fosfaat. In het object met het mengsel van varkens- en runderdrijfmest wordt maar 10% van de totale N bemestingsdosis via kunstmest gegeven. In het referentieobject met varkensdrijfmest wordt tot 1/3^{de} van de bemestingsdosis via kunstmest gegeven. Gezien aardappelen maar een aanzienlijke N-opname realiseren vanaf 5 weken na planten en de omzetting bij varkensmengmest naar plantbeschikbare N ook ongeveer 4 weken in beslag neemt, zal er geen invloed zijn van de kunstmest om de N-werking van de producten op zich te beoordelen. De toegediende fosfaatbemesting per object wordt begrensd door de dosis bepaald in het bemestingsadvies (80 kg P₂O₅/ha). De werkingspercentages voor ruwe drijfmest en stalmest zijn deze zoals vermeld in het Mestdecreet. De werkingspercentages voor dunne fractie en digestaat pocketvergisting worden berekend op basis van gemiddelde cijfers van ammoniakale N t.o.v. kjeldahl stikstof (i.c. resp. 3,2 / 4,7 = 68% en 2,5 / 3,9 = 64%).

Bij toepassen van de producten wordt een bijkomend meststaal genomen om effectief te weten hoeveel nutriënten bij de vooropgestelde dosis worden toegediend. Er wordt een afwijkende mestsamenstelling t.o.v. andere proeflocaties gemeten voor DUF VDM. Dit houdt enige voorzichtigheid in voor interpretatie van nitraatgehalte en opbrengst.



Tabel 31. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Roeselare voor bemesting

Object	N ¹³	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkings- coëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O	
						Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam			
						(kg/ton VS)			(kg/ha)				
1	VDM(+RDM)	7	4,5	4	60	12	84	50			54	48	
	RDM (+VDM)	4,8	1,4	5	60	18	86	52			25	90	
	som						170	102	18	188	120	79	375
2	DUF VDM	4,7	0,8	4,2	68	37	174	118	0	174	118	31	366
3	DIG RDM	3,2	1,2	3,7	64	59	186	119	0	186	119	68	372
4	VDM (+DUF VDM)	7	4,5	4	60	10	70	42	0			45	40
	DUF VDM(+VDM)	4,7	0,8	4,2	68	24	113	77	0			20	101
	som						183	119	0	183	119	65	364
5	CRSM (+DUF VDM)	6,1	1,7	14	30	27	165	49	0			46	378
	DUF (+CRSM)	4,7	0,8	4,2	68	22	103	70	0			18	92
	som						268	120	0	268	120	65	510
6	VDM	7	4,5	4	60	18	126	76	44	170	120	81	357
7	RDM	4,8	1,4	5	60	41	197	118	0	197	118	57	371
8	kunstmest								120	120	120	0	350

¹³ Gemeten Kjeldahl stikstof (=ammoniakale stikstof + amidische stikstof (organisch gebonden))



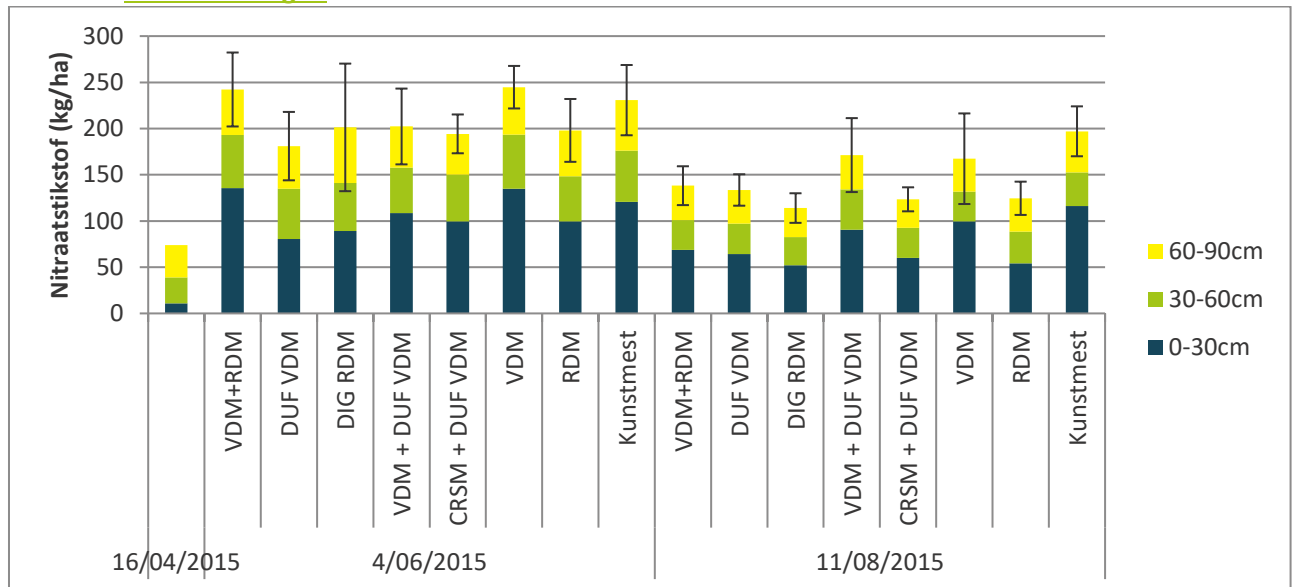
Tabel 32 . Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Roeselare na bemesting

Object	N	P ₂ O ₅ (kg/ton VS)	K ₂ O	Werkings- coëfficiënt %	Dosis (ton/ha)	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O	
						Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam			
									(kg/ha)				
1	VDM(+RDM)	3,8	0,5	4,0	60	12	46	28			6	48	
	RDM (+VDM)	4,7	1,7	4,3	60	18	84	50			31	77	
	som						130	78	18	148	96	37	362
2	DUF VDM	2,1	1,3	4,2	68	37	76	52	0	76	52	48	364
3	DIG RDM	3,1	1,1	3,7	64	59	185	118	0	185	118	63	373
4	VDM (+DUF VDM)	3,8	0,5	4,0	60	10	38	23	0			5	40
	DUF VDM(+VDM)	2,1	1,3	4,2	68	24	50	34	0			31	100
	som						88	57	0	88	57	36	363
5	CRSM (+DUF VDM)	8,8	5,4	13,7	30	27	237	71	0			145	369
5	DUF (+CRSM)	2,1	1,3	4,2	68	22	45	31	0			28	92
	som						282	102	0	282	102	173	501
6	VDM	3,8	0,5	4,0	60	18	69	41	44	113	86	9	357
7	RDM	4,7	1,7	4,3	60	41	191	115	0	191	115	71	340
8	kunstmest								120	120	120	0	350

Uit de tabel met effectief toegediende mesthoeveelheid en bijhorende analyses, blijkt dat er soms afwijkende samenstellingen kunnen optreden, iets waar een landbouwer ook mee geconfronteerd kan worden. De objecten 2 en 4 kregen maar de helft van de werkzame hoeveelheid stikstof toegediend t.o.v. de objecten 3, 7 en 8. De overige objecten hadden een werkzame hoeveelheid N die tussenin lag. Dit vertaalde zich niet naar de opbrengsten die worden gemeten.



6.1.2.3 Nitraatmetingen



Figuur 23. Evolutie van nitraatstikstof (gemiddelde \pm SD, n=4) i.f.v. seizoen voor de verschillende objecten

2015 wordt tijdens het groeiseizoen van de aardappelen gekenmerkt door een langdurige droogte. Op het proefperceel kan niet worden berekend. Hierdoor kende het gewas een vroegtijdige afrijping met als gevolg een lagere opbrengst dan verwacht. Doordat het gewas ook vroeger afstierf, wordt geen stikstof meer bijkomend opgenomen. Toch worden bij de oogst begin augustus realistische waarden van nitraatresidu in de bewortelbare zone teruggevonden. De objecten kunstmest, varkensdrijfmest en combinatie varkensdrijfmest met dunne fractie hadden een iets hoger residu dan verwacht. Na de oogst van gans het veld aardappelen wordt gras ingezaaid als groenbedekker. Door een menselijke fout worden de grondstalen in de sperperiode op dit perceel niet genomen.

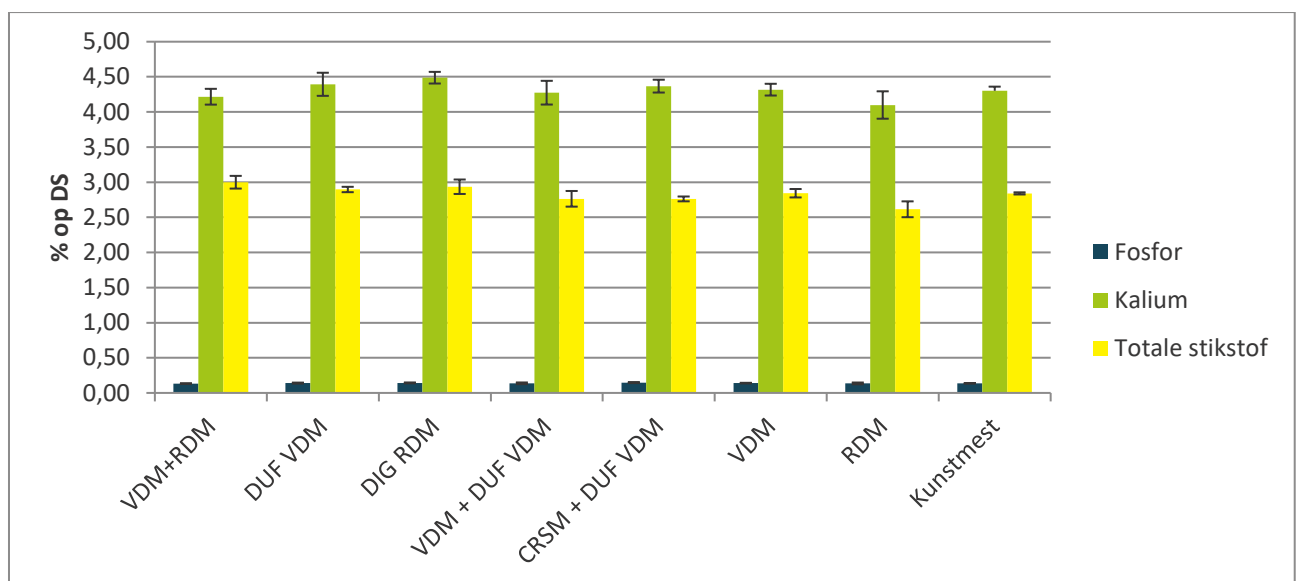
6.1.2.4 Opbrengst en plantkarakteristieken

Bij de oogst op 3 augustus 2015 wordt per veldje 9 m² van de 50 m² (5 m x 10 m) per behandeling geoogst voor de bepalingen van opbrengst en kwaliteit. Van ieder veldje wordt de totale opbrengst, sortering, onderwatergewicht en bak kwaliteit van de aardappelen bepaald. Het loof is op het moment van de oogst bijna volledig afgestorven. Het bemestingsadvies wordt opgesteld voor het ras Anosta met oogstdatum half augustus. Volgens de groeicurve Anosta ligt de eindopbrengst op 41,8 ton/ha. Dit is een gemiddelde van 2008 tot 2012. In 2015 bedroeg de gemiddelde bruto-opbrengst op conventionele percelen 39,3 ton/ha voor Anosta. De gemiddelde opbrengst op dit proefveld lag een stuk lager, een reden hiervoor kan niet worden aangegeven. Na de oogst van de aardappelen wordt gras als groenbedekker ingezaaid.



Tabel 33. Opbrengstgegevens en gewasanalyse aardappelen (knollen) te Roeselare 2015

Object	Verse opbrengst (ton/ha)	Droge stofopbrengst (ton DS/ha)	% DS	% N op DS	% P op DS	% K op DS
1 VDM +RDM	31,7 a	6,69 a	21,11	3,00	0,13	4,22
2 DUF VDM	27,1 ab	5,81 ab	21,43	2,90	0,14	4,39
3 DIG RDM	25,6 b	5,42 b	21,19	2,94	0,14	4,49
4 VDM + DUFVDM	28,5 ab	5,89 ab	20,66	2,76	0,14	4,27
5 CRSM + DUF VDM	28,2 ab	5,68 ab	20,16	2,76	0,15	4,37
6 VDM	30,5 ab	6,24 ab	20,45	2,84	0,14	4,32
7 RDM	29,4 ab	6,17 ab	20,97	2,61	0,14	4,10
8 Kunstmest	32,1 a	6,77 a	21,09	2,84	0,14	4,30



Figuur 24. Gewasanalyse aardappelen (knollen) (gemiddelde \pm SD, n=4) te Roeselare 2015

6.1.2.5 Conclusie

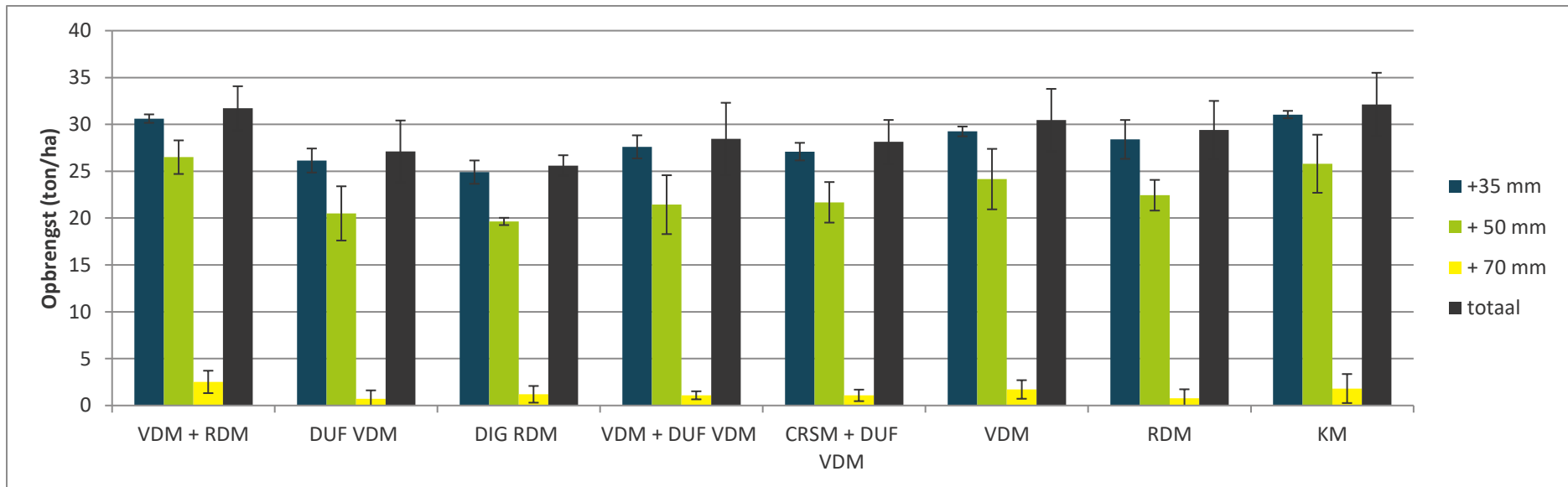
Uit de bepaling van totale opbrengst en sortering wijken de objecten met combinatie varkensdrijfmest en runderdrijfmest en het object met kunstmest af van het object met enkel dunne fractie, waarbij laatstgenoemde het slechtst scoorde. Dit object met dunne fractie had als mestsamenstelling ook een afwijkende waarde dan verwacht (veel lagere ammoniakale stikstof dan verwacht). Hierdoor wordt waarschijnlijk te weinig werkzame stikstof toegediend. Het object met DIG RDM haalde de laagste significante opbrengst (Duncan, $p=0.05$), terwijl bij dit object toch bijna het maximum van de berekende werkzame stikstof wordt toegediend. Een reden hiervoor kan niet worden aangegeven, tenzij er met een te hoge werkzaamheid wordt gerekend uit het digestaat. Door de droogte worden hoge waarden voor onderwatergewicht (OWG) gemeten. Voor alle objecten hadden de aardappelen zeker een voldoende OWG. Door de weersomstandigheden (droogte en warmte), is er op het moment van oogst (nog) geen sprake van doorwas. Dit wordt bevestigd door het lage aantal drijvers bij verschillende dichtheden. Bij de baktest wordt overal een goede frietkwaliteit vastgesteld zonder verschillen tussen de behandelingen.

Tabel 34. Bepaling van sortering en opbrengst

Veldje			Sortering							Opbrengst kg / ha							Controle resultaat variantie-analyse							
			- 35	35/50	50/70	+ 70	uit-	+ 35	+ 50	- 35	35/50	+ 50	+ 70	uit-	totaal	+ 35	totaal	+ 35 mm	+ 50 mm	+ 70 mm				
			mm	mm	mm	mm	val	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	val	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
Gem.	01	F1v1 , VDM + RDM	1,1	13,0	75,6	7,9	2,4	96,5	83,5	350	4,117	26,500	2,517	767	31,733	30,617	31,733	a	30,617	a	26,500	a	2,517	a
Gem.	02	F1v2 , DUF VDM	1,9	20,8	73,0	2,6	1,6	96,5	75,6	522	5,644	20,500	717	433	27,100	26,144	27,100	ab	26,144	ab	20,500	cd	717	a
Gem.	03	F1v3 , DIG RDM	1,6	20,6	72,1	4,7	1,1	97,3	76,7	417	5,261	19,644	1,194	278	25,600	24,906	25,600	b	24,906	b	19,645	d	1,195	a
Gem.	04	F1v4 , VDM + DUF VDM	1,8	21,7	71,5	3,8	1,2	97,0	75,3	506	6,167	21,433	1,089	356	28,461	27,600	28,461	ab	27,600	ab	21,434	bcd	1,089	a
Gem.	05	F1v5 , CRSM + DUF VDM	1,9	19,2	73,2	3,8	1,9	96,3	77,0	533	5,411	21,683	1,078	522	28,150	27,094	28,150	ab	27,095	ab	21,683	bcd	1,078	a
Gem.	06	F1v6 , VDM	1,8	16,7	73,7	5,6	2,2	96,0	79,3	539	5,089	24,161	1,711	667	30,456	29,250	30,456	ab	29,250	ab	24,161	abc	1,711	a
Gem.	07	F1v7 , RDM	1,6	20,2	73,7	2,6	1,8	96,5	76,3	478	5,956	22,439	761	539	29,411	28,394	29,411	ab	28,394	ab	22,439	abcd	761	a
Gem.	08	F1v8 , kunstmest	1,5	16,3	74,7	5,6	1,8	96,6	80,3	489	5,250	25,800	1,811	594	32,133	31,050	32,133	a	31,050	a	25,800	ab	1,811	a

Tabel 35. Bepaling onderwatergewicht (OWG), droge stof en aantal drijvers bij verschillende dichtheden (gemiddeld per object (aantal=omgerekend naar 5 kg))

veldje	Behandeling	OWG (g)	Droge stof (%)	Drijvers (d = 1,06)		Drijvers (d = 1,05)	
				n	gew. %	n	gew. %
01	VDM + RDM	369,2	20,2	1,5	3,9	0,0	0,0
02	DUF VDM	376,2	20,5	1,0	2,4	0,0	0,0
03	DIG RDM	378,8	20,6	1,0	3,2	0,0	0,0
04	VDM + DUF VDM	362,8	19,9	0,7	2,1	0,0	0,0
05	CRSM + DUF VDM	358,6	19,6	0,2	0,4	0,0	0,0
06	VDM	362,6	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
07	RDM	378,8	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0
08	KM	373,2	20,4	0,5	1,2	0,0	0,0



Figuur 25. Opbrengstgegevens (gemiddelde \pm SD, n=4) per maatsortering



Tabel 36. Berekening van kleurindex friet in 0-6 schaal (versie 1-7-97) op 6 augustus

CKA¹⁴-standaardmethode voor het bepalen van de kleur van frietaardappelen

met de USDA Munsell Color Company kleurenkaart, op 20 frieten, Baktijd 3 minuten bij 180 °C

kleurindex kleiner of gelijk aan 3 of 4 en minstens 80 % van de frieten in kleurklassen 000,00,0,1,2

klasse punten	3x0 0	2x0 1	0 2	1 3	2 4	3 5	4 6	n	kleurindex		% a-e	suikertop		heterog friet				
									0-6	/ object		n	%	gem	n	%	gem	
01	01	0	0	4	15	1	0	0	20	2,85		100	0	0		3	15	
02	01	0	2	5	8	4	1	0	20	2,85		95	0	0		2	10	
03	01	0	1	5	11	3	0	0	20	2,80		100	0	0		3	15	
04	01	0	0	4	15	1	0	0	20	2,85	2,84	100	0	0	0	2	10	13
01	02	0	0	1	16	3	0	0	20	3,10	*	100	0	0		5	25	
02	02	0	0	3	13	4	0	0	20	3,05	*	100	0	0		3	15	
03	02	0	1	5	14	0	0	0	20	2,65		100	0	0		2	10	
04	02	0	0	4	15	1	0	0	20	2,85	2,91	100	0	0	0	3	15	16
01	03	0	0	3	17	0	0	0	20	2,85		100	0	0		2	10	
02	03	0	1	2	13	4	0	0	20	3,00		100	0	0		4	20	
03	03	0	0	7	12	1	0	0	20	2,70		100	0	0		3	15	
04	03	0	2	6	12	0	0	0	20	2,50	2,76	100	0	0	0	2	10	14
01	04	0	0	5	15	0	0	0	20	2,75		100	0	0		3	15	
02	04	0	1	6	10	3	0	0	20	2,75		100	0	0		2	10	
03	04	0	3	6	11	0	0	0	20	2,40		100	0	0		2	10	
04	04	0	2	4	13	1	0	0	20	2,65	2,64	100	0	0	0	4	20	14
01	05	0	2	9	7	2	0	0	20	2,45		100	0	0		2	10	
02	05	0	3	8	7	2	0	0	20	2,40		100	0	0		3	15	
03	05	0	3	6	10	1	0	0	20	2,45		100	0	0		1	5	
04	05	0	1	4	13	2	0	0	20	2,80	2,53	100	0	0	0	3	15	11
01	06	0	2	10	6	2	0	0	20	2,40		100	0	0		1	5	

¹⁴ CKA=Commissie Kwaliteitskeuring Aardappelen



02	06	0	0	4	15	1	0	0	20	2,85		100	0	0	2	10	
03	06	0	0	7	13	0	0	0	20	2,65		100	0	0	1	5	
04	06	0	0	4	14	1	1	0	20	2,95	2,71	95	0	0	3	15	8,8
01	07	0	0	5	13	2	0	0	20	2,85		100	0	0	3	15	
02	07	0	0	4	12	4	0	0	20	3,00		100	0	0	4	20	
03	07	0	3	5	11	1	0	0	20	2,50		100	0	0	3	15	
04	07	0	0	5	14	1	0	0	20	2,80	2,79	100	0	0	2	10	15
01	08	0	0	0	18	2	0	0	20	3,10	*	100	0	0	4	20	
02	08	0	3	5	11	1	0	0	20	2,50		100	0	0	1	5	
03	08	0	0	6	14	0	0	0	20	2,70		100	0	0	2	10	
04	08	0	0	1	19	0	0	0	20	2,95	2,81	100	0	0	2	10	11

*waarde kleurindex beneden de 3 is goed, boven de 3 is dit maar meer aanvaardbaar



6.1.3 Veldproef maïs Gistel

6.1.3.1 Inleiding

De uitvoering van dit proefveld gebeurde door Inagro. Door bemonstering van de bouwlaag 0-30 cm worden volgende analysesresultaten bekomen. Het betreft een perceel met een klei textuur.

Tabel 37. Analyseresultaten bouwvooranalyse (extractiemiddel ammoniumlactaat tenzij anders vermeld) op staalnamedatum 17/03/2015

Parameter	Eenheid	Resultaat	Streefzone
Textuur		Klei	
pH	pH-KCl	7,0	7,0-7,5
Organische koolstof	%OC op droge grond	1,5	1,6-2,1
Fosfor	mg/100g droge grond	17	12-20
Kalium	mg/100g droge grond	20	16-27
Magnesium	mg/100g droge grond	38	17-27
Calcium	mg/100g droge grond	750	366-2684
Natrium	mg/100g droge grond	2,0	3,1-6,5
Zwavel	mg/100g droge grond	3,0	4,0-5,2
Ijzer	mg/100g droge grond	32,32	
Aluminium	mg/100g droge grond	14,51	
Koper	mg/100g droge grond	0,08	
Zink	mg/100g droge grond	0,40	
Fosfor_CaCl2	mg/kg droge grond	0,90	

Tabel 38. Analyseresultaten stikstofanalyse op 17/03/2015

Laag	Nitraat (kg/ha NO ₃ -N)	Ammonium (kg/ha NH ₄ -N)
0-30 cm	25	<4
30-60 cm	24	<5
60-90 cm	21	<5

Tabel 39. Adviesformulering

Bemestingsadvies	Stikstof (kg/ha)	Fosfor (kg/ha)
Inagro	105	90
BDB	136	-

- :geen advies gegeven

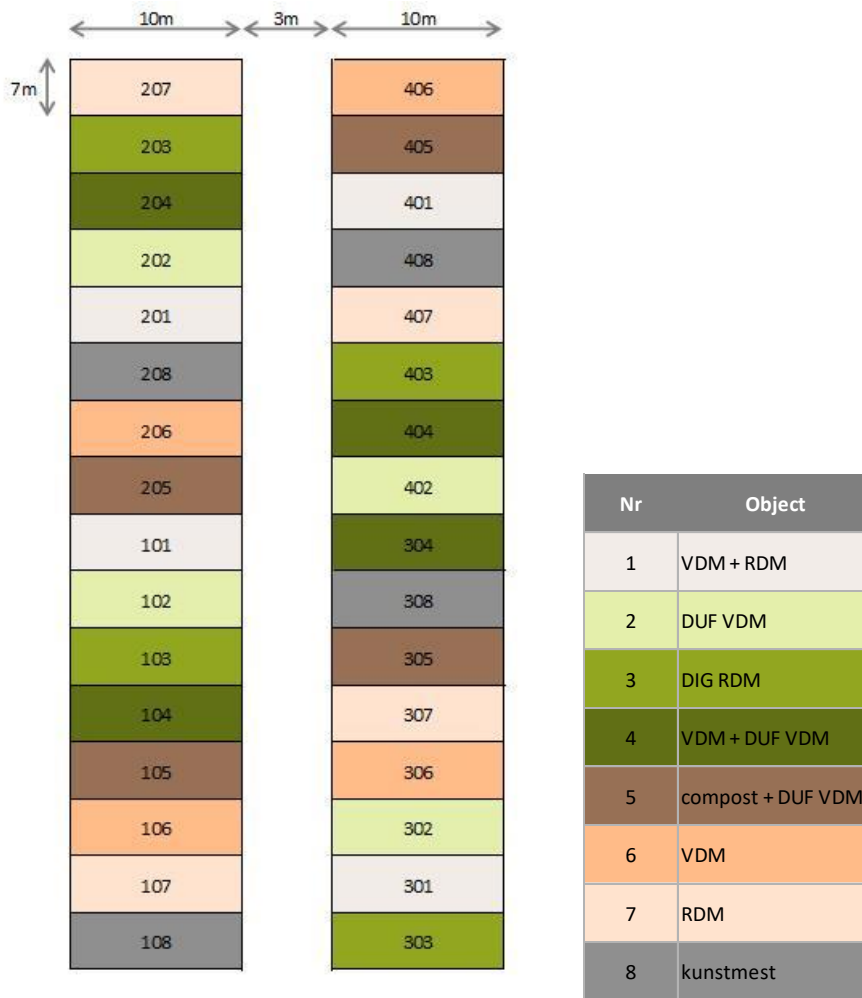
Volgende handelingen worden uitgevoerd op het proefveld:

Datum	Actie
17/03/2015	Bouwvoor + N-analyse
17/04/2015	toepassing mestproducten
20/04/2015	bijbemesting kunstmest (N en K)
22/04/2015	zaaien maïs ras Kompetens
04/06/2015	N-analyse
08/10/2015	Oogst + N-analyse

6.1.3.2 Bemesting en veldproefopzet

Onderstaand is het proefplan weergegeven met aanduiding van de ligging van de verschillende objecten in vier herhalingen. Het eerste cijfer (honderdtal) geeft de herhaling aan. De twee laatste cijfers duiden op het objectnummer.

////////////////////////////////////



Figuur 26. Proefplan Gistel

Op basis van voorafgaande mestanalyse wordt de bemestingshoeveelheid berekend. Hierbij wordt getracht om de N-behoefte maximaal in te vullen zodat achteraf met zo weinig mogelijk kunstmest moest worden bijgesteld. De toegediende fosfaatbemesting per object wordt begrensd door de dosis bepaald in het bemestingsadvies (90 kg P₂O₅/ha). Op veld niveau wordt evenwel de maximale dosis die wettelijk op perceelsniveau toegelaten wordt (70 kg P₂O₅/ha) niet overschreden. De werkingspercentages voor ruwe drijfmest en stalmest zijn deze zoals vermeld in het Mestdecreet. De werkingspercentages voor DUF en DIG RDM worden berekend op basis van gemiddelde cijfers van ammoniakale N t.o.v. kjeldahl stikstof (i.c. resp. 3,2 / 4,7 = 68% en 2,5 / 3,9 = 64%). Het laagste bemestingsadvies (105 kg N/ha) wordt toegepast.



Tabel 40. Overzicht mesthoeveelheden en mest samenstelling proefveld Gistel voor bemesting

Object	N ¹⁵	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkingscoëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O
						Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam		
						(kg/ton VS)			%	(ton/ha)	(kg/ha)	
1 VDM(+RDM)	6,7	4,5	5,1	60	10	67	40				45	51
RDM (+VDM)	4,1	1,8	3,8	60	25	103	62				45	95
som						170	102	0	170	102	90	245
2 DUF VDM	3,7	0,59	3,5	68	41	152	103	0	152	103	24	245
3 DIG RDM	3,15	1,16	4,4	64	52	164	105	0	164	105	60	253
4 VDM (+DUF VDM)	6,7	4,5	5,1	60	10	67	40	0			45	51
DUF VDM(+VDM)	3,7	0,59	3,5	68	25	93	63	0			15	88
som						160	103	0	160	103	60	244
5 CRSM (+DUF VDM)	6,1	1,71	14	30	20	122	37	0			34	280
DUF (+CRSM)	3,7	0,59	3,5	68	27	100	68	0			16	95
som						222	105	0	222	105	50	375
6 VDM	6,7	4,5	5,1	60	20	134	80	25	159	105	90	240
7 RDM	4,1	1,8	3,8	60	42	172	103	0	172	103	76	246
8 kunstmest								105	105	105	0	230

¹⁵ Gemeten Kjeldahl stikstof (=ammoniakale stikstof + amidische stikstof (organisch gebonden))

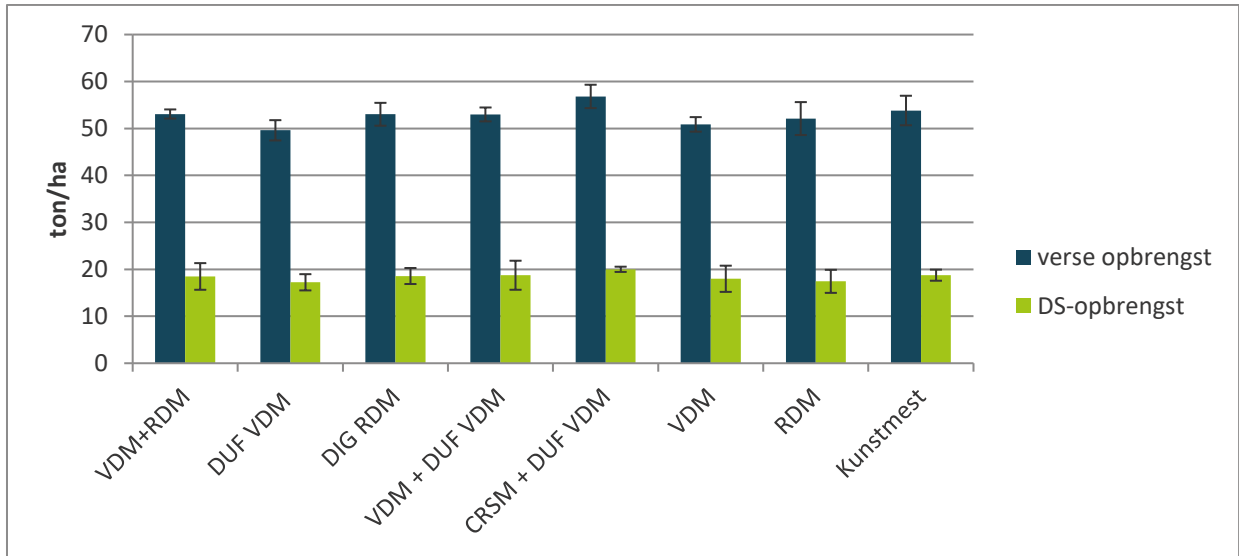


Tabel 41. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamstelling proefveld Gistel tijdens bemesting

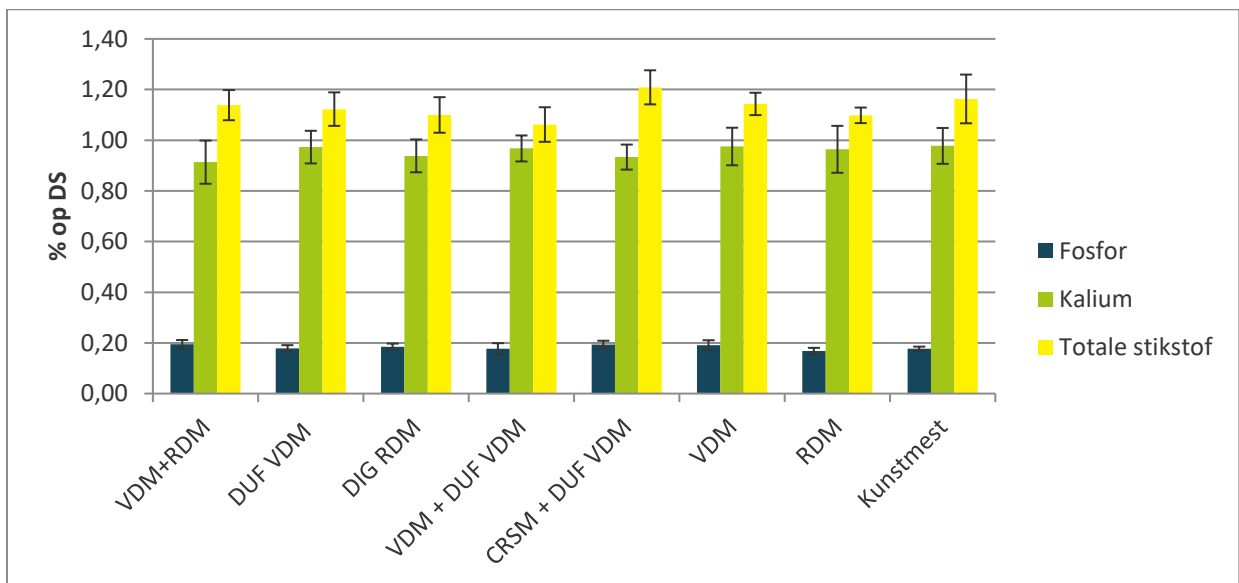
Object		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkings- coëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O
							Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam		
							(kg/ton VS)			%	(ton/ha)		
1	VDM(+RDM)	6,9	5,0	5,1	60	10	69	42				50	51
	RDM (+VDM)	4,2	1,5	3,8	60	25	105	63				37	95
	som						175	105	0	175	105	87	245
2	DUF VDM	3,8	0,5	3,5	68	41	157	107	0	157	107	19	246
3	DIG RDM	3,6	1,5	4,4	64	52	188	120	0	188	120	79	254
4	VDM (+DUF VDM)	6,9	5,0	5,1	60	10	69	42	0			50	51
	DUF VDM(+VDM)	3,8	0,5	3,5	68	25	96	65	0			12	88
	som						165	107	0	165	107	62	245
5	CRSM (+DUF VDM)	8,8	5,4	13,7	30	20	176	53	0			107	274
	DUF (+CRSM)	3,8	0,5	3,5	68	27	103	70	0			13	95
	som						279	123	0	279	123	120	369
6	VDM	6,9	5,0	5,1	60	20	139	83	25	164	108	100	240
7	RDM	4,2	1,5	3,8	60	42	177	106	0	177	106	62	245
8	kunstmest								105	105	105	0	230



dit verschil kan niet worden aangegeven. Naar opbrengst toe zijn geen significante verschillen (Duncan, $p=0.05$) waar te nemen tussen de verschillende objecten. Alle objecten kregen nagenoeg dezelfde hoeveelheid werkzame stikstof toegediend. Ieder product heeft dus dezelfde werking naar opbrengst van maïs of m.a.w. de verschillende producten kunnen geen verschillen veroorzaken in kwaliteit of kwantiteit bij maïs.



Figuur 28. Opbrengstgegevens, verse opbrengst en droge stofopbrengst (ton/ha), (gemiddelde \pm SD, n=4) maïs te Gistel, 2015



Figuur 29. Fosfor, kalium en kjeldahl-Ngehalte, (gemiddelde \pm SD, n=4) van maïs te Gistel, 2015



6.1.4 Veldproef maïs Westerlo

6.1.4.1 Inleiding

De uitvoering en opvolging van deze proefveld gebeurde door Hooibeekhoeve en Bodemkundige Dienst van België. Het betreft een perceel met een zandige textuur. Door analyse van de bouwvoor (0-23 cm) worden de resultaten bekomen zoals weergegeven in Tabel 43.

Tabel 43. Analyseresultaten standaardgrondontleding (0-23 cm) (extractiemiddel ammoniumlactaat) op 25/03/2015-locatie Westerlo

Parameter	Eenheid	Resultaat	Streefzone
Textuur		Zand	
pH	pH-KCl	4,8	5,3-5,7
Organische koolstof	% OC op droge grond	2,5	1,8-2,8
Fosfor	mg/100 g droge grond	23	12-19
Kalium	mg/100 g droge grond	19	12-19
Magnesium	mg/100 g droge grond	8	7-11
Calcium	mg/100 g droge grond	69	105-253
Natrium	mg/100 g droge grond	<0,9	3,2-6,4

Ter bepaling van het stikstofbestedingsadvies wordt op 25/03/2015 eveneens de stikstofvoorraad in het bodemprofiel tot 90 cm bepaald (Tabel 44).

Tabel 44. Nitraatvoorraad in het bodemprofiel tot 90 cm per laag van 30 cm op 25/03/2015-locatie Westerlo

Bodemlaag	Nitraat (kg NO ₃ -N/ha)	Ammonium (kg NH ₄ -N/ha)
0-30 cm	2	<4
30-60 cm	4	<4
60-90 cm	6	<4
0-90 cm	12	<12

Op basis van de nitraatvoorraad in combinatie met o.a. de verwachte mineralisatie, de perceelsgeschiedenis, de gewasbehoefte en op basis van de standaardgrondontleding wordt volgend stikstof- en fosforbestedingsadvies geformuleerd (Tabel 45).

Tabel 45. Stikstof en fosforbestedingsadvies-locatie Westerlo, 2015

Bestedingsadvies	Stikstof (kg N/ha)	Fosfor (kg P ₂ O ₅ /ha)
BDB	158	60
Inagro	173	60

Tabel 46. Overzicht staalnamedata en data teelthandelingen

Datum	Handeling
25/03/2015	bouwvoor- +N-analyse
21/04/2015	organische bemesting
10/05/2015	zaai maïs LG30218
20/05/2015	minerale bemesting ¹⁶
4-5/6/2015	N-analyse
7-8/7/2015	N-analyse
20/10/2015	oogst
21/10/2015	N-analyse

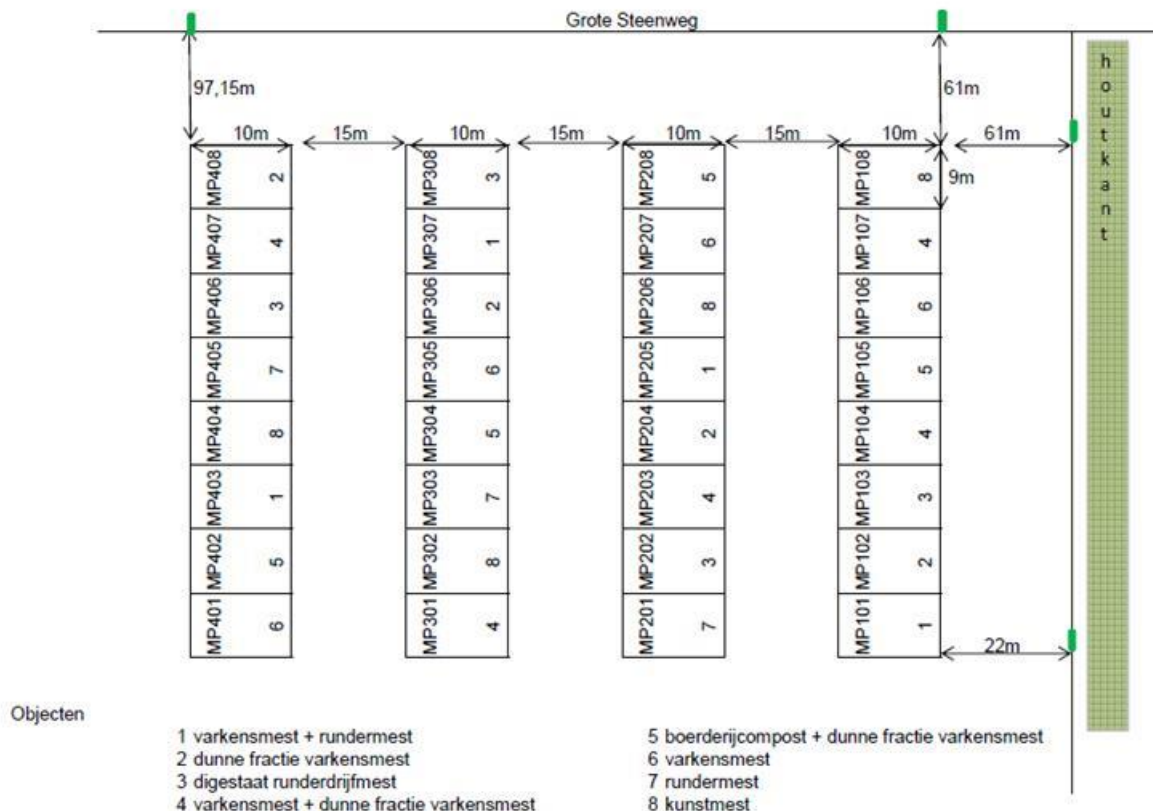
Bij het toedienen van de minerale bemesting wordt rekening gehouden met de snelle werkzaamheid hiervan. De redenering is dat indien de minerale bemesting gelijktijdig met de organische bemesting

¹⁶ De minerale meststoffen worden in de praktijk kort voor of na zaai gegeven. Ook in de proef werd deze manier van werken gehanteerd

zou plaatsvinden op 21/04/2015 (ca. 20 dagen voor de maïszaai), er een betekenisvol gedeelte verloren zou gaan voordat de maïs hiervan gebruik van zou kunnen maken. Dit in tegenstelling tot de organische meststoffen, die een tragere werking hebben. Bij de toediening van de minerale bemesting werd dus uitgegaan van een goede praktijk van de landbouwer.

6.1.4.2 Bemesting en veldproefopzet

De proef te Westerlo wordt aangelegd zoals aangeduid op het proefplan (Figuur 30). Per vakje is zowel het vaknummer, de herhaling als het objectnummer aangeduid (bv. MP402-5, zijnde vak 2 in herhaling 4 waarin object 5 is aangelegd).



Figuur 30. Proefplan veldproef Westerlo, 2015

Voorafgaand de organische bemesting worden de verschillende partijen mest die op het proefveld zouden worden aangewend, bemonsterd. Op basis van de resultaten van deze initiële mestanalyses, het N- en P-bemestingsadvies (158 kg N/ha en 60 kg P₂O₅/ha) wordt tot volgende dosissen en bijhorende verwachte N- en P-bemesting gekomen (Tabel 47). Hierbij wordt naast het bemestingsadvies ook rekening gehouden met de geldende fosfaatnormen. Indien mogelijk werd het N-bemestingsadvies van 158 kg werkzame N/ha ingevuld. Voor de behandelingen met varkensdrijfmest (behandelingen 1 en 6), en in mindere mate behandelingen 3, 5 en 7 (tabel 47), werd hier echter gestoten op de P-norm van 85 kg P₂O₅/ha. Voor deze behandelingen werd de P-norm gerespecteerd, en werd het N-bemestingsadvies niet volledig ingevuld om praktijkomstandigheden zo nauw als mogelijk te benaderen. Voor de veldproef van 2016 werd in samenspraak met de opdrachtgever beslist om in deze gevallen toch het volledige N-bemestingsadvies in te vullen, en indien nodig de P-norm te overschrijden.

Tabel 47. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Westerlo voor bemesting

Object		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werking- coëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O
							Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam		
							(kg/ton VS)			%	(ton/ha)	(kg/ha)	
1	VDM(+RDM)	5,8	3,8	4,3	60	16	93	56				61	69
	RDM (+VDM)	4,4	1,5	4	60	16	70	42				24	64
	som						163	98	0	163	98	85	133
2	DUF VDM	5,4	1,6	3,8	68	43	232	158	0	232	158	71	163
3	DIG RDM	3,2	1,2	3,7	64	66	208	133	0	208	133	77	244
4	VDM (+DUF VDM)	5,8	3,8	4,3	60	12	70	42	0			46	52
	DUF VDM(+VDM)	5,4	1,6	3,8	68	22	119	81	0			36	84
	som						188	123	0	188	123	82	135
5	CRSM (+DUF VDM)	5,9	2,2	10,6	30	10	59	18	0			22	106
	DUF (+CRSM)	5,4	1,6	3,8	68	35	189	129	0			57	133
	som						248	146	0	248	146	80	239
6	VDM	5,8	3,8	4,3	60	21	122	73	0	147	98	80	90
7	RDM	4,4	1,5	4	60	55	242	145	0	242	145	83	220



8	kunstmest					158	158	158	60	230
---	-----------	--	--	--	--	-----	-----	-----	----	-----

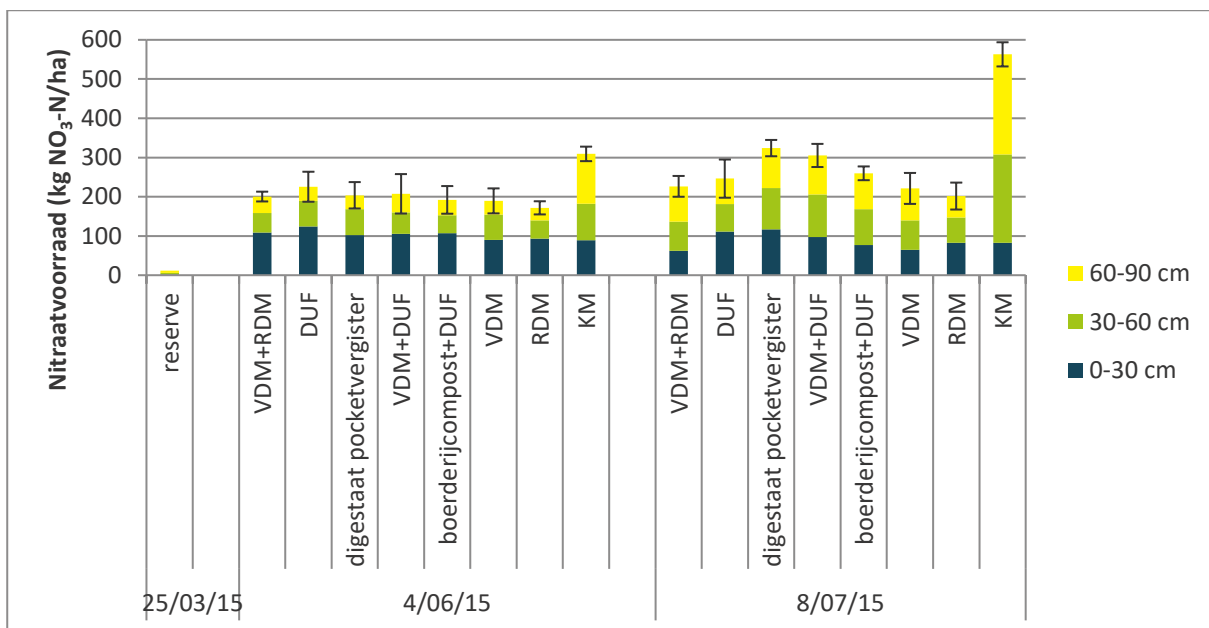
Tabel 48. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Westerlo tijdens bemesting

Object	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkingscoëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O	
						Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam			
						(kg/ton VS)			%	(ton/ha)	(kg/ha)		
1	VDM(+RDM)	5,8	4,4	4,3	60	16	93	56			70	69	
	RDM (+VDM)	4,0	1,4	4,0	60	16	64	38			23	64	
	som					0	157	94	0	157	94	93	133
2	DUF VDM	4,3	0,8	3,8	68	43	185	126	0	185	126	35	163
3	DIG RDM	3,4	1,4	3,7	64	66	224	144	0	224	144	92	244
4	VDM (+DUF VDM)	5,8	4,4	4,3	60	12	70	42	0		53	52	
	DUF VDM(+VDM)	4,3	0,8	3,8	68	22	95	64	0		18	84	
	som					0	164	106	0	164	106	71	135
5	CRSM (+DUF VDM)	7,7	5,2	10,6	30	10	77	23	0		52	106	
	DUF (+CRSM)	4,3	0,8	3,8	68	35	151	102	0		29	133	
	som					0	228	125	0	228	125	81	239
6	VDM	5,8	4,4	4,3	60	21	122	73	0	147	98	92	90
7	RDM	4,0	1,4	4,0	60	55	220	132	0	220	132	79	220
8	kunstmest								158	158	158	60	230



6.1.4.3 Nitraatmetingen

Ongeveer één en twee maanden na toediening van de mest wordt de reserve nitraatstikstof in het bodemprofiel tot 90 cm opnieuw bepaald. Op beide momenten verliep de stalname onder uitermate droge en moeilijke omstandigheden. Op 4 juni wordt tot 90 cm 172 tot 226 kg NO₃-N/ha gemeten in de objecten welke enkel organisch bemest zijn. Ongeveer de helft van de voorraad bevond zich in de bovenste 30 cm. Twee maand na toediening is de voorraad nagenoeg gelijk verdeeld over de 3 lagen. In het object dat mineraal bemest wordt, worden hogere waarden gemeten in de onderste bodemlagen. De minerale meststof wordt vollevelds toegediend na de zaai waardoor deze door de droogte beperkt infiltreerde en leidde tot een dunne aangerijkte 'korst'. Voor de stalname van de bovenlaag 0-30 cm vormde dit geen probleem. Echter voor de onderlagen 30-60 en 60-90 cm is door de zeer droge omstandigheden een zekere bijdrage van geconcentreerd stof uit deze 'korst' onvermijdelijk geweest. In de organisch bemeste objecten stelde dit probleem zich niet omdat de mest in deze objecten wordt toegediend en ingewerkt voor de zaai. Een finale meting van het nitraatresidu wordt na de oogst uitgevoerd op 21 oktober, de resultaten hiervan zijn weergegeven bij de bespreking van de gewasopbrengst.



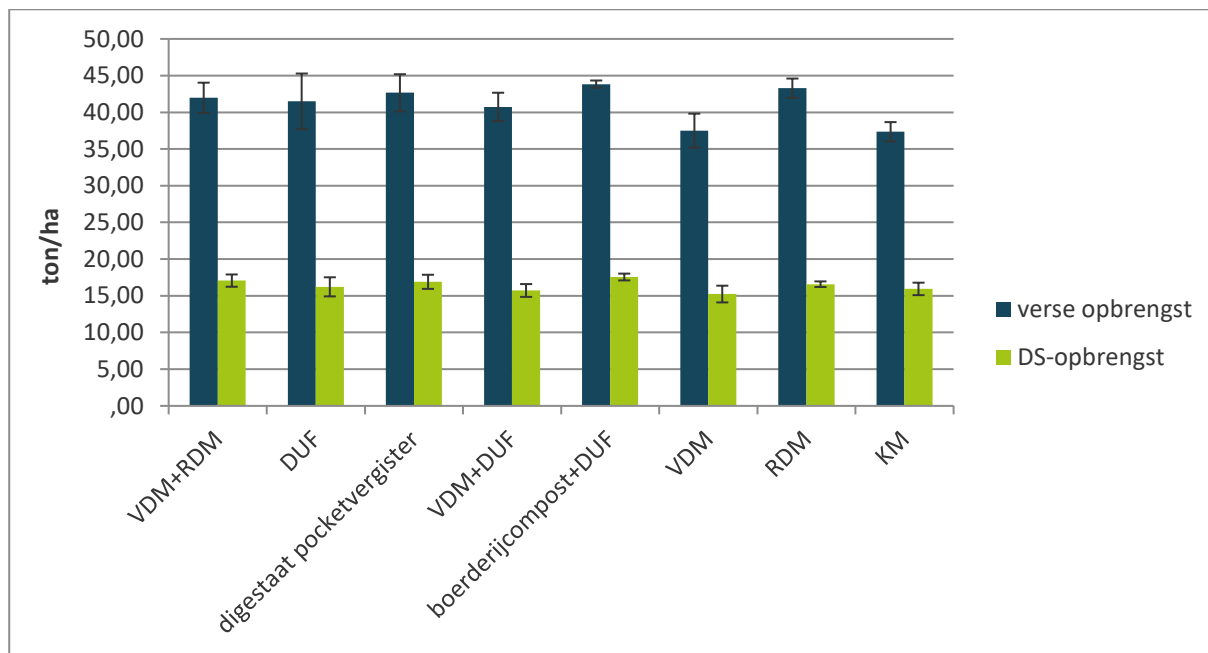
Figuur 31. Nitraatreserve op 25/03 en nitraatvoorraad (gemiddelde ± SD, n=4) in het bodemprofiel tot 90 cm per laag van 30 cm op 4/06 en 8/07-proefveld Westerlo, 2015

Bij de oogst worden per plot 2 rijen maïs van 7 m geoogst. Hiervan wordt op het veld de verse massa bepaald. Per plot wordt een representatief gewasstaal genomen waarop het droge stofgehalte alsook het N-, P- en K-gehalte wordt bepaald.

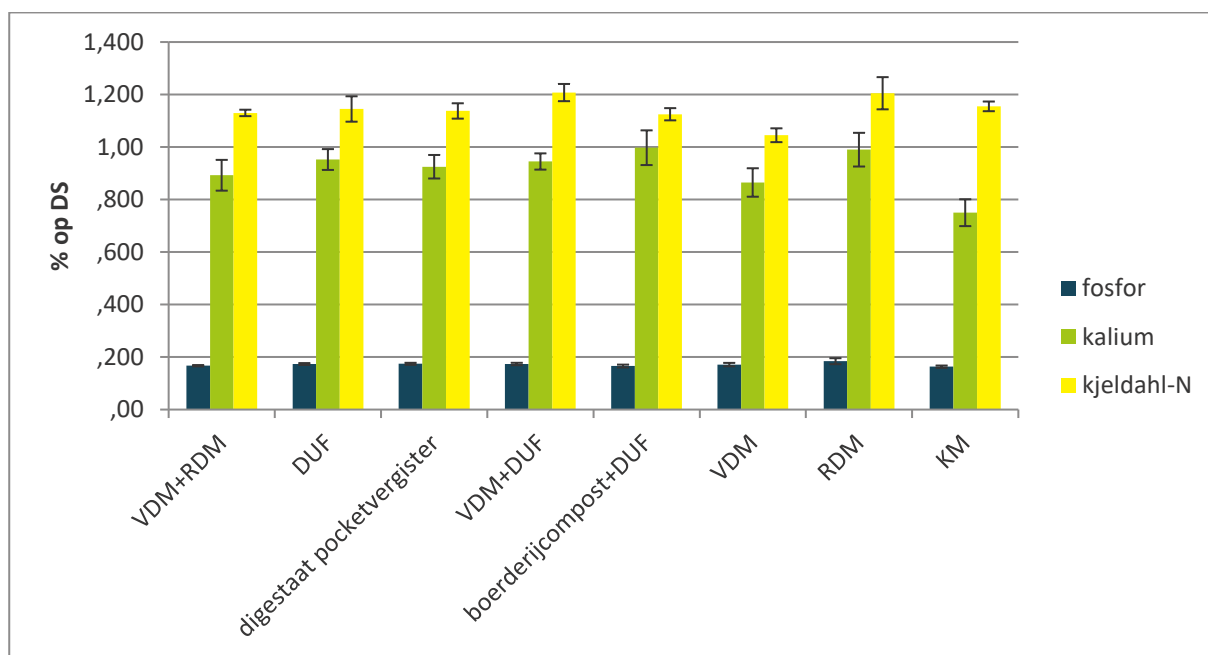


Tabel 49. Opbrengstresultaten en resultaten gewasanalyse maïs - locatie Westerlo, 2015 (Waarden gevolgd door eenzelfde letter verschillen niet significant op P=0.05 (Duncan test))

Object		Verse opbrengst (ton/ha)	Droge stofopbrengst (ton DS/ha)	% DS	% N op DS	% P op DS	% K op DS
1	VDM +RDM	42,0 a	17,1 a	41 ab	1,13 ab	0,17 ab	0,89 ab
2	DUF VDM	41,5 a	16,2 a	39 b	1,1 ab5	0,17 ab	0,95 a
3	DIG RDM	42,7 a	16,9 a	40 ab	1,14 ab	0,17 ab	0,93 ab
4	VDM +DUF VDM	40,7 a	15,7 a	39 b	1,21 a	0,17 ab	0,95 a
5	CRSM +DUF VDM	43,8 a	17,6 a	40 ab	1,13 ab	0,17 ab	1,00 a
6	VDM	37,5 a	15,2 a	41 ab	1,05 b	0,17 ab	0,87 ab
7	RDM	43,3 a	16,6 a	38 b	1,21 a	0,18 a	0,99 a
8	Kunstmest	37,3 a	15,9 a	43 a	1,16 ab	0,16 b	0,75 b



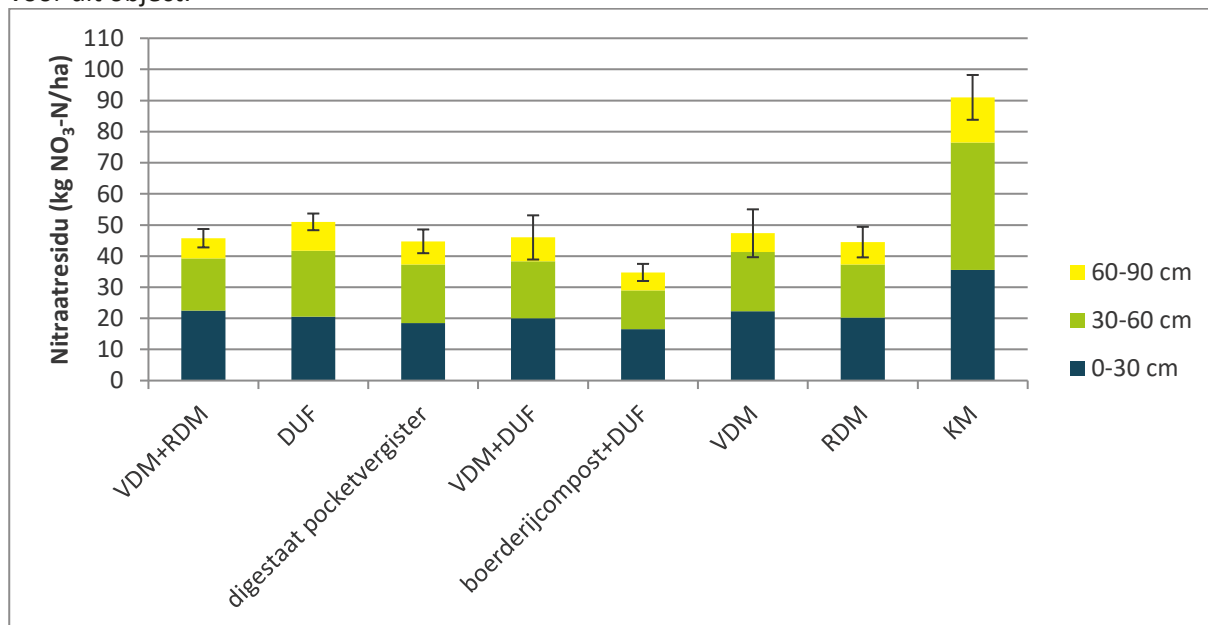
Figuur 32. Opbrengstgegevens, verse opbrengst en droge stofopbrengst (ton/ha), (gemiddelde ± SD, n=4) snijmaïs te Westerlo, 2015



Figuur 33. Fosfor-, kalium- en kjeldahl-N-gehalte (% op DS) (gemiddelde ± SD, n=4) van de snijmaïs te Westerlo, 2015

6.1.4.4 Opbrengst en plantkarakteristieken

De opbrengst van de objecten bemest met varkensdrijfmest of minerale meststoffen is het laagst. Het object bemest met varkensdrijfmest is het object met de laagste dosis totale en werkzame N (Tabel 47) maar door de inherente eigenschap van varkensdrijfmest ook een van de objecten met een hogere fosforgift. Het object met kunstmest dat met minerale meststof tot advies wordt bemest, is eveneens minder productief. In dit object kan het gewas de minerale meststoffen omwille van de droogte niet efficiënt benutten wat reeds vroeg op het seizoen merkbaar is bij en bevestigd wordt in de bepaling en de resultaten van de nitraatvoorraad in het bodemprofiel tot 90 cm. Ook bij de oogst in oktober is het nitraatresidu het hoogst voor dit object.



Figuur 34. Nitraatresidu op 21/10/2015 (gemiddelde ± SD, n=4) (kg NO₃-N/ha, 0-90 cm) na teelt van snijmais, locatie Westerlo, 2015

6.1.4.5 Conclusie

Het object bemest met boerderijcompost en dunne fractie toonden een wat lager nitraatresidu dan de overige objecten met organische bemesting. Dit object toonde een net wat hogere verse en droge stofopbrengst en toonde het minste variatie tussen de verschillende herhalingen.

6.2 ANALYSE VAN DE VELDPROEVEN IN 2015

Overheen de veldproeven worden verschillende bemestingen uitgevoerd in objecten. De mestproducten die voor de bemesting worden aangewend vertonen verschillen tussen de veldproeven uitgevoerd door de verschillende praktijkcentra. Bovendien kunnen er verschillen waargenomen worden tussen het ogenblik van staalname in de opslag en deze bij effectieve bemesting. Dit illustreert de variabiliteit van de gebruikte producten. De analyse van de veldproeven 2015 is vooral bedoeld om evaluatie van het eerste jaar veldproeven door te voeren en om eventueel de veldproeven in 2016 bij te sturen. In dit opzicht wijkt de analyse van de veldproeven 2016 (verder) af t.o.v. de analyse in 2015 omdat de analyse in 2016 vooral ook slaat op het halen van de resultaten uit beide jaren veldproeven en niet zozeer op voorbereiding van nog een jaar veldproeven.

6.2.1 Inleiding

In 2015 worden 4 veldproeven aangelegd verspreid over Vlaanderen. In Tabel 50 wordt een overzicht gegeven van de verschillende teelten en texturen die worden onderzocht. In dit hoofdstuk zal men dieper ingaan op de relatie tussen bemesting, bodem en gewas.



Tabel 50. Proefvelden aangelegd in 2015

Teelt	Textuur	Plaats
Bloemkool	Zandleem	Kortemark
Aardappel	Zandleem	Roeselare
Maïs	Klei	Gistel
Maïs	Zand	Westerlo

6.2.2 N-werkzaamheid

Effectieve werkzaamheid is moeilijk af te leiden uit 1 jaar veldproeven : de oogstopbrengsten vertonen geen uitgesproken significante verschillen ten aanzien van de KM behandeling evenals de nitraatresidu's vertonen weinig verschillen op de diverse proeflocaties. Voor de veldproef te Westerlo, is de oogst eveneens statistisch gelijk overheen de behandelingen en algemeen onder verwachting door slechte weersomstandigheden (droogte).

6.2.3 Organische stof toediening

Op basis van de analyses op mestproducten tijdens bemesting bij aanleg van de proefvelden door Inagro, kan de organische stof toediening berekend worden per object.

De gegevens in Tabel 35 geven duidelijk aan dat zoals verwacht het object CRSM+DUF VDM de grootste leverancier is van organisch materiaal. In Westerlo is dit niet zo aangezien het aandeel CRSM lager lag. Indien men kijkt naar de andere objecten met DUF VDM (DUF VDM en VDM+DUF VDM) is het duidelijk dat deze de laagste hoeveelheid organisch materiaal toegediend worden. Dit komt door het lage gehalte aan OS in DUF VDM en de limitering van fosfaat voor VDM. RDM levert het meest organische stof aan, na CRSM+DUF VDM. Dit gebeurt in mindere mate door DIG RDM. Dit komt door het lagere organische stofgehalte (door de voorafgaande vergisting), maar wordt gedeeltelijk gecompenseerd door het hogere tonnage dat doorgaans bij DIG RDM mag worden opgevoerd.

Tabel 51. De organische stof toediening (ton OS/ha) per object door toedoen van bemesting in de verschillende veldproeven in 2015

Objecten	Bloemkool, Kortemark	Aardappelen, Roeselare	Maïs, Gistel	Maïs Westerlo
VDM+RDM	1,6	1,6	2,6	2,2
DUF VDM	0,8	0,6	0,5	0,6
DIG RDM	2,1	2,2	2,4	3,1
VDM+ DUF VDM	1,1	0,7	1,0	1,1
CRSM+ DUF VDM	5,2	4,9	3,9	2,1
VDM	0,8	0,5	1,3	1,4
RDM	4,0	2,7	3,3	4,0

De zorg om voldoende organische stof aan te leveren aan de bodem om zodoende de bodemvruchtbaarheid te bestendigen kan in feite alleen door middel van RDM, DIG RDM of CRSM in de huidige proefveld opzet. Mogelijkheden om combinaties met dikke fracties vanuit bijvoorbeeld varkensdrijfmest en digestaat aan te wenden, zijn gelimiteerd met betrekking tot een te hoge fosfaat gift maar ook Cu en Zn toediening kan een probleem vormen (zie 1.6.9.).



6.2.4 Conclusie veldproeven 2015

Om de werkelijke werkzaamheid van de mestproducten correct te kunnen inschatten is minstens een meerjarig veldproefonderzoek en resultaatverwerking nodig (zie verder). Doordat de bemestingsregimes hebben plaatsgevonden op basis van ingeschatte werkzame stikstof, kregen de referentie (KM ; kunstmest) behandelingen stevast een lagere N_{tot} toegediend dan de objecten op basis van andere bemestingsproducten. De uiteindelijke verschillen in totale stikstof toediening tussen objecten binnen éénzelfde veldproef zijn te groot (tot factor 2) om uit te gaan van een lineair verloop van de “teelt respons curve”.

6.3 VELDPROEVEN 2016

De veldproeven worden in 2016 ook aangelegd op verschillende bodemtexturen, net als in 2015. De objecten worden gedurende de 2 jaren op dezelfde locatie en dezelfde subplots aangelegd. Het effect van de behandelingen van het jaar voordien zal ook zo kunnen voorkomen in de praktijk, vandaar dat dit ook wordt opgenomen in de proef. In 2016 worden de teelten gras, maïs en prei meegenomen in de proef. Er wordt een bemestingsadvies geformuleerd door Inagro en BDB. Het laagste van beide adviezen wordt weerhouden en toegepast. Het is belangrijk dat de producten worden uitgetest onder omstandigheden die voor de meeste landbouwbedrijven herkenbaar zijn. De veldproeven worden aangelegd door de betrokken praktijkcentra volgens de GEP-voorschriften¹⁷.

Onderstaande tabel (Tabel 52) geeft aan hoe de teeltopvolging eruit ziet en welke organisatie instaat voor de praktische uitvoering ervan.

Tabel 52. Overzicht veldproeven per grondsoort, praktijkcentrum (uitvoerder) en teelt

	Jaar 2015	Jaar 2016	Uitvoerder	Locatie
Zandgrond	gras-maïs	gras-maïs	Hooibeekhoeve+BDB	Westerlo
Zandgrond	bloemkool	prei	Inagro	Kortemark
Kleigrond	maïs	gras	Inagro	Gistel
Zandleemgrond	aardappel	maïs	Inagro	Roeselare

Op basis van voorafgaande mestanalyse wordt de bemestingshoeveelheid berekend. Hierbij wordt getracht om de N-behoefte maximaal in te vullen zodat achteraf met zo weinig mogelijk kunstmest moest worden bijgepast. Bij toepassen van de producten wordt een bijkomend meststaal genomen om effectief te weten hoeveel nutriënten bij de vooropgestelde dosis worden toegediend. De werkingscoëfficiënten die in 2016 worden gebruikt (vastgelegd volgens stuurgroep op 16/09/2015) zijn:

Tabel 53. Werkingscoëfficiënten voor veldproeven 2016

Product	Akkerbouwteelt	groenteteelt ¹⁸
Ruwe drijfmest	60%	60%
DUF VDM centrifuge	100%	80%
Digestaat van pocketvergisting	100%	80%
Vaste gecomposteerde rundermest	30%	30%

In overleg met de opdrachtgever wordt besloten om voor het tweede proefjaar bij de berekening van de mestdosissen de volledige N-vraag van het gewas in te vullen, en geen rekening te houden met de geldende normen voor o.a. fosfaat. Hierdoor verschilt de hoeveelheid toegediende fosfaat en kalium soms sterk van de bemestingsbehoeften, en worden ook de geldende normen in sommige gevallen overschreden.

¹⁷ GEP = Good Experimental Practices

¹⁸ Het voorstel van 80% is een inschatting voor aanleg van veldproeven in 2016 en dient te worden bijgesteld met verder opgedane kennis uit incubatieproeven die parallel aanliggen in 2016. De ervaring was dat de gebruikte werkzaamheid van 68% in de veldproeven in 2015 te laag was.

De opvolging van minerale N (nitraat- en ammonium-N) in het bodemprofiel (0-90 cm) doorheen het seizoen (1 meting bij aanvang en 3 op latere tijdstippen), zijn nodig om enerzijds de mineralisatie en stikstofefficiëntie, en anderzijds de uitspoeling tijdens de winter op te volgen (i.e. milieukundig effect). Voor de aanvang van de proef en na 2 proefjaren, wordt een bouwvooranalyse (pH, %C, P, K, Ca, Mg, Na, sporenelementen) uitgevoerd. Bij de oogst wordt een opbrengstbepaling uitgevoerd en gebeurt een gewasanalyse van de totale plant met bepaling van DS, P, N en K per herhaling. De staalnames gebeuren volgens compendium. De analyses gebeuren in geaccrediteerde labo's volgens gestandaardiseerde analysemethodes.

Bij balansberekeningen geven P en K de toename van deze elementen in de bodem, of de afname (uitmijning) van deze elementen in de bodem. Voor N zijn deze balansen moeilijker direct te duiden. Immers, het minerale N gehalte in de bodem wordt niet alleen bepaald door bemesting en gewasopname, maar ook door N transformatie- en verliesprocessen, met name mineralisatie, immobilisatie, NH₃ vervluchtiging, denitrificatie, en N uitspoeling. Het is onmogelijk (en ook niet de bedoeling van dit onderzoek) om al deze processen effectief te meten in de veldproef. Er worden nochtans wel simulaties uitgevoerd waarbij deze processen zullen worden ingeschat, en die het mogelijk zullen maken de N verliezen te begroten.



6.3.1 Veldproef prei Kortemark

6.3.1.1 Inleiding

Deze proef wordt uitgevoerd door Inagro. Door bemonstering van de bouwlaag 0-30 cm wordt uitgevoerd bij aanleg van de proef in 2015 (Tabel 18). Het betreft een perceel met een eerder lichte zandleem textuur. Daarnaast wordt per object voor aanleg van het 2^{de} proefjaar een N-profielanalyse uitgevoerd per object (Tabel 54).

Tabel 54. Minerale stikstofanalyse in het bodemprofiel per object op 14/04/2016

Obj	Behandeling	Laag	Nitraat (kg/ha NO ₃ -N)	Ammonium (kg/ha NH ₄ -N)
1	VDM RDM	0-30 cm	7	<4
		30-60 cm	10	<4
		60-90 cm	18	<4
		0-90 cm	35	<12
2	DUF VDM	0-30 cm	7	4
		30-60 cm	12	5
		60-90 cm	17	<4
		0-90 cm	36	13
3	DIG RDM	0-30 cm	7	<4
		30-60 cm	11	<4
		60-90 cm	13	<4
		0-90 cm	31	<12
4	VDM DUF VDM	0-30 cm	7	<4
		30-60 cm	10	<4
		60-90 cm	11	<4
		0-90 cm	28	<12
5	CRSM DUF VDM	0-30 cm	7	<4
		30-60 cm	10	<4
		60-90 cm	15	<4
		0-90 cm	32	<12
6	VDM	0-30 cm	8	<4
		30-60 cm	12	<4
		60-90 cm	13	<4
		0-90 cm	33	<12
7	RDM	0-30 cm	7	<4
		30-60 cm	12	<4
		60-90 cm	13	<4
		0-90 cm	32	<12
8	Kunstmest	0-30 cm	12	<4
		30-60 cm	15	<4
		60-90 cm	22	<4
		0-90 cm	49	<12

Tabel 55. Adviesformulering voor prei

Bemestingsadvies	Stikstof (kg N/ha) (opgedeeld in fracties)	Fosfor (kg/ha)
Inagro	204 (148+56)	0
BDB	210 (110+50+50)	0

Het laagste bemestingsadvies om de veldproef mee aan te leggen is 204 kg N/ha. Omdat in 2015 wordt vastgesteld dat dit perceel over een redelijke mineralisatiecapaciteit beschikt, wordt veiligheidshalve enkel de eerste fractie (148 kg N/ha) toegepast. Bij de tussentijdse stalname wordt dan geëvalueerd of bijbemesting zinnig zou zijn om het volledige N-advies alsnog in te vullen.

Volgende handelingen worden uitgevoerd op het proefveld:

////////////////////////////////////

Tabel 56. Overzicht staalnamedata en data teelthandelingen

Datum	Actie
14/04/2016	Minerale N-staalname
11/05/2016	Toepassing CRSM
24/05/2016	Toepassing mestproducten
Eerste week juni	Planten prei ras Krypton
25/07/2016	Minerale N-staalname bijbemesting
4/11/2016	Opbrengstbepaling
8/11/2016	Minerale N-staalname bij oogst
3/11/2016	Bouwvooranalyse

6.3.1.2 Bemesting en veldproefopzet

Het proefplan in 2016 is identiek als dit in 2015 (Figuur 18).



Tabel 57. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Kortemark voorafgaand aan de bemesting (prognose) (met VS=verse stof, WC=werkingscoëfficiënt Org= organisch, KM=kunstmest, tot=totaal en wzm=werkzaam)

Object		Org mest				Dosis (ton/ha)	N-org		N-KM	N toediening		P ₂ O ₅ * tot	K ₂ O tot	
		N	P ₂ O ₅ *	K ₂ O	WC		Ntot	Nwzm		tot	wzm			
		(kg/ton VS)			%		(kg/ha)							
1	VDM	6	5,2	3,8	60	15	90	54	geen	90	54	78	57	
	RDM	3,9	1,14	5,1	60	43	168	101	geen	168	101	49	219	
	som						258	155		258	155	122	276	
2	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	80	62	192	154	geen	192	154	16	173	
3	DIG RDM	4,7	1,78	5,9	80	41	193	154	geen	193	154	73	218	
4	VDM	6	5,2	3,8	60	15	90	54	geen	90	54	78	51	
	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	80	40	124	99	geen	124	99	10	112	
	som						214	153		214	153	88	163	
5	CRSM	8,9	5,8	20	30	25	223	67	geen	223	67	145	300	
	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	80	35	109	87	geen	109	87	9	98	
	som						332	154		332	154	154	398	
6	VDM	6	5,2	3,8	60	42	252	151	geen	252	151	218	160	
7	RDM	3,9	1,14	5,1	60	66	257	154	geen	257	154	75	337	
8	kunstmest								148	148	148	0		

*P₂O₅ giften zijn in een aantal gevallen hoger dan de wettelijke norm. In de stuurgroep wordt door de opdrachtgever gesteld dat de stikstof volledig met dierlijke mest mocht worden ingevuld, onafhankelijk van de P inhoud



Tabel 58. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Kortemark tijdens de bemesting (met VS=verse stof, WC=werkingscoëfficiënt Org= organisch, KM=kunstmest, tot=totaal en wzm=werkzaam)

Object		Org mest				N-org		N-KM	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	WC	Dosis	Ntot	Nwzm	tot	wzm	tot	tot		
		(kg/ton VS)			%	(ton/ha)	(kg/ha)							
1	VDM	4,6	3,3	2,9	60	15	69	41	geen	69	41	50	44	
	RDM	3,2	1,3	5,6	60	43	138	83	geen	138	83	56	241	
	som						207	124		207	124	106	285	
2	DUF VDM*	5,6	8,2	2,7	80	62	347	278	geen	347	278	508	167	
3	DIG RDM	4,3	1,6	5,4	80	41	176	141	geen	176	141	66	221	
4	VDM	4,6	3,3	2,9	60	15	69	41	geen	69	41	50	44	
	DUF VDM*	5,6	8,2	2,7	80	40	224	179	geen	224	179	328	108	
	som						293	220		293	220	378	152	
5	CRSM	9,1	6,4	21,9	30	25	228	68	geen	228	68	160	548	
	DUF VDM*	5,6	8,2	2,7	80	35	196	157	geen	196	157	287	95	
	som						424	225		424	225	447	643	
6	VDM	4,6	3,3	2,9	60	42	193	116	geen	193	116	139	122	
7	RDM	3,2	1,3	5,6	60	66	211	127	geen	211	127	86	370	
8	kunstmest								154	154	154	0		

*Bij toedienen van de dunne fractie wordt vastgesteld dat het product een redelijk dikke consistentie had, maar volgens de mestvervoerder is het effectief dunne fractie. Uit analyse achteraf bleek wel een hoog P₂O₅-gehalte aanwezig te zijn.

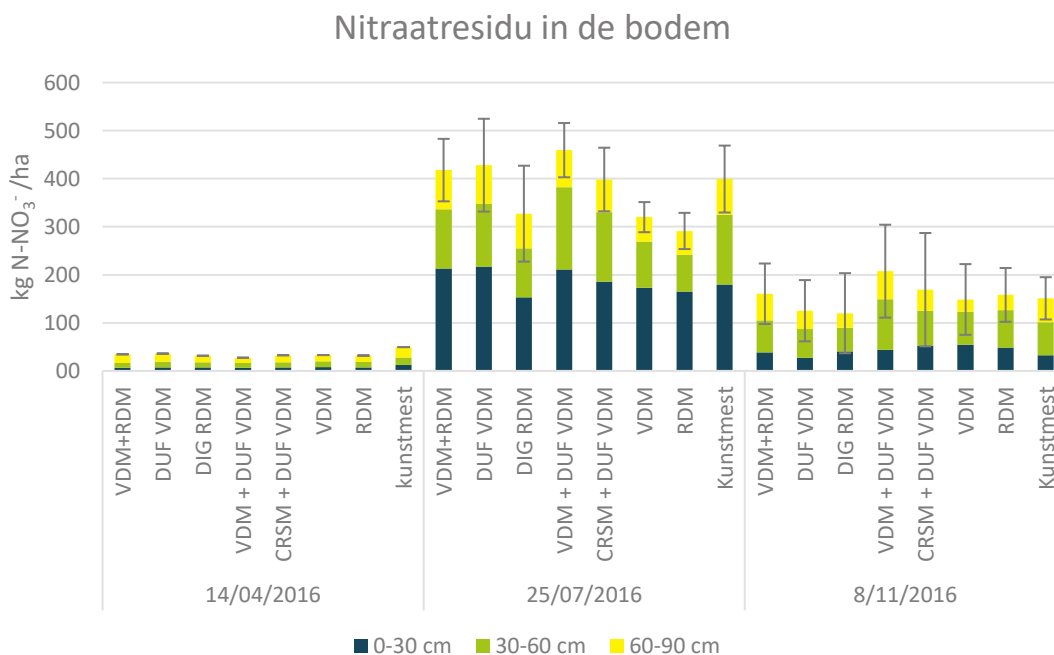


6.3.1.3 Stikstofmetingen in de bodem

De tussentijdse bodemstaalname geeft zeer hoge nitraatgehaltes in de bodem (Tabel 112 en Tabel 113, zie bijlage). De proef lag aan op een groenteperceel waar frequent dierlijke mest toegepast wordt (vorig jaar in het kader van dezelfde bemestingsproef). De oogstresten van voorgaande teelten voor industriële vermarkting, bevatten ook veel instabiel organisch materiaal wat tot een stevige mineralisatie kan leiden. Bovendien neemt prei in de eerste weken -de periode voorafgaand aan de staalname – slechts weinig minerale N op. Op basis van de analyseresultaten van de staalname op 25/07/2016 (Tabel 112) wordt besloten om de geadviseerde bijbemesting van 50 kg N/ha (op basis van de eerste N-profielanalyse) in geen enkel object nog uit te voeren. Dergelijke hoge nitraatconcentraties in het midden van het teeltseizoen zijn nochtans niet uitzonderlijk. Zo vond Willekens (2016) bij opvolging van een groot aantal percelen met prei een zeer sterke en consistente netto mineralisatie (met duidelijk priming effect toegeschreven aan toediening van minerale N meststof) in het eerste deel van het groeiseizoen, met daardoor zeer hoge minerale N concentraties in de bodem, gevolgd door een sterke netto immobilisatie in het tweede deel van het groeiseizoen. Bij selectie van dit veld in 2015 kon dit niet worden ingeschat. Bijgevolg worden op dit veld in de sperperiode te hoge nitraatresidu's gemeten t.o.v. wat te verwachten valt voor deze gewassen (bloemkool en prei).

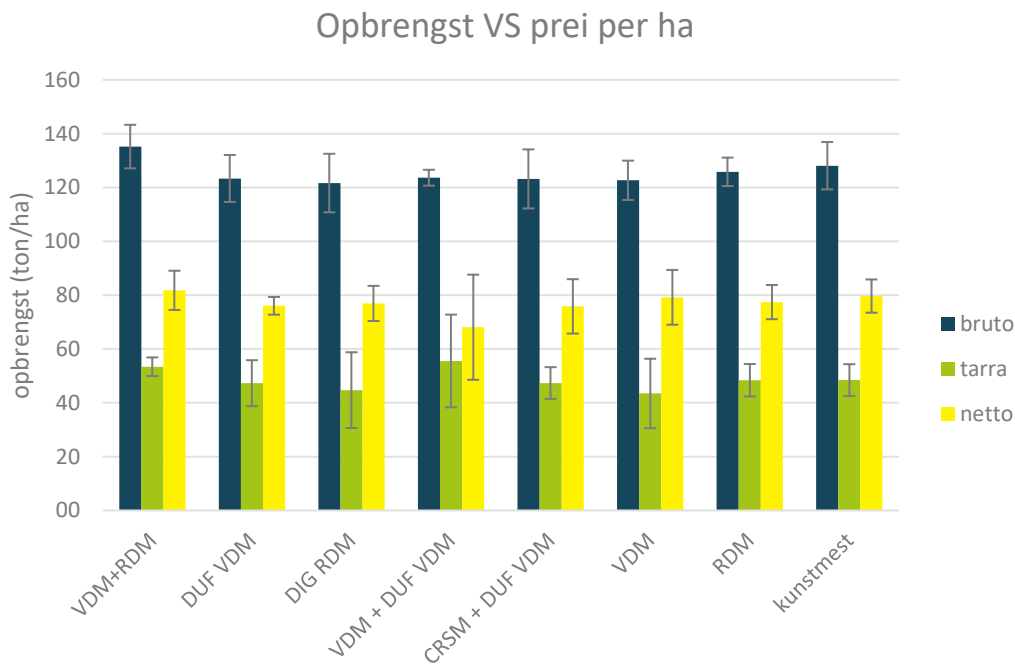
Belangrijk om weten is dat ook dit perceel in het voorjaar (na toedienen van de organische bemesting) zeer veel neerslag over zich kreeg. De N uit de meststoffen is op dat ogenblik voornamelijk in de bodem aanwezig onder de vorm van ammonium gezien er nog maar recent bemest is, wat de uitspoelingsverliezen beperkt hield (voor een rijke zandgrond). De zware neerslag eind mei leidde wel tot zuurstofarme omstandigheden in de bodem kort daarna. De hoge ammoniumgehalten in de bodem later tijdens de teelt zijn moeilijk te verklaren.

Staalname (Tabel 113) gebeurde 2 maand na toediening producten. In de bovenste laag kan dit een gevolg kunnen zijn van inwerken van organisch materiaal gecombineerd met een tijdelijke vertraging van de nitrificatie direct na de zware regenval, wat tijdelijk voor anaerobe condities in de bodem kan hebben gezorgd. In de diepere lagen zijn de hogere ammoniumgehalten moeilijk te verklaren.

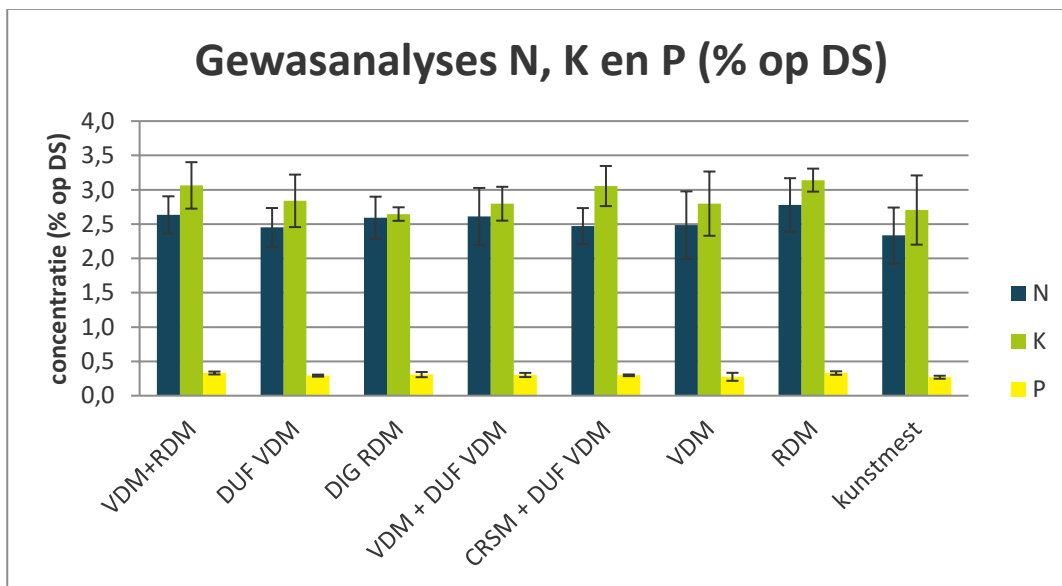


Figuur 35. Evolutie van nitraatstikstof (gemiddelde ± SD, n=4) voor de verschillende objecten prei Kortemark 2016

6.3.1.4 Opbrengst en plantkarakteristieken



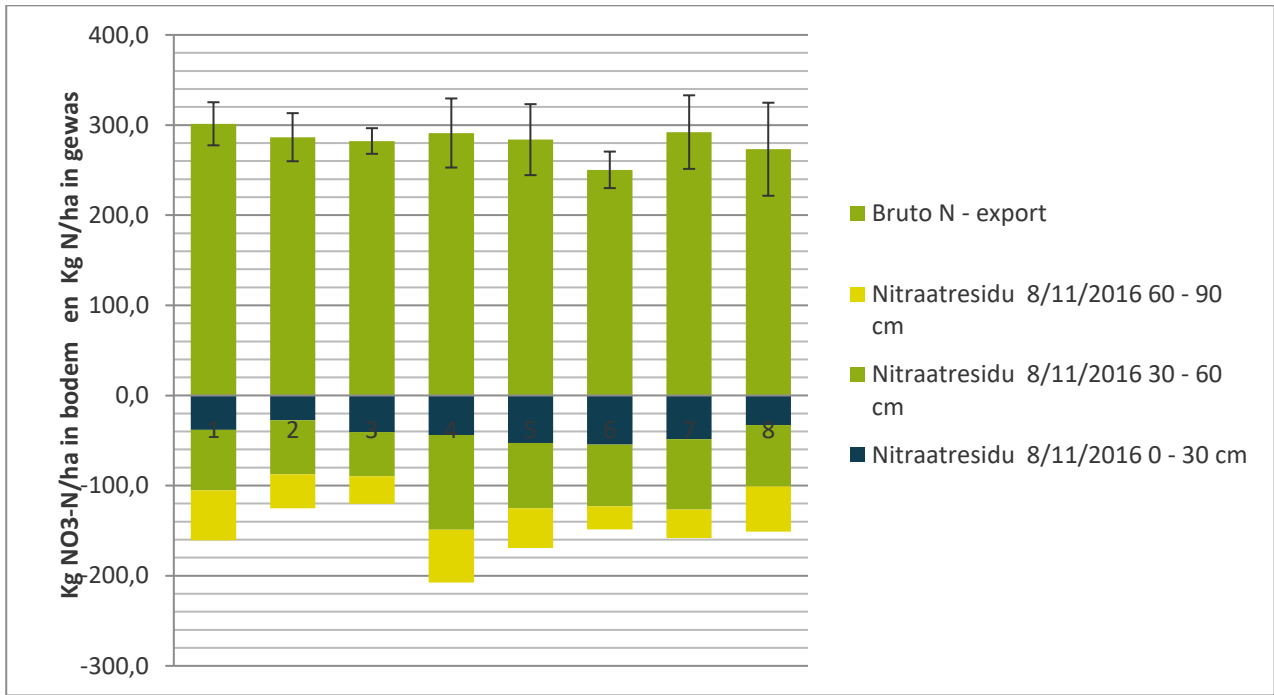
Figuur 36. Opbrengstgegevens (gemiddelde \pm SD, n=4) prei voor en na kuisen te Kortemark 2016



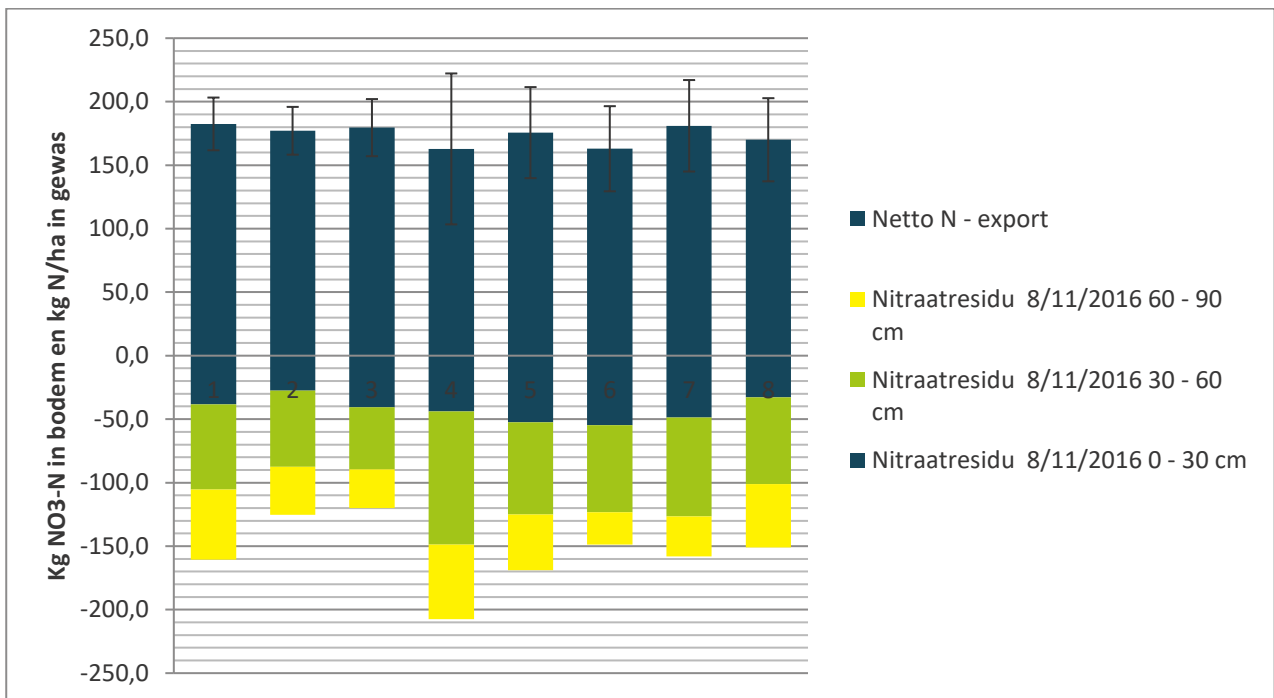
Figuur 37. Gewasanalyse (gemiddelde \pm SD, n=4) voor prei Kortemark 2016

Gewasexport voor N, P en K is ook samengevat in Tabel 115 en Tabel 120. Hierbij wordt zowel de export aangegeven bruto (volledige plant) als netto (zoals aanlevering voor de veiling).





Figuur 38. Overzicht van minerale N (kg/ha) geëxporteerd door het gewas voor kuisen op 4/11/2016 , en residuele kg NO3-N/ha in de bodem op 8/11/2016 (gemiddelde ± SD, n=4)



Figuur 39. Overzicht van minerale N (kg//ha) geëxporteerd door het gewas na kuisen op 4/11/2016 , en residuele kg NO3-N/ha in de bodem op 8/11/2016 (gemiddelde ± SD, n=4)



De bouwvooranalyse bij het einde van de proef in Tabel 59 is uitgevoerd op een mengstaal van de 4 herhalingen, waardoor dus geen standaardafwijkingen kunnen gegeven worden en ook geen statistische analyse van deze data mogelijk is.

Tabel 59. Bouwvooranalyse (extractiemiddel ammoniumlactaat, tenzij anders vermeld) bij einde proef (3/11/2016)

Obj	Beschrijving	pH-KCl	%OC	Ca*	Mg*	Na*	K*	P*	P**	Fe*	Cu*	Zn*	Al*	S*
1	VDM + RDM	5,96	1,01	107,62	12,58	7,10	17,65	43,07	9,40	41,68	0,26	1,98	37,52	1,60
2	DUF VDM	5,65	1,09	100,42	10,48	2,04	13,11	46,67	9,34	40,08	0,31	2,20	46,96	1,94
3	DIG RDM	5,78	1,14	103,02	11,69	4,04	17,48	46,34	8,77	45,20	0,29	2,09	45,92	1,99
4	VDM + DUF VDM	5,86	0,89	86,63	9,22	1,54	12,12	39,60	8,55	38,48	0,25	1,82	41,52	1,86
5	CRSM + DUF VDM	5,53	1,16	99,17	10,82	2,75	18,66	45,63	11,04	39,28	0,29	2,13	50,08	2,09
6	VDM	5,62	1,18	106,14	13,24	2,00	17,64	44,80	11,28	51,04	0,27	2,17	34,96	1,57
7	RDM	5,70	1,12	102,27	10,91	0,84	15,71	43,62	9,53	45,92	0,26	2,04	38,48	1,47
8	kunstmest	5,77	1,24	114,32	13,80	1,69	14,64	43,15	8,47	57,60	0,26	1,94	43,12	1,80
Gemiddelde		5,73	1,10	102,45	11,59	2,75	15,88	44,11	9,55	44,91	0,27	2,05	42,32	1,79

* mg/100 g droge grond

** mg/kg droge GR CaCl₂

De analysewaarden op het einde van de proef verschillen nauwelijks met de gemeten beginwaarde, met uitzondering van het aluminiumgehalte. In alle objecten zien we een stijging van dit gehalte met een factor 4. Gezien ook het kunstmestobject dezelfde stijging vertoont, kan dit niet toegeschreven worden aan de uitgevoerde bemestingsbehandelingen. Een conclusie in dit proefopzet kan niet gevonden worden.

6.3.1.5 Conclusie

Tussen de verschillende objecten zijn statistisch (Duncan, $p = 0.05$) nauwelijks verschillen in opbrengst merkbaar (

Tabel 118). Enkel de netto opbrengst behaald in object 1 is significant hoger dan de netto opbrengst behaald in object 4. Bij oogst kan de prei in alle objecten nog over voldoende minerale N beschikken.

Opbrengstverschillen zijn niet te wijten aan verschillen in N-beschikbaarheid (gelet op het droge najaar misschien wel aan een lokaal vochtgebrek). Ook N, P en K opnames door de verschillende objecten vertoonden weinig verschillen (Tabel 117). Een verschillende kaliubemesting kan op dit perceel met voldoende kali voorraad geen gevolg hebben voor een opbrengstverschil.



6.3.2 Veldproef maïs Roeselare

6.3.2.1 Inleiding

Deze proef wordt uitgevoerd door Inagro. De bemonstering van de bouwlaag 0-30 cm wordt uitgevoerd in maart 2015 (zie Tabel 27). Het betreft een perceel met een zandleem textuur.

Op 18/04/2016 is een bodemstaal genomen van de 3 lagen: 0-30, 30-60 en 60-90cm (Tabel 60). Aan de hand hiervan wordt een bemestingsadvies opgesteld door Inagro en BDB (Tabel 61).

Tabel 60. Analyseresultaten stikstofanalyse op 18/04/2016

Laag	Nitraat (kg/ha NO ₃ -N)	Ammonium (kg/ha NH ₄ -N)
0-30 cm	3	<4
30-60 cm	2	<4
60-90 cm	6	<5

Tabel 61. Adviesformulering

Bemestingsadvies	Stikstof (kg/ha)	Fosfor (kg/ha)
Inagro	180	70
BDB	165	70

In Tabel 62 is het teeltverloop van de proef in maïs in Roeselare te vinden.

Tabel 62. Overzicht staalnamedata en data teelthandelingen te Roeselare

Datum	Actie
18/04/2016	Bouwvoor + N-analyse voor bemestingsadvies
13/05/2016	Toepassing mestproducten
14/05/2016	Zaai (100 000 planten/ha) ras sunshinos
19/05/2016	Toediening kunstmest
27/07/2016	Tussentijdse bodemstaalname
26/09/2016	Opbrengstbepaling bij oogst
01/10/2016	Staalname nitraatresidu + mengstaal bouwvoor

6.3.2.2 Bemesting en veldproefopzet

Het proefplan in 2016 is identiek als dit in 2015 (Figuur 22). Op basis van voorafgaande analyse van de mestproducten (Tabel 63) en het nitraatgehalte in de bodem wordt de bemestingshoeveelheid berekend. Het bemestingsadvies van de Bodemkundige Dienst bedroeg 165 eenheden N/ha, terwijl Inagro een advies gaf van 180 eenheden N/ha (Tabel 61). Er is gekozen om het laagste advies van 165 eenheden N/ha te weerhouden. Dit advies voor stikstofbemesting wordt volledig ingevuld met de organische bemesting. Er is dus geen stikstof meer toegepast via kunstmest in de objecten met organische bemesting. Voor de berekening ter bepaling van de hoeveelheid toe te dienen product, worden de werkingspercentages voor ruwe drijfmest en stalmest genomen zoals vermeld in het Mestdecreet (respectievelijk 60% en 30%). Voor de werkingspercentages van dunne fractie en digestaat uit de pocketvergisting wordt met 100% gerekend. Op het moment van toepassen van de producten wordt een bijkomend meststaal genomen om te bepalen hoeveel nutriënten er effectief zijn bemest bij de vooropgestelde dosis. Er worden sterk afwijkende waarden gevonden tussen de vooraf vooropgestelde en de effectief toegepaste dosis gemeten voor een aantal types organisch materiaal, en bv. voor DUF VDM is de werkelijk toegediende hoeveelheid N veel hoger dan de vooropgestelde. Het bereik gaat van 144 tot 225 kg N per ha. Dit heeft uiteraard belangrijke repercussies voor de praktijk. Immers, een landbouwer zal niet bij elke mestgift beschikken over een analyse van de mest/digestaat/dunne fractie, wat risico's inhoudt voor zowel onderbemesting als overbemesting. Dit bemoeilijkt vanzelfsprekend ook de vergelijking van het effect van de verschillende types mest en afgeleide producten. Het is de bedoeling om de verschillende materialen te vergelijken op basis van de efficiëntie van de N, uitgaande van een gelijke N toediening. In de praktijk bleek dit niet haalbaar, en daardoor is ook voorbehoud te maken bij de interpretatie van nitraatgehalten in de bodem en effecten op opbrengst.

////////////////////////////////////

Tabel 63. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Roeselare voorafgaand aan de bemesting (prognose)

Object		Org mest				Dosis (ton/ha)	N-org		N-KM	N toediening		P ₂ O ₅ tot	K ₂ O tot	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	WC		Ntot	Nwzm		tot	wzm			
		(kg/ton VS)			%		(kg/ha)							
1	VDM	6,5	3,7	5,1	60	15	98	59	geen	98	59	56	77	
	RDM	4,6	1,74	4,7	60	38	175	105	geen	175	105	66	179	
	Som						272	163		272	163	122	255	
2	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	100	53	164	164	geen	164	164	13	164	
3	DIG RDM	4,7	1,78	5,9	100	35	165	165	geen	165	165	62	207	
4	VDM	6,5	3,7	5,1	60	15	98	59	geen	98	59	56	77	
	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	100	34	105	105	geen	105	105	9	105	
	Som						203	164		203	164	65	182	
5	CRSM	8,9	5,8	20	30	25	223	67	geen	223	67	145	500	
	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	100	32	99	99	geen	99	99	8	99	
	Som						322	166		322	166	153	599	
6	VDM	6,5	3,7	5,1	60	42	273	164	geen	273	164	155	214	
7	RDM	4,6	1,74	4,7	60	60	276	166	geen	276	166	104	282	
8	Kunstmest								165	165	165	0	250	

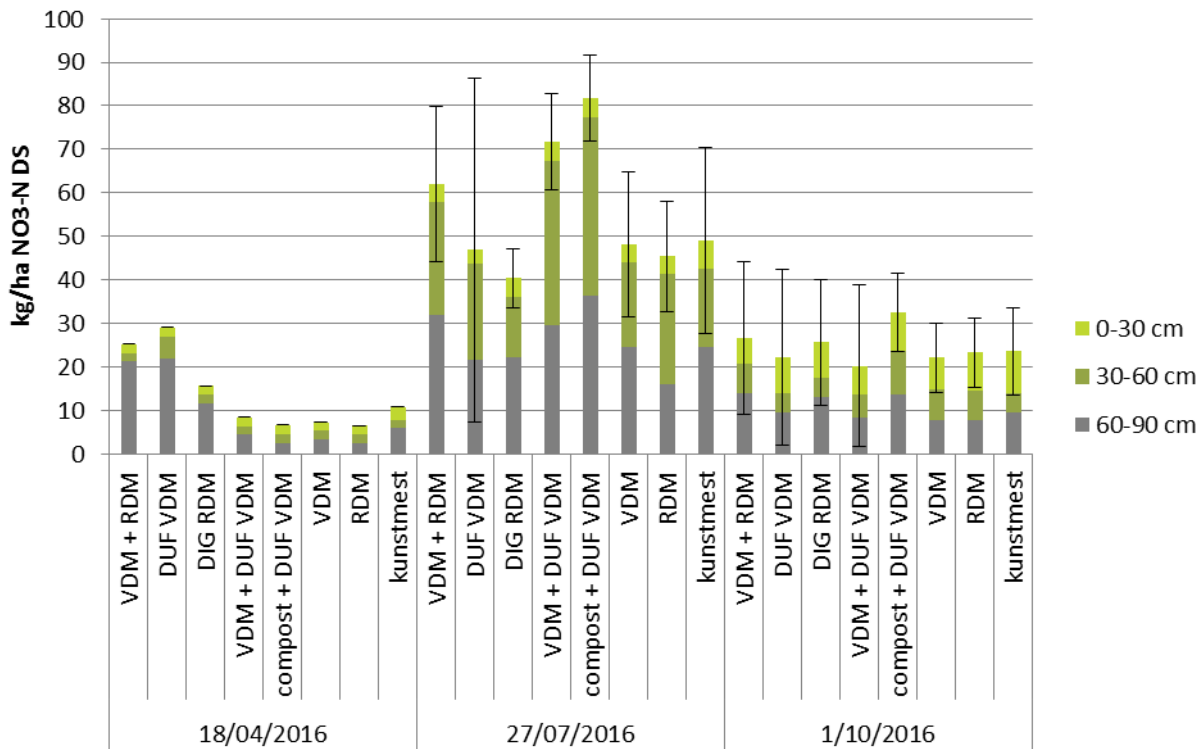


Tabel 64. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamstelling proefveld Roeselare tijdens bemesting (effectief toegediend) (met VS=verse stof, WC=werkingscoëfficiënt Org= organisch, KM=kunstmest, tot=totaal en wzm=werkzaam)

Object		Org mest					N-org		N-KM	N toediening		P ₂ O ₅ tot	K ₂ O tot
		N (kg/ton VS)	P ₂ O ₅	K ₂ O	WC %	Dosis (ton/ha)	Ntot (kg/ha)	Nwzm		tot	wzm		
1	VDM	6,2	2,9	4,7	60	15	94	56	geen	94	56	44	71
	RDM	4,0	1,7	4,4	60	38	152	91	geen	152	91	66	167
	som						246	148		246	148	110	238
2	DUF VDM	4,3	1,5	3,7	100	53	225	225	geen	225	225	77	195
3	DIG RDM	4,3	1,6	5,4	100	35	150	150	geen	150	150	56	188
4	VDM	6,2	2,9	4,7	60	15	94	56	geen	94	56	44	71
	DUF VDM	4,3	1,5	3,7	100	34	145	145	geen	145	145	49	125
	som						238	201		238	201	93	195
5	CRSM	8,9	5,8	20	30	25	223	67	geen	223	67	145	500
	DUF VDM	4,3	1,5	3,7	100	32	136	136	geen	136	136	46	117
	som						359	203		359	203	191	617
6	VDM	6,2	2,9	4,7	60	42	262	157	geen	262	157	123	198
7	RDM	4,0	1,7	4,4	60	60	241	144	geen	241	144	104	264
8	kunstmest								165	165	165	0	



6.3.2.3 Nitraatmetingen



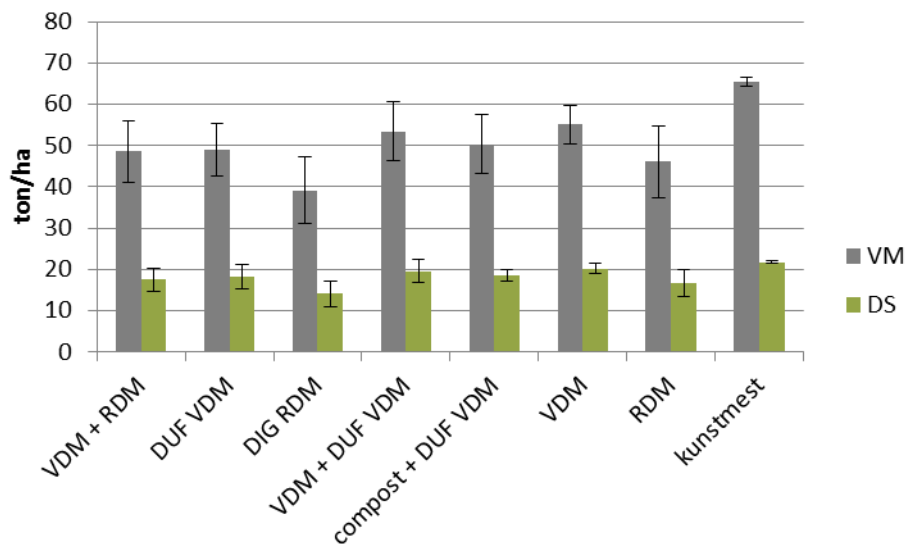
Figuur 40. Evolutie van nitraatstikstof (gemiddelde en voor 27/07 en 1/10 ± SD, n=4) i.f.v. seizoen voor de verschillende objecten te Roeselare

Het voorjaar van 2016 wordt gekenmerkt door heel veel neerslag. Er viel 205,8 l/m² regen in de maanden mei en juni. Deze natte omstandigheden leidden tot een lagere N-opname door de maïs, waardoor het gewas een moeilijker startgroei kende, hetgeen tevens gepaard ging met de uitspoeling van aanzienlijke hoeveelheden nitraat. Dit valt op te maken uit de verhoogde nitraatwaarde in de laag 60-90 cm eind juli. Op het einde van het teeltseizoen, op 1 oktober, zijn er geen verschillen gemeten en worden de nitraatdrempelwaarden niet overschreden.

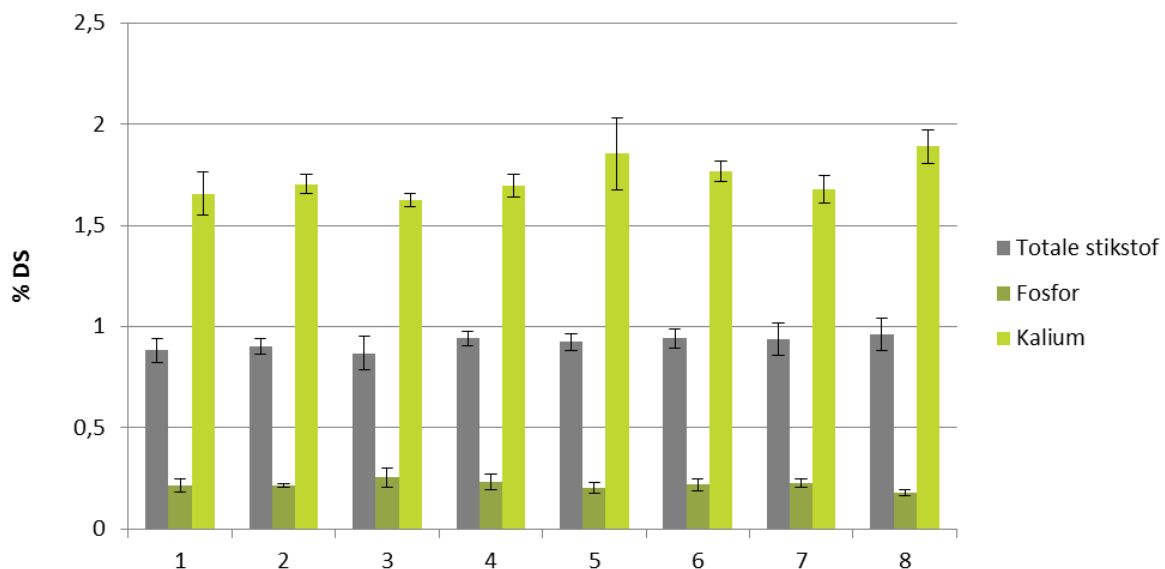
6.3.2.4 Opbrengst en plantkarakteristieken

Bij de oogst op 26 september 2016 wordt er per herhaling 10m² geoogst. Van ieder veldje wordt de totale verse massa gewogen. Een staal van 5 planten (bovengronds) wordt genomen ter bepaling van het DS-gehalte (Tabel 121). Desondanks het natte voorjaar, kan de maïs toch normale opbrengstcijfers behalen (gemiddeld wordt in 2016 14,5 ton/ha DS onder praktijkomstandigheden geoogst).





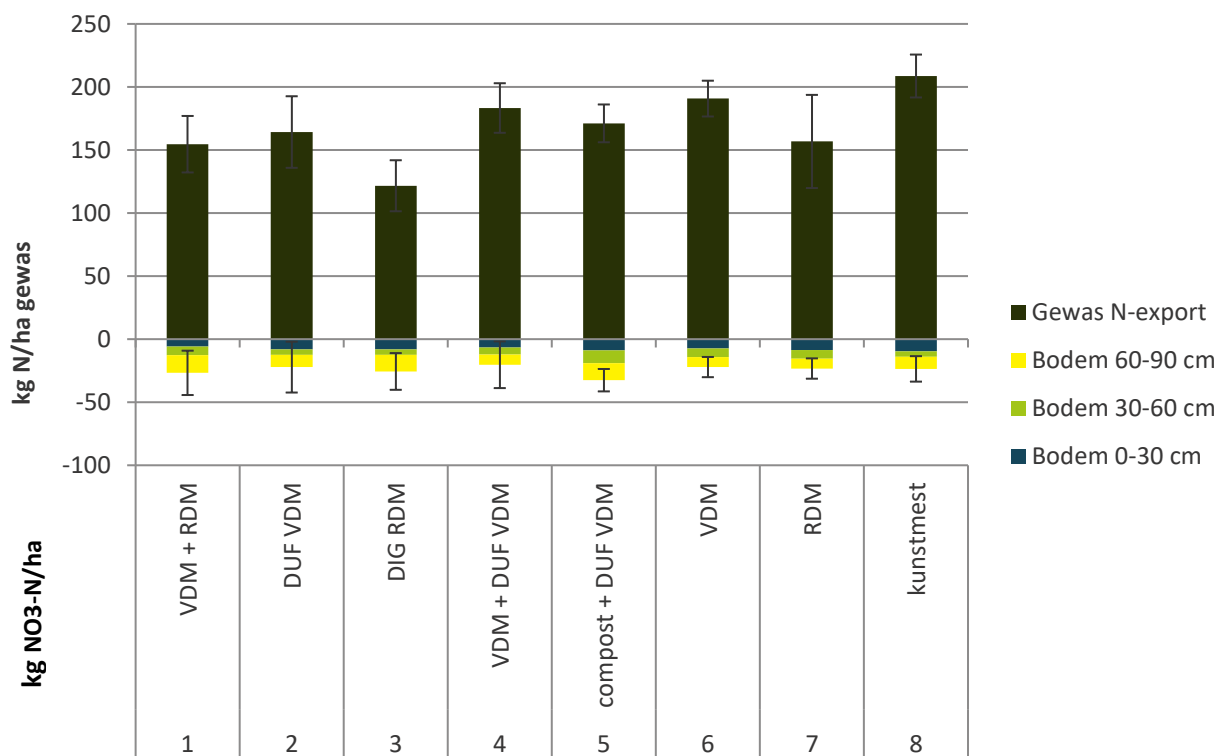
Figuur 41. Opbrengstgegevens: verse massa en droge stofopbrengst (ton/ha), (gemiddelde \pm SD, n=4) maïs te Roeselare, 2016



Figuur 42. Totale N, fosfor en kalium gehalte, (gemiddelde \pm SD, n=4) van maïs te Roeselare, 2016

In Tabel 123 wordt de export van N, P en K door het gewas gegeven, berekend uit de concentraties van die elementen in de droge stof, en de droge stofopbrengst per ha. In Tabel 83 en Tabel 74 worden de N, P en K balansen weergegeven, berekend uit de toegediende hoeveelheden van deze elementen via de bemesting (organisch, en voor N ook via kunstmest), aannemende dat deze elementen enkel via bemesting op de bodem terechtkomen, en de export door het gewas. Voor N is hier bovendien rekening gehouden met het minerale N gehalte in de bodem vóór bemesting en het minerale N gehalte bij oogst. Gewasanalyse gebeurde voor bepaling van N, P en K (Tabel 118).





Figuur 43. Overzicht van kg N/ha geëxporteerd door het gewas op 26/09/2016 , en residuele kg NO₃-N/ha in de bodem op 1/10/2016 (gemiddelde ± SD, n=4)

6.3.2.5 Conclusie

Uit de bepaling van de opbrengst scoren de objecten met de meeste werkzame N het best, namelijk DUF VDM, VDM + DUF VDM, CRSM + DUF VDM, VDM en kunstmest. De objecten met VDM + RDM, DIG RDM en RDM haalden de laagste opbrengst. Deze objecten bevatten minder werkzame N. Door een afwijkende mestamenstelling tijdens toediening t.o.v. wat vooraf wordt gemeten, worden verschillende hoeveelheden werkzame N toegepast. Daarnaast wordt er gevreesd voor structuurschade in de scenario's met verschillende producten, aangezien er meerdere malen over dezelfde oppervlakte wordt gereden met de injecteur om de mest te verspreiden. Deze lichte bodemcompactie wordt vastgesteld in de proeven. Verder worden in het najaar geen overschrijdingen gemeten van de residudrempelwaarden. Alle behandelingen hebben een residu tussen de 20 en 30 kg NO₃⁻-N/ha.

Uit de resultaten van de bouwvoor in het najaar blijkt dat de pH en P-CaCl₂ in het object met compost hogere waarden vertoont ten opzichte van de analyse in 2015 en tevens ten opzichte van de andere objecten op het einde van de proef in 2016. Deze twee parameters kunnen gelinkt worden aan elkaar, een neutrale pH zorgt voor een beter opname van fosfor. Bij de klassieke bouwvooranalyse worden sterke chemische extractiemethodes, zoals P-AL gebruikt. Deze P-AL-waarden tonen namelijk zeer traag evoluties in het fosforgehalte aan. Hiermee wordt de fosforcapaciteit van de bodem in beeld gebracht en kan op korte termijn zoals deze 2 proefjaren geen resultaten opleveren.



Tabel 65. Staalname bouwvoor (extractiemiddel ammoniumlactaat, tenzij anders vermeld) te Roeselare 1/10/2016

Object	pH	Textuur	OC (% C)	Ca (mg/100g droge grond)	Mg	Na	K	P-AL	P-CaCl2	Fe	Cu	Zn	Al	S	
1	VDM + RDM	5,47	Zandleem	0,84	91,3	17,6	1,9	17,4	31,0	3,7	82,2	0,2	1,0	17,60	0,96
2	DUF VDM	5,57	Zandleem	0,79	91,4	16,9	1,4	13,0	31,7	2,8	95,9	0,2	0,0	16,63	1,44
3	DIG RDM	5,83	Zandleem	0,88	101,4	17,4	2,0	12,7	29,4	2,5	94,1	0,1	1,0	14,59	1,20
4	VDM + DUF VDM	5,55	Zandleem	1,00	93,8	17,6	3,3	15,2	31,9	2,6	103,9	0,2	1,1	17,23	1,40
5	compost + DUF VDM	6,22	Zandleem	0,93	118,2	22,8	3,6	30,9	32,1	4,2	79,4	0,2	1,2	17,63	1,69
6	VDM	5,85	Zandleem	0,84	112,0	18,4	1,9	15,8	31,6	2,4	91,2	0,3	1,0	19,22	0,99
7	RDM	5,74	Zandleem	0,83	100,9	17,4	2,7	13,7	22,2	1,6	75,0	0,1	0,8	16,02	1,05
8	kunstmest	5,35	Zandleem	0,71	87,3	16,4	1,7	12,5	27,7	2,9	80,4	0,2	0,9	18,37	2,94



Op het moment van toepassing van de producten wordt een bijkomend meststaal genomen om effectief te weten hoeveel nutriënten bij de vooropgestelde dosis zijn toegediend. Er wordt een afwijkende waarde tussen de berekening en de effectief toegepaste dosis gemeten voor DUF VDM. Dit houdt enige voorzichtigheid in voor interpretatie van nitraatgehalte en opbrengst.



Tabel 69. Overzicht mesthoeveelheden en mest samenstelling proefveld Gistel voorafgaand aan de bemesting

Object		Org mest					N-org		N-KM	N toediening		P ₂ O ₅ tot	K ₂ O tot
		N (kg/ton VS)	P ₂ O ₅	K ₂ O	WC %	Dosis (ton/ha)	Ntot (kg/ha)	Nwzm		tot	wzm		
1	VDM	6	5,2	3,8	60	17	102	61	geen	102	61	88	58
	RDM	3,9	1,14	5,1	60	30	117	70	geen	117	70	34	138
	som							219	131		219	131	123
2	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	100	42	130	130	geen	130	130	11	117
3	DIG RDM	4,7	1,78	5,9	64	28	132	132	geen	132	132	50	149
4	VDM	6	5,2	3,8	60	16	96	58	geen	96	58	83	55
	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	100	24	74	74	geen	74	74	6	67
	som						170	132		170	132	89	122
5	CRSM	8,9	5,8	20	30	28,6	255	76	geen	255	76	166	343
	DUF VDM	3,1	0,25	3,1	100	18	56	56	geen	56	56	5	50
	som						310	132		310	132	170	393
6	VDM	6	5,2	3,8	60	36	216	130	geen	216	130	187	123
7	RDM	3,9	1,14	5,1	60	56	218	131	geen	218	131	64	257
8	kunstmest								130	130	130	0	250

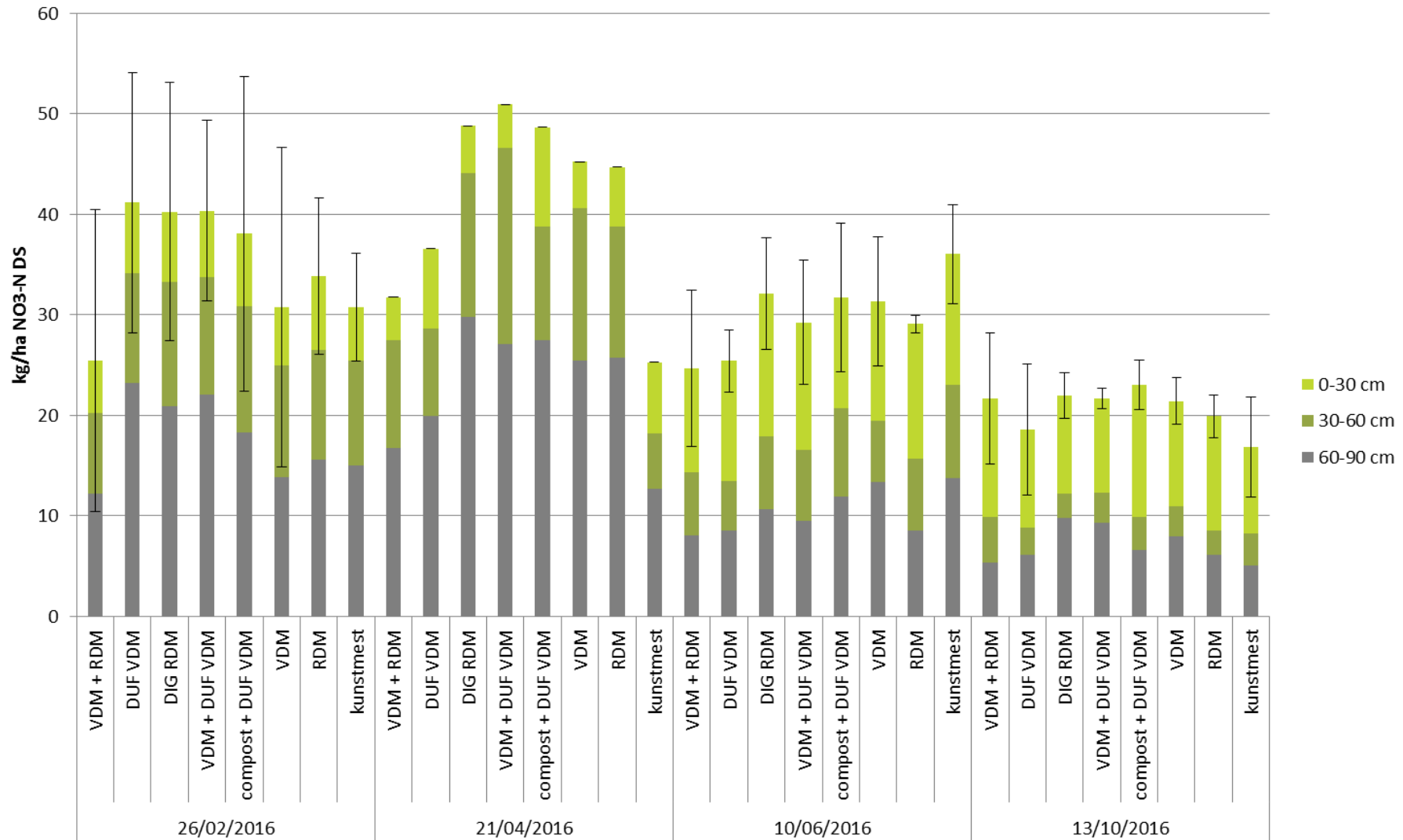


Tabel 70. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Gistel tijdens bemesting (effectief toegediend)

Object		Org mest				N-org		N-KM	N toediening		P ₂ O ₅ tot	K ₂ O tot	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	WC	Dosis	Ntot		Nwzm	tot			wzm
		(kg/ton VS)			%	(ton/ha)	(kg/ha)						
1	VDM	5,4	4,6	4,6	60	17	92	55	geen	92	55	78	70
	RDM	4,0	1,2	4,6	60	30	119	71	geen	119	71	35	125
	som						211	126		211	126	113	195
2	DUF VDM	4,3	1,5	3,7	100	42	179	179	geen	179	179	61	139
3	DIG RDM	4,3	1,6	5,4	100	28	120	120	geen	120	120	45	135
4	VDM	5,4	4,6	4,6	60	16	86	52	geen	86	52	74	66
	DUF VDM	4,3	1,5	3,7	100	24	102	102	geen	102	102	35	79
	som						188	154		188	154	108	146
5	CRSM	8,9	5,8	20,0	30	28,6	255	76	geen	255	76	166	343
	DUF VDM	4,3	1,5	3,7	100	18	77	77	geen	77	77	26	59
	som						331	153		331	153	192	403
6	VDM	5,4	4,6	4,6	60	36	194	117	geen	194	117	166	149
7	RDM	4,0	1,2	4,6	60	56	222	133	geen	222	133	64	233
8	kunstmest								130	130	130	0	250



6.3.3.3 Nitraatmetingen



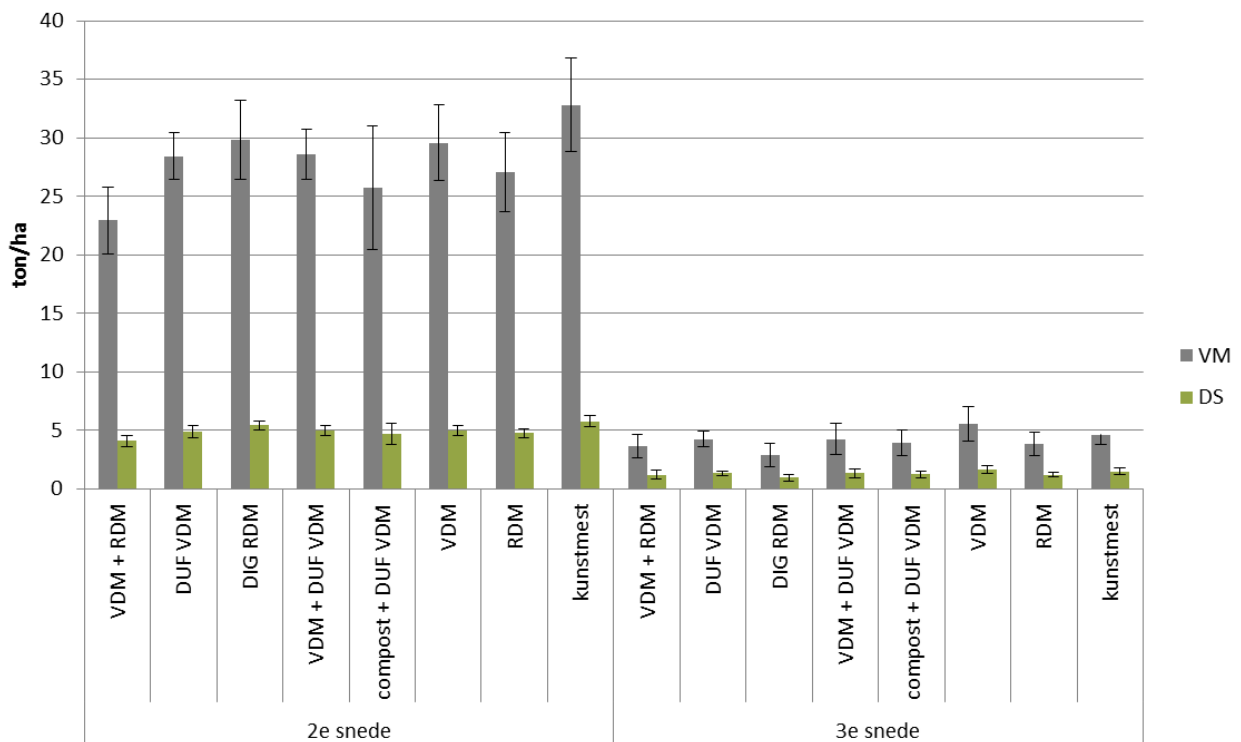
Figuur 44. Evolutie van nitraatstikstof (gemiddelde ± SD, n=4) ifv seizoen voor de verschillende objecten

In het nitraatverloop over het seizoen heen (Figuur 44) zijn geen overschrijdingen gemeten van de nitraatresiduwaarde. De waarden in juni zijn merkelijk lager, wat er op wijst dat het gras heel wat stikstof heeft opgenomen gedurende het groeiseizoen. In het najaar, tijdens de nitraatcampagne, zijn de waarden nog wat gedaald. Onderling zijn er dan ook geen significante verschillen gemeten tussen de behandelingen, onafhankelijk van de uniform toegediende kunstmest.

6.3.3.4 Opbrengst en plantkarakteristieken

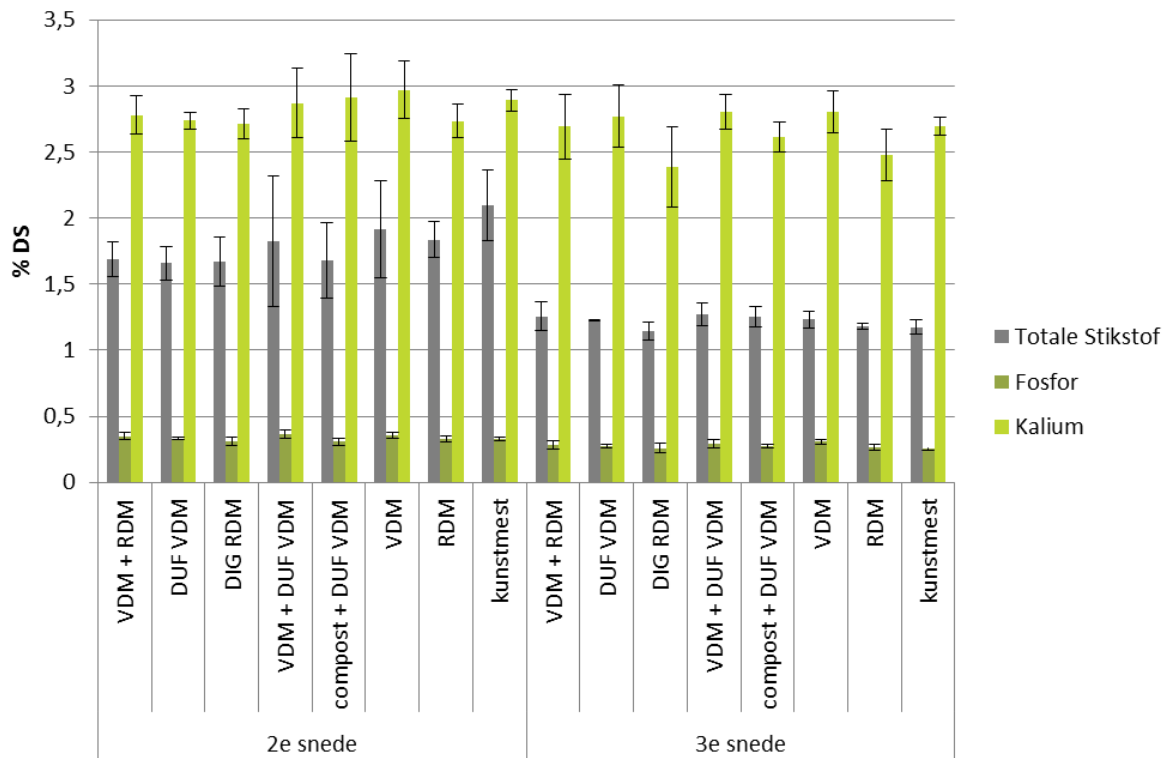
Bij de oogst wordt per plot een netto veldje van 10m² geoogst. Hiervan wordt op het veld de verse massa gewogen (Tabel 124 en Tabel 125). Per plot wordt een representatief gewasstaal genomen waarop het droge stofgehalte wordt bepaald (Tabel 124) en gebeurde de bepaling van de nutriënteninhoud (

Tabel 126 en Tabel 127). Op de stuurgroepvergadering van 16/09/2015 wordt beslist om voor de eerste snede gras een uniforme N-bemesting met kunstmest uit te voeren en deze eerste snede niet te bemonsteren voor de proef. De eigenlijke aanleg met de producten gebeurde dan voor de 2de snede onder voldoende droge bodemomstandigheden en met goede berijdbaarheid van het proefveld. De bemestingsdosis voor de producten is deze van de 2de en de 3de snede samen volgens het advies. Vanaf de 4de snede wordt geen verdere opvolging meer uitgevoerd op het proefveld, tenzij de nitraatresidu bepaling en bouwvooranalyse in het najaar. Er gebeurde geen bemesting meer na de 3^{de} snede.



Figuur 45. Opbrengstgegevens: verse massa en droge stofopbrengst (ton/ha), (gemiddelde ± SD, n=4) gras te Gistel, 2016

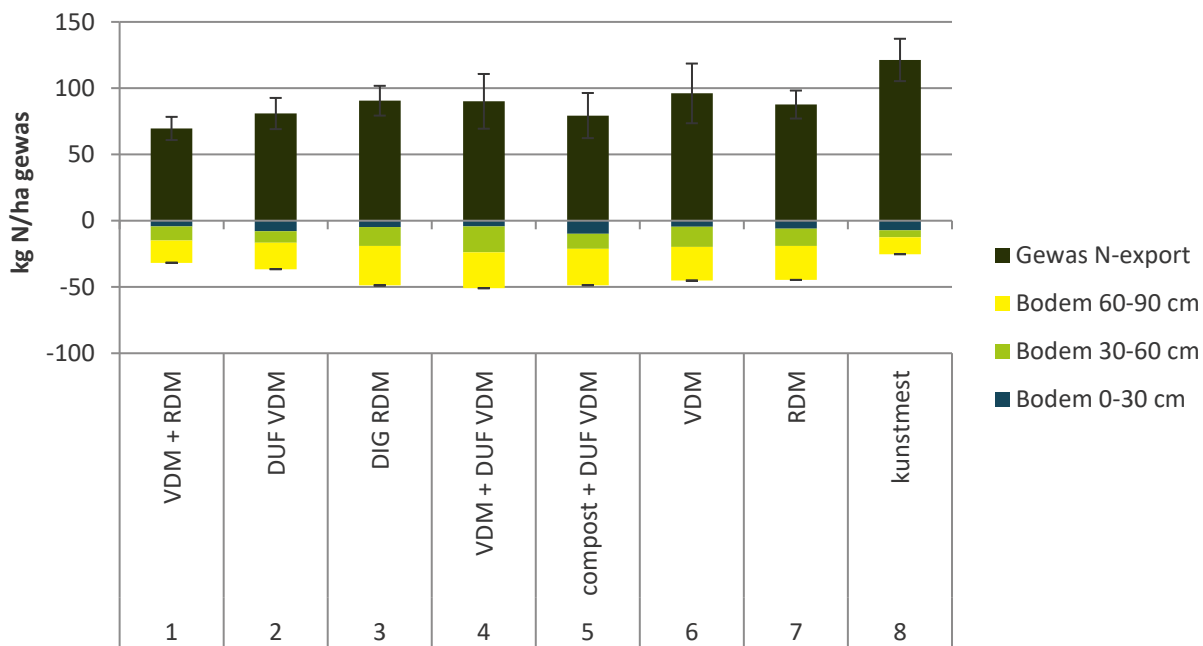




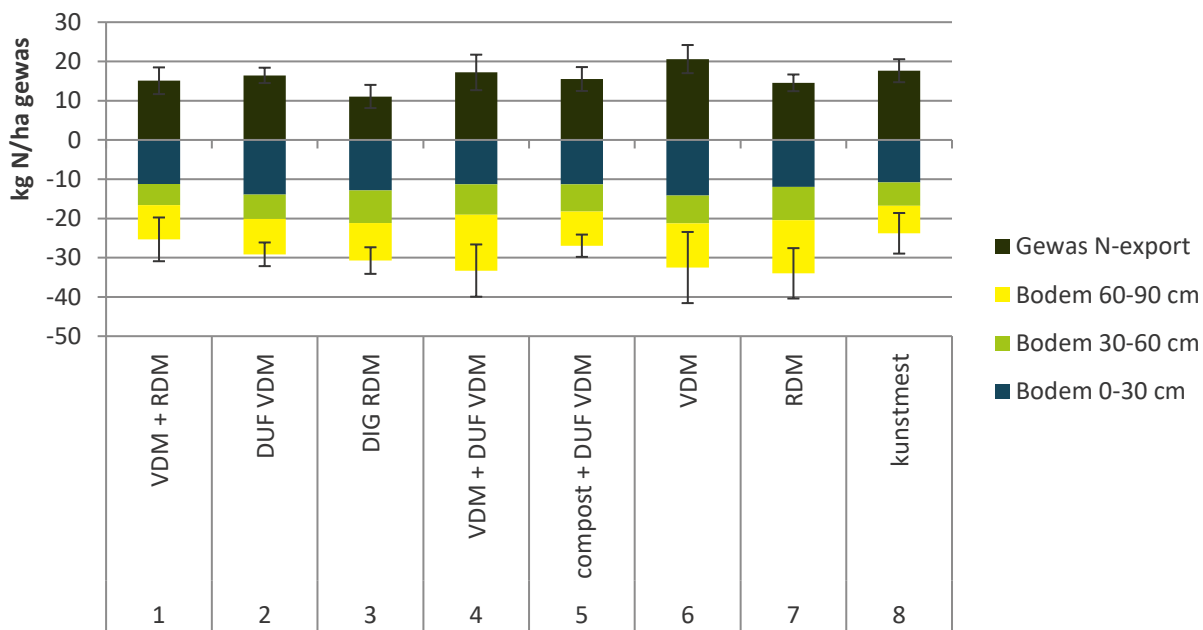
Figuur 46. Totale N, fosfor en kalium gehalte, (gemiddelde \pm SD, n=4) van gras te Gistel, 2016

Naar opname van totale N, fosfor of kalium zijn er geen duidelijke verschillen gemeten. Alle bemestingsscenario's hebben er toe geleid dat er evenveel mineralen zijn opgenomen door het gras. De lage N inhoud van de tweede snede gras kan verklaard worden omdat het gras zo lang heeft doorgroeid. Door langere groei is er verdunning opgetreden. Door de slechte weersomstandigheden kan het maaien pas veel later gebeuren dan voorzien.

Gewasexport voor N, P en K is samengevat in Tabel 128 en Tabel 125

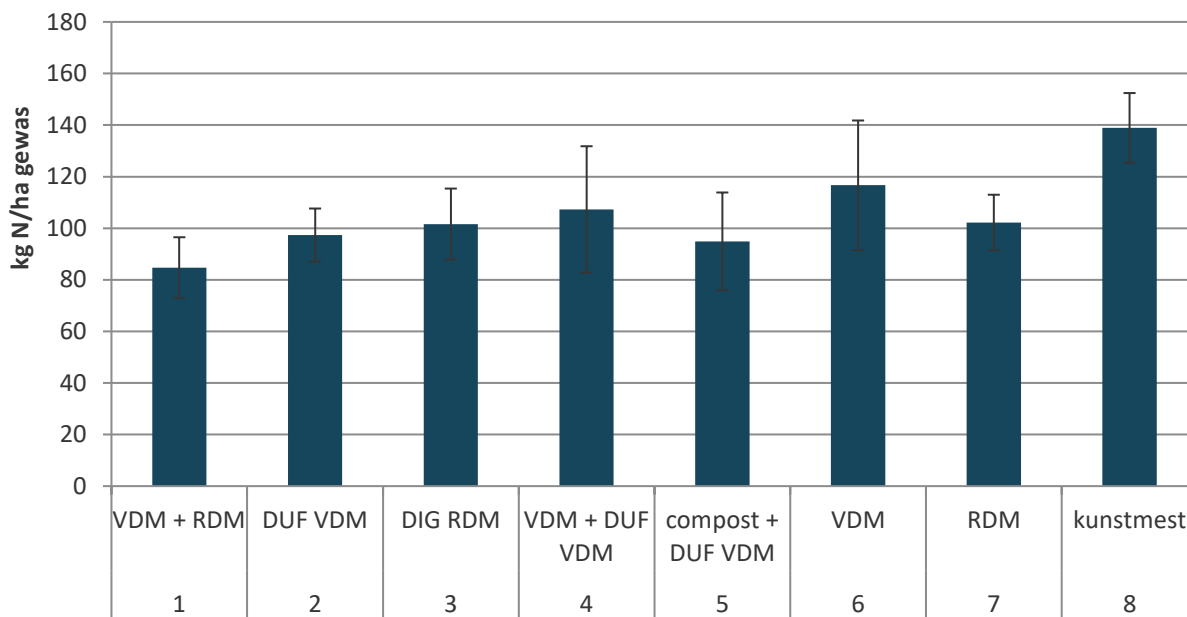


Figuur 47. Overzicht van kg N/ha geëxporteerd door het gewas voor snede 2 , en residuele kg NO3-N/ha in de bodem op 13/10/2016 (gemiddelde ± SD, n=4)



Figuur 48. Overzicht van kg N/ha geëxporteerd door het gewas voor snede 3 , en residuele kg NO3-N/ha in de bodem op 13/10/2016 (gemiddelde ± SD, n=4)





Figuur 49. Overzicht van kg N/ha geëxporteerd door het gewas voor snede 2 en 3 (gemiddelde \pm SD, n=4)

6.3.3.5 Conclusie

In de tweede snede worden er verschillen gemeten tussen de verschillende objecten, waarbij het object kunstmest het hoogste scoorde en de combinatie VDM + RDM het laagste. Voor de derde snede zijn deze verschillen minimaal. Voor de beide snedes samen haalt kunstmest de hoogste opbrengst en de combinatie van VDM + RDM het laagst. Tussen de andere scenario's zijn er geen verschillen merkbaar. Ook in het nitraatresidu in het najaar zijn er geen verschillen gemeten tussen de verschillende objecten. De nitraatgehaltes blijven onder de drempelwaarde. Hoewel object 2 bijna 60 kg werkzame N meer kreeg toegediend t.o.v. objecten 1 en 6, kan hier geen verschil in opbrengst worden vastgesteld. Ook in de nitraatmetingen kan niet meer reststikstof worden teruggevonden in de objecten met DUF t.o.v. de overige objecten.

Uit de analyseresultaten van de bouwvoor bij afloop van de proef, kunnen geen aantoonbare verschillen worden vastgesteld t.o.v. de bouwvooranalyse bij aanvang van de proef. Enkel het ijzergehalte lijkt bij de objecten DUF VDM, DIG RDM en RDM lichtjes zijn toegenomen.



Tabel 71. Staalname bouwvoor (analyse ammoniumlactaat, tenzij anders vermeld) te Gistel 13/10/2016

Object	pH	Textuur	OC (% C)	Ca	Mg	Na	K	P-AL	P-CaCl2	Fe	Cu	Zn	Al	S	
															(mg/100g droge grond)
1	VDM + RDM	7,00	Klei	1,57	508,6	34,7	5,1	28,5	19,5	2,5	29,1	0,1	0,4	9,87	4,2
2	DUF VDM	7,23	Klei	1,25	772,8	43	6,1	29	15,5	1,2	49,6	0,1	0,3	15,13	5,6
3	DIG RDM	7,02	Klei	1,49	523,8	40,8	4,64	28,9	17,8	1,9	40,3	0,1	0,4	15,34	4,4
4	VDM + DUF VDM	6,56	Klei	1,18	331,2	31,5	5,22	24,6	19,7	2,0	38,6	0,1	0,4	11,58	2,7
5	compost + DUF VDM	7,30	Klei	1,34	1388,2	51,4	5,1	28,5	16,4	1,2	42,8	0,1	0,3	9,15	10,2
6	VDM	7,18	Klei	1,40	737,6	38,1	3,82	25,2	19,0	1,9	33,8	0,1	0,4	13,02	5,7
7	RDM	7,26	Klei	1,39	650,3	41,8	4,42	28,7	18,1	1,5	48,5	0,1	0,4	15,45	4,1
8	kunstmest	7,01	Klei	1,50	472,5	34,1	3,72	26,9	22,8	2,2	35,6	0,1	0,4	12,90	4,6



6.3.4 Veldproef maïs Westerlo

6.3.4.1 Inleiding

De uitvoering en opvolging van deze veldproef gebeurde door Hooibeeckhoeve en Bodemkundige Dienst van België. Het betreft hetzelfde proefveld als in 2016, een perceel met zandige textuur. Bij analyse van de bouwvoor (0-23 cm) op 7/04/216 worden resultaten bekomen zoals weergegeven in Tabel 72.

Tabel 72. Analyseresultaten standaardgrondontleding (0-23 cm) (extractiemiddel ammoniumlactaat, tenzij anders vermeld) op staalnamedatum 7/04/2016 - locatie Westerlo

Parameter	Eenheid	Resultaat	Streefzone
Textuur		Fijn zand	
pH	pH-KCl	5,3	5,3-5,7
Organische koolstof	% OC op droge grond	1,3	1,8-2,8
Fosfor	mg/100 g droge grond	23	11-17
Kalium	mg/100 g droge grond	11	11-17
Magnesium	mg/100 g droge grond	8	6-10
Calcium	mg/100 g droge grond	80	66-133
Natrium	mg/100 g droge grond	<0,9	2,9-5,7
Zwavel	mg/100 g droge grond	23,1	
Ijzer	mg/100 g droge grond	835,4	
Aluminium	mg/100 g droge grond	451,4	
Molybdeen		niet gemeten	
Boor		niet gemeten	
Koper	mg/100 g droge grond	9,3	
Zink	mg/100 g droge grond	2,9	
Fosfor (CaCl ₂)	mg/100 g droge grond	0,2	

Ter bepaling van het stikstofbestedingsadvies wordt op 7/04/2016 eveneens de stikstofvoorraad in het bodemprofiel tot 90 cm bepaald (Tabel 63).

Tabel 73. Nitraatvoorraad in het bodemprofiel tot 90 cm per laag van 30 cm op 7/04/2016 - locatie Westerlo

Bodemlaag	Nitraat (kg NO ₃ -N/ha)	Ammonium (kg NH ₄ -N/ha)
0-30 cm	2	<4
30-60 cm	5	<4
60-90 cm	5	<4
0-90 cm	12	<12

Op basis van de nitraatvoorraad in combinatie met onder andere de verwachte mineralisatie, de perceel geschiedenis, de gewasbehoefte, en op basis van de standaardgrondontleding wordt volgend stikstof- en fosforbestedingsadvies geformuleerd a.h.v. de N-index en BEMEX expertsystemen van de BDB (Tabel 74).

Tabel 74. Stikstof en fosforbestedingsadvies - locatie Westerlo, 2016

Bestedingsadvies	Stikstof (kg N/ha)	Fosfor (kg P ₂ O ₅ /ha)
BDB	154	60
Inagro	166	60

Een overzicht van de teelthandelingen en staalnames op het perceel is weergegeven in Tabel 75. Door de zeer natte condities tijdens de maanden mei en juni op het perceel was een betrouwbare en zinvolle bodem-N-staalname, zonder beschadiging van het gewas in de proefvlakken, pas mogelijk in juli. Gezien de finale bodem-N-staalname reeds voorzien was bij de oogst in september, werd besloten om in de plaats van een tweede staalname tijdens het groeiseizoen (die noodzakelijk slechts een paar weken verwijderd zou zijn van het eerste of laatste staalnamemoment) bij de oogst ook de 32 plots met extra minerale bemesting te bemonsteren. Op deze manier kan het effect van de extra minerale bemesting op het nitraatresidu ook begroot worden.

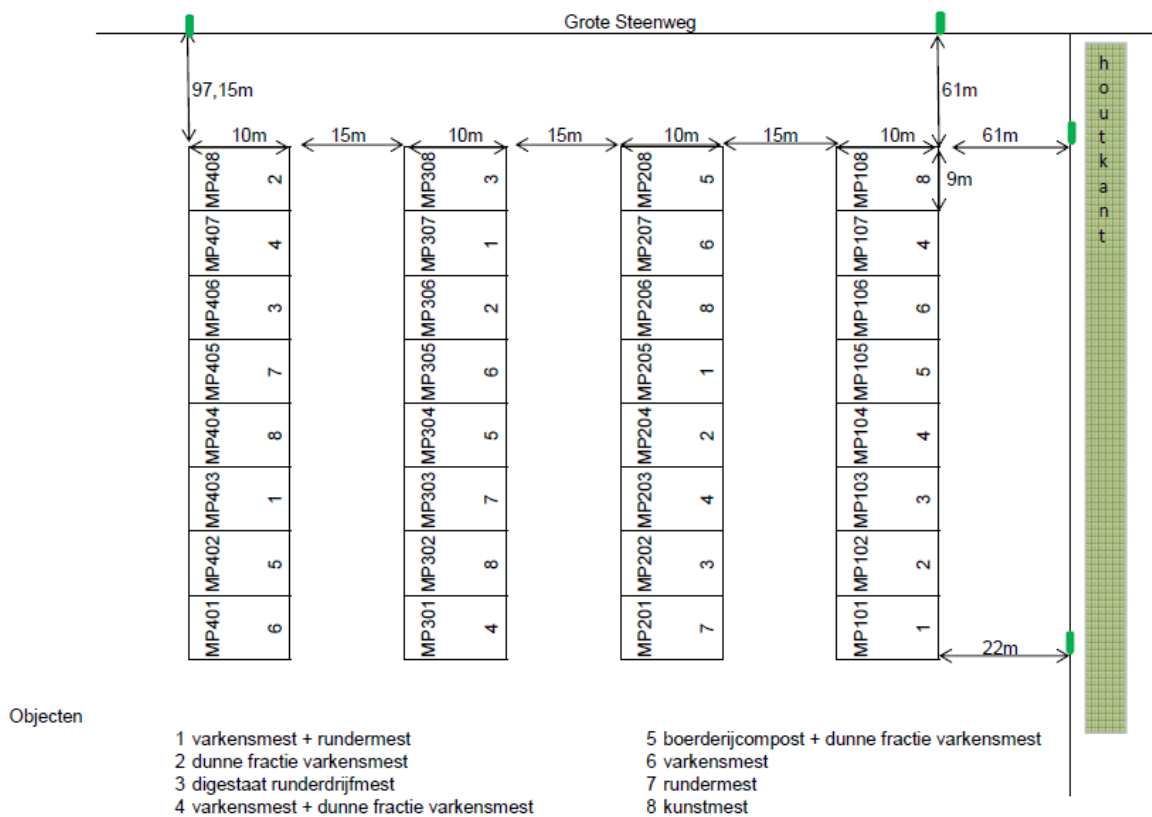


Tabel 75. Overzicht staalnamedata en data teelthandelingen

Datum	Handeling
7/04/2016	bouwvoor- +N-analyse
26/04/2016	organische bemesting
12/05/2016	Zaai mais LG30218
16/06/2016	minerale bemesting
4/07/2016	N-analyse
25/07/2016	bijbemesting kunstmest
26/09/2016	oogst
27/09/2016	Nitraatresidu bepaling

6.3.4.2 Bemesting en veldproefopzet

De proef te Westerlo wordt aangelegd zoals aangeduid op het proefplan (Figuur 50). Per vakje is zowel het vaknummer, de herhaling als het objectnummer aangeduid (bv. MP402-5, zijnde vak 2 in herhaling 4 waarin object 5 is aangelegd).



Figuur 50. Proefplan veldproef Westerlo, 2016

Voorafgaand de organische bemesting worden de verschillende partijen mest die op het proefveld zouden worden aangewend, bemonsterd. Op basis van de resultaten van deze initiële mestanalyses en het N- en P-bemestingsadvies (154 kg N/ha en 60 kg P₂O₅/ha) wordt tot onderstaande dosissen en bijhorende verwachte N- en P-bemesting gekomen (Tabel 74). Bij toediening van de organische mest op 26/04/2016 worden de verschillende partijen opnieuw bemonsterd, zodat de effectieve hoeveelheid toegediende nutriënten bepaald kan worden (

Tabel 77).

In overleg met de opdrachtgever wordt besloten om voor het tweede proefjaar bij de berekening van de mestdosissen de volledige N-vraag van het gewas in te vullen (154 kg N/ha voor de maïs op dit perceel), en geen rekening te houden met de geldende normen voor o.a. fosfaat. Hierdoor verschilt de hoeveelheid toegediende fosfaat en kalium soms sterk met de bemestingsbehoeften, en worden ook de geldende normen in sommige gevallen overschreden (Tabel 77).

De redenering voor het tijdstip van de toediening van de minerale mest na de zaai was idem aan deze in 2015 voor Westerlo: er werd voor zowel minerale als organische mest een goede landbouwpraktijk beoogd. Bijkomend zorgde de vele regen van het voorjaar 2016 (zoals ook geïllustreerd in de neerslagdata in Figuur 54) dat de werkzaamheden sterk verspreid gebeurde. De dagen dat er effectief in relatief goede omstandigheden kon gewerkt worden waren zeer beperkt. Het veld was zowel kort na de toediening van de organische mest als na inzaai niet tot zeer moeilijk betreedbaar. Uitgaande van een goede landbouwpraktijk werd geredeneerd dat veldbetreding in deze periode tot belangrijke structuurschade zou leiden, en dat de landbouwer in deze situatie eerder zou wachten met het uitvoeren van de bemesting. Deze redenering indachtig werd de minerale bemesting uitgevoerd op 16/06/2016, ca. 1 maand na de zaai op 12/05/2016 (Tabel 75). Door de overvloedige neerslag, met het dichtslempen van de grond als gevolg, waren de gewasontwikkeling en N-opname van de maïs sterk vertraagd ten opzichte van een normaal jaar.



Tabel 76. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Westerlo voor bemesting

Object		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkings- coëfficiënt	Dosis	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O	
							Ntot	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam			totaal
1	VDM(+RDM)	5,5	5,1	3,3	60	19	105	63				97	63	
	RDM (+VDM)	4,6	1,39	5,7	60	33	152	91				46	188	
	som						257	154	0	257	154	143	251	
2	DUF VDM	4,7	0,47	4,2	100	33	155	155	0	155	155	16	139	
3	DIG RDM	3,9	1,25	3,8	100	39	152	152	0	152	152	49	148	
4	VDM (+DUF VDM)	5,5	5,1	3,3	60	19	105	63				97	63	
	DUF VDM(+VDM)	4,7	0,47	4,2	100	20	94	94				9	84	
	Som						199	157	0	199	157	106	147	
5	CRSM (+DUF VDM)	8,9	5,8	20	30	23	205	61				133	460	
	DUF (+CRSM)	4,7	0,47	4,2	100	20	94	94				9	84	
	som						299	155	0	299	155	142	544	
6	VDM	5,5	5,1	3,3	60	47	259	155	0	259	155	240	155	
7	RDM	4,6	1,39	5,7	60	56	258	155	0	258	155	78	319	
8	kunstmest								154	154	154	60	250	



Tabel 77. Overzicht mesthoeveelheden en mestsamenstelling proefveld Westerlo tijdens bemesting

Object		N (kg/ton VS)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Werkings- coëfficiënt %	Dosis (ton/ha)	N organische mest toediening		N kunstmest	N toediening		P ₂ O ₅	K ₂ O totaal
							Ntot (kg/ha)	N werkzaam		Ntot	Nwerkzaam		
1	VDM(+RDM)	5,4	3,6	4,8	60	19	103	62				68	91
	RDM (+VDM)	4,5	1,63	4,9	60	33	149	89				54	162
	som						252	151		252	151	122	253
2	DUF VDM	4,3	0,81	4,2	100	33	142	142		142	142	27	139
3	DIG RDM	3,7	1,52	3,9	100	39	144	144		144	144	59	152
4	VDM (+DUF VDM)	5,4	3,6	4,8	60	19	103	62				68	91
	DUF VDM(+VDM)	4,3	0,81	4,2	100	20	86	86				16	84
	som						189	148		189	148	84	175
5	CRSM (+DUF VDM)	7,6	3,7	11,2	30	23	175	52				85	258
	DUF (+CRSM)	4,3	0,81	4,2	100	20	86	86				16	84
	som						261	138		261	138	101	342
6	VDM	5,4	3,6	4,8	60	47	254	152		254	152	169	226
7	RDM	4,5	1,63	4,9	60	56	252	151		252	151	91	274
8	kunstmest								154	154	154	60	250

////////////////////////////////////

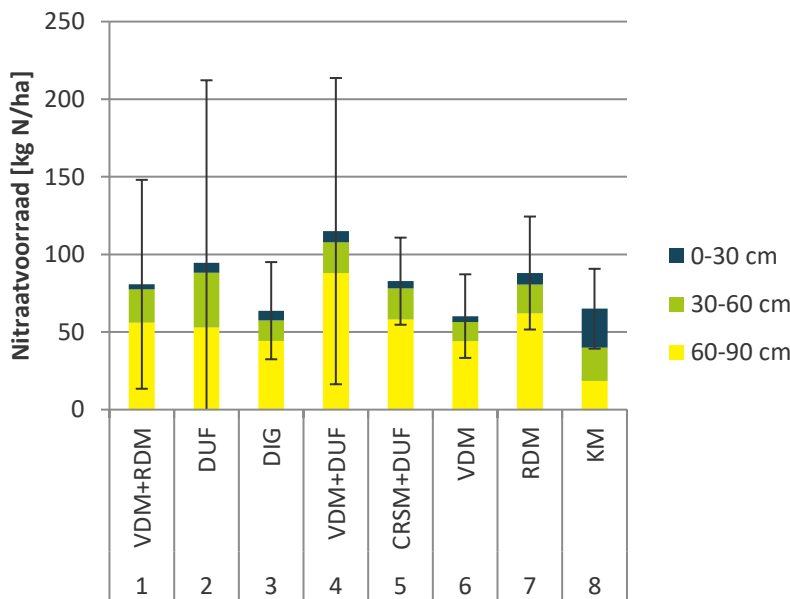
6.3.4.3 Opbrengst en plantkarakteristieken

Op 4/07/2016, iets meer dan twee maanden na toediening van de organische mest, wordt de reserve nitraatstikstof in het bodemprofiel tot 90 cm opnieuw bepaald. Bij deze staalname viel op dat het gewas bij de behandeling met enkel kunstmest een beduidend betere stand had dan de overige behandelingen met organische bemesting. De maïs bij deze behandeling bereikte een planthoogte van ca. 60 cm en is groen van kleur, terwijl bij de andere behandelingen de hoogte maar ca. 30 cm is en de plantkleur meer gelig. Ook op foto's genomen op 8/07/2016 is het verschil in gewasstand duidelijk zichtbaar (Figuur 51).



Figuur 51. Gewasstand op 8/07/2016 te Westerlo. Foto links: herhaling 4 van behandeling 8 (kunstmest); foto rechts: herhaling 1 van behandeling 3 (CRSM)

Resultaten van de meting van het nitraatgehalte zijn weergegeven in Figuur 52.

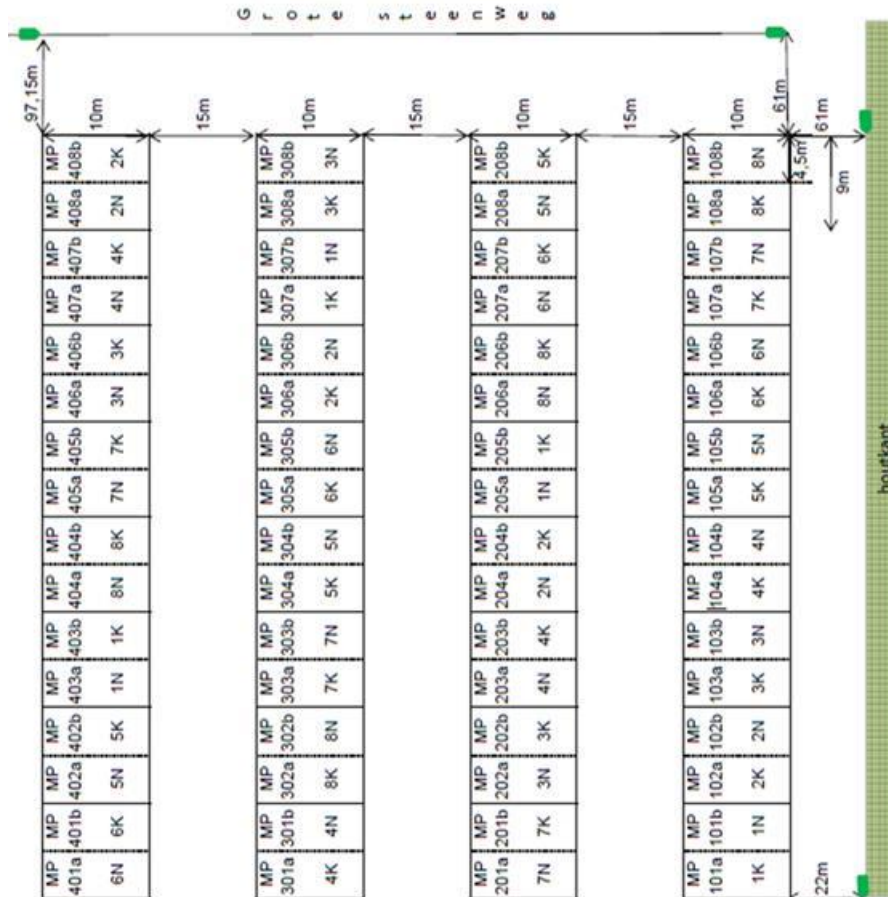


Figuur 52. Nitraatgehalte op 5/07/2016 (gemiddelde \pm SE, n=4) in het bodemprofiel tot 90 cm per laag van 30 cm voor proefveld Westerlo

Het nitraatgehalte in de laag 0-30 cm is voor alle objecten met organische bemesting zeer laag, met waarden tussen 3 en 15 kg N/ha. Enkel bij het object met minerale bemesting worden hogere hoeveelheden aangetroffen, tussen 10 en 45 kg N/ha. Over het algemeen lag het nitraatgehalte het hoogst in de 60-90 cm laag, wat duidelijk wijst op uitspoeling als gevolg van deze natte lente. Variatie op het totale nitraatgehalte in de laag 0-90 cm is zeer hoog binnen de verschillende behandelingen doordat het gehalte in de lagen 30-60 en 60-90 cm zeer sterk kan verschillen tussen de 4 herhalingen (Tabel 130).



Door het zeer natte voorjaar is de initiële groei van de maïs zeer slecht. Daarom wordt voor elk proefplot voor 6 van de 12 maïsrijen een extra kunstmest-gift van 40 kg N/ha voorzien later in het groeiseizoen, op 25/07/2016. Zodoende wordt elk proefplot in twee delen gesplitst is: 1 deel met de oorspronkelijke behandeling, en 1 deel met de extra kunstmestgift. In Figuur 53 is het nieuwe proefplan weergegeven.



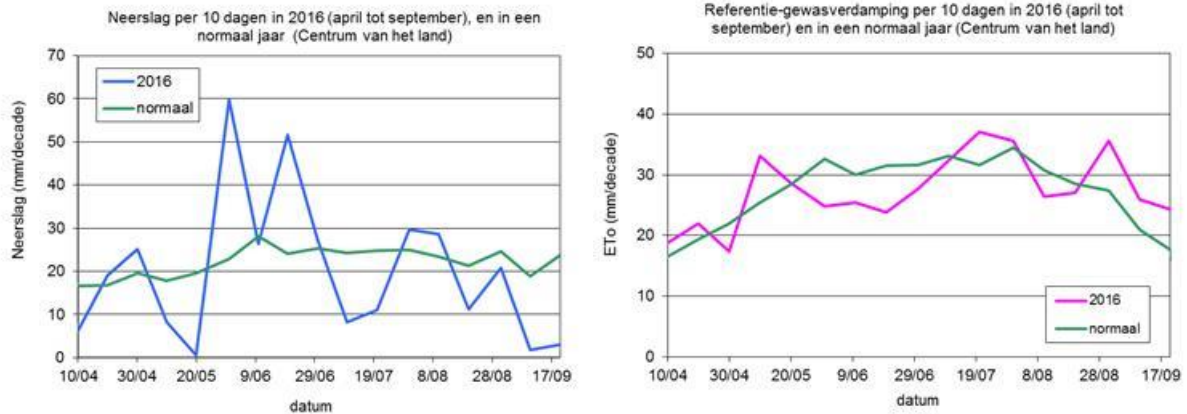
objecten

- 1... varkensmest + rundermest
 - 2... dunne fractie varkensmest
 - 3... digestaat runderdrijfmest
 - 4... varkensmest + dunne fractie varkensmest
 - 5... boerderijcompost + dunne fractie varkensmest
 - 6... varkensmest
 - 7... rundermest
 - 8... kunstmest
- ...K met kunstmest gift op een later tijdstip in het groeiseizoen
 ...Z zonder kunstmest gift op een later tijdstip in het groeiseizoen

Figuur 53. Proefplan veldproef Westerlo, 2016, na toediening van extra kunstmestgift op 25/07/2016

De uitzonderlijke weersomstandigheden in het begin van het groeiseizoen worden geïllustreerd in Figuur 54. Hieruit blijkt duidelijk dat de neerslag tijdens de maanden mei en juni ver boven het gemiddelde van de laatste decennia ligt, hetgeen overeenkomt met een daling in referentie-evapotranspiratie (ET₀, berekend volgens de FAO Penman-Monteith methode).

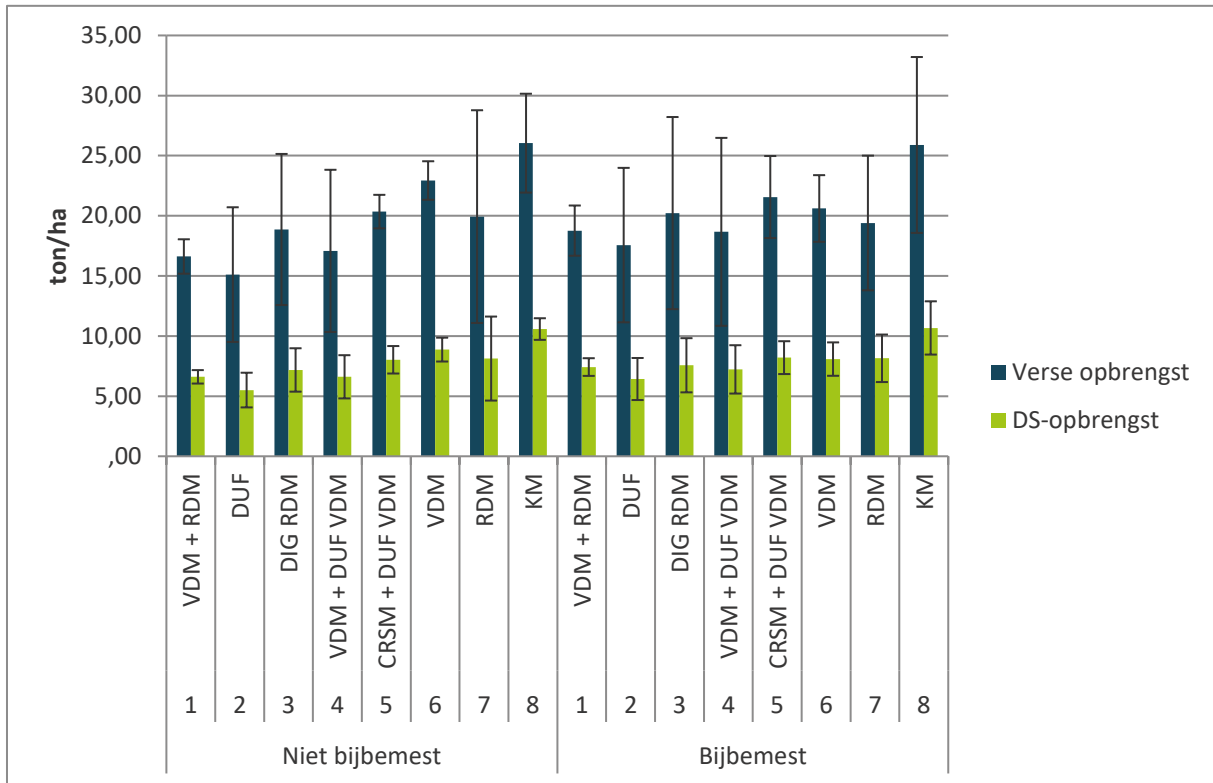




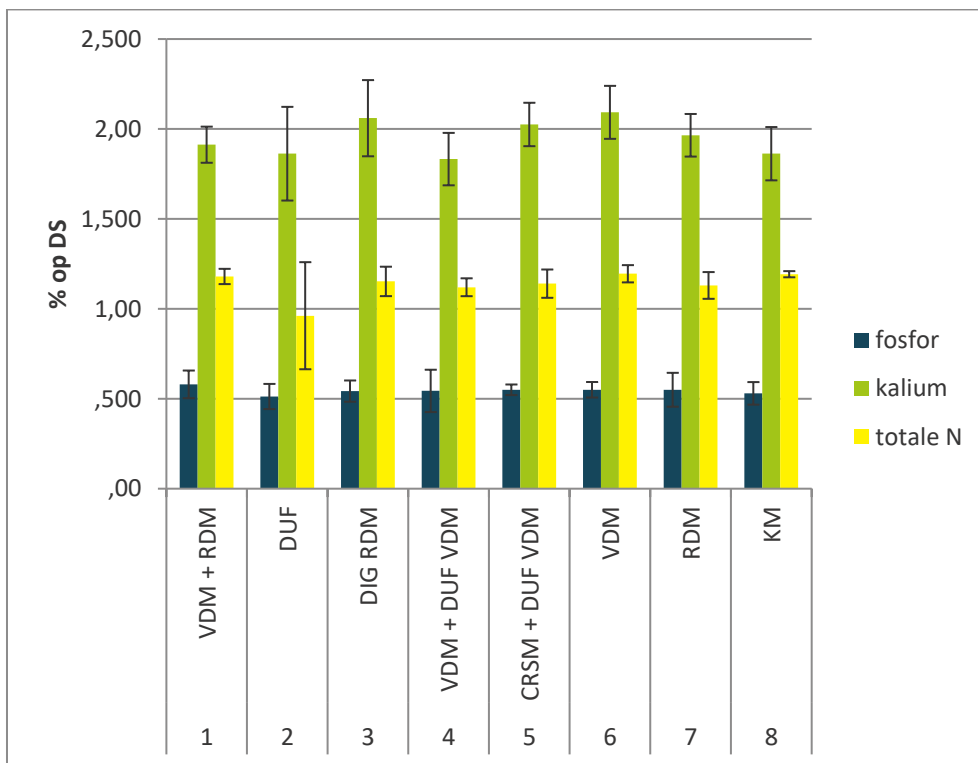
Figuur 54. Neerslag (links) en referentie-gewasverdamping (ET₀, rechts) per 10 dagen in het centrum van het land. Blauwe en roze lijn zijn data voor 2016, groene lijn betreft het gemiddelde voor de periode 1959-2016 (Bron: BDB, KMI).

De proefoogst vond plaats op 26/09/2016. Per plot wordt er 10,5 m² (2 rijen mais van 7 m lang) geoogst, waarvan op het veld de verse massa wordt bepaald. Over het algemeen leidde de extra kunstmestgift bij geen van de 8 objecten voor een uitgesproken meeropbrengst. Het droge en warme weer vanaf augustus heeft er wellicht voor gezorgd dat meststoffen niet meer gewerkt hebben. Ook ging de mais versneld bloeien en afrijpen waardoor de aanwezige stikstof nauwelijks nog wordt opgenomen. Ook wordt per plot een representatief gewasstaal genomen waarop het droge-stofgehalte alsook het N-, P-, en K-gehalte bepaald wordt (zie Tabel 127) voor de opbrengst- en analyseresultaten). N-, P-, en K-gehalte wordt enkel bepaald voor de objecten uit het oorspronkelijke proefopzet, m.a.w. deze zonder de extra kunstmestgift. Bij de behandeling met dunne fractie, is de variatie op het N-gehalte zeer hoog, en is het N-gehalte significant lager dan bij de behandelingen met combinatie varkens- en runderdrijfmest, enkel varkensdrijfmest, en kunstmest. Een directe link tussen deze lage waarde en de gewasopbrengst of het P- en K-gehalte is er niet. Voor P en K worden er geen significante verschillen waargenomen.



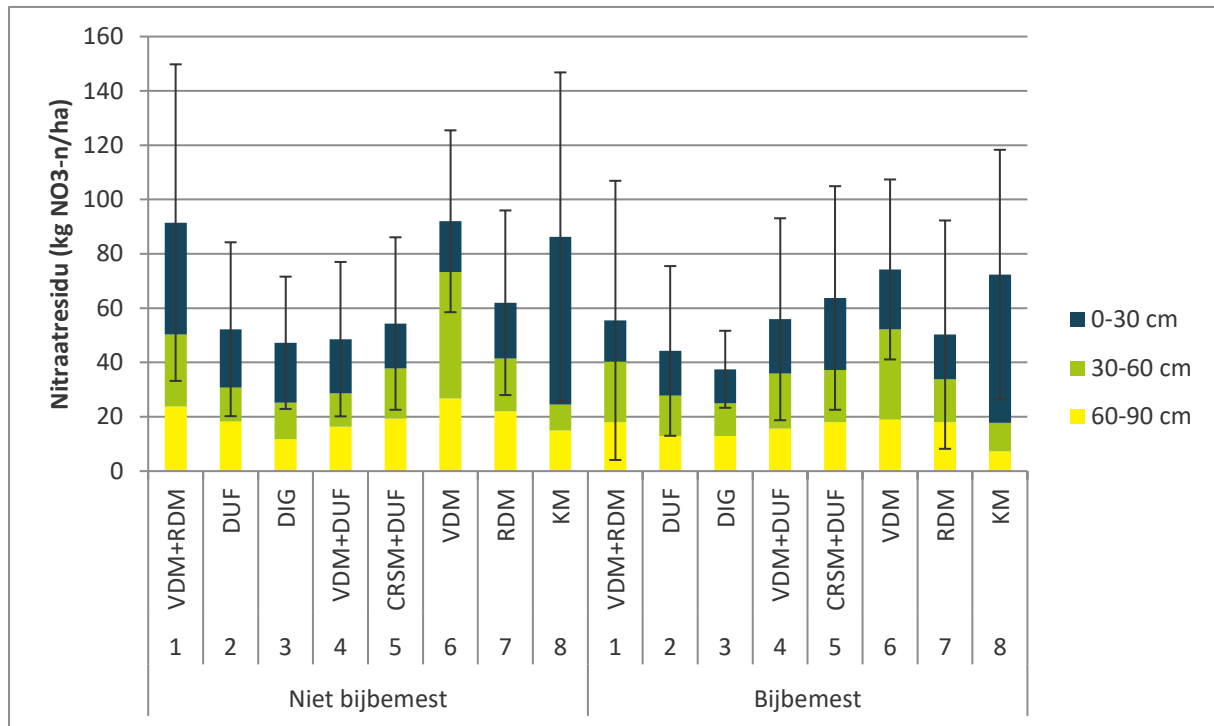


Figuur 55. Opbrengstgegevens, verse opbrengst en droge stofopbrengst (ton/ha), (gemiddelde \pm SE, n=4) snijmaïs te Westerlo, 2016



Figuur 56. Fosfor-, kalium- en totale-N-gehalte (% op DS) (gemiddelde \pm SE, n=4) van de snijmaïs te Westerlo, behandelingen zonder bijbemesting, 2016

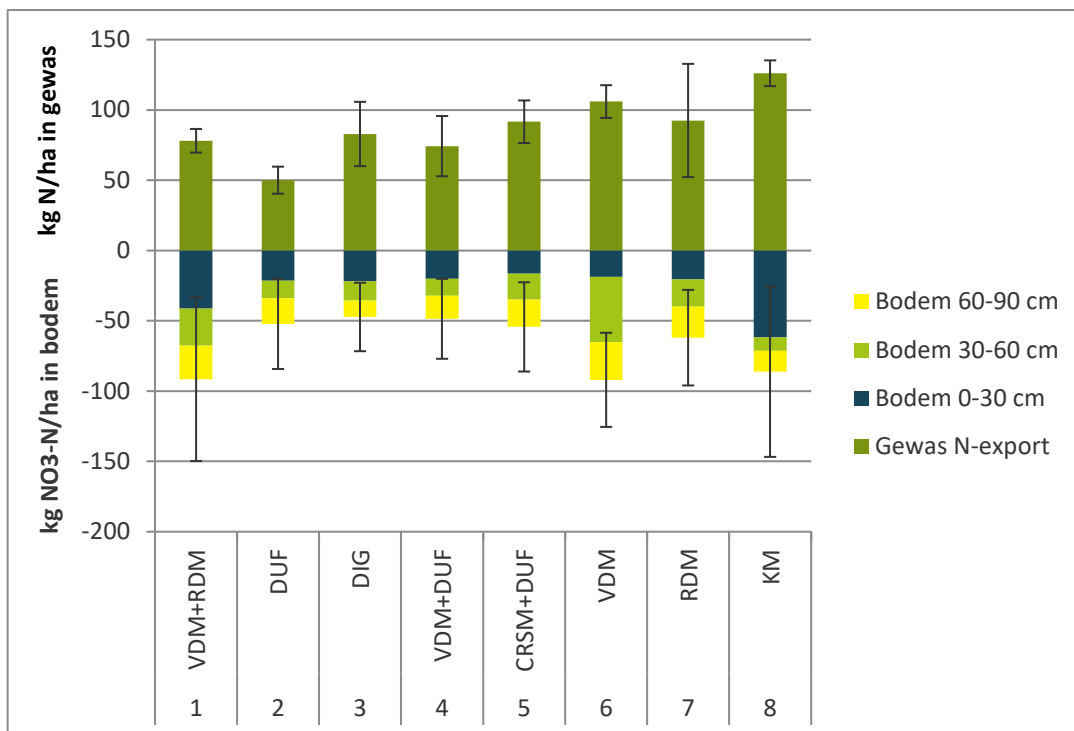
Het nitraatresidu wordt bepaald voor zowel de 32 proefplots van het originele proefopzet, als in de 32 proefplots met de extra kunstmestgift. De staalname vond plaats één dag na de proefoogst, op 27/09/2016. Het nitraatresidu is het hoogst voor de behandelingen met kunstmest, varkensdrijfmest, en de combinatie van varkensdrijfmest en runderdrijfmest (Figuur 57 en Tabel 132). Behandelingen met dunne fractie, digestaat, en boerderijcompost vertoonden een lager nitraatresidu.



Figuur 57. Nitraatresidu op 27/09/2016 (gemiddelde \pm SE, n=4) (kg NO₃-N/ha, 0-90 cm) na teelt van snijmaïs, locatie Westerlo, 2016 (gemiddelde \pm SE, n=4). De oranje lijnen geven het gemiddelde nitraatresidu voor de niet-bijbemeste behandelingen (links) en de bijbemeste behandelingen (rechts)

6.3.4.4 Conclusie

In Figuur 21 is voor de verschillende behandelingen een overzicht gegeven van de N-export door het gewas en de N-rest in de bodem op het moment van de proefoogst. Een eenduidig verband tussen gewas-N-opname en nitraatresidu, waarbij behandelingen met een hogere N-export overeenkomen met een lager nitraatresidu, komt uit deze vergelijking niet naar voor. Gewasexport voor N, P, en K is ook samengevat in Tabel 133.



Figuur 58. Overzicht van kg N/ha geëxporteerd door het gewas op 26/09/2016, en residuele kg NO₃-N/ha in de bodem op 27/09/2016 (gemiddelde ± SE, n=4), locatie Westerlo



6.3.4.5 Bodemvoorraad van elementen S, Ca, Fe, Al, Zn, Cu, en P

Teneinde voor de elementen S, Ca, Fe, Al, Zn, Cu en P een balans te kunnen opstellen worden gedurende de proefperiode bodemstalen genomen in de bodemlaag van 0-30 cm, waarop deze elementen bepaald worden. Het betreft voor elke behandelingen één mengstaal van de 4 herhalingen. Gezien er geen bemonstering plaatsvond bij aanvang van de proef, wordt als referentiesituatie een staal genomen op 4/07/2016 buiten het proefoppervlak ('Uitgangssituatie' in Tabel 72) en bij afloop van de proef op 27/09/2016.

Tabel 78. Analyseresultaten van de bepaling van S, Ca, Fe, Al, Zn, Cu, en P gedurende de proefperiode, locatie Westerlo (extractie ammoniumlactaat, tenzij anders aangegeven)

Behandeling	SO ₄ [mg/kg DS]	Ca [mg/kg DS]	Fe [mg/kg DS]	Al [mg/kg DS]	Zn [mg/kg DS]	Cu [mg/kg DS]	P-CaCl ₂ [mg/kg DS]	P-AL [mg/kg DS]	
Uitgangssituatie	692,6	1022,3	8354,7	4513,5	28,7	9,3	1,8	243,2	
4/07/2016	1 VDM + RDM	747,8	881,1	8971,1	4087,1	31,0	11,7	3,2	210,6
	2 DUF	683,3	845,0	9687,2	4339,6	29,1	10,7	3,5	234,8
	3 DIG RDM	698,7	897,4	8791,1	4308,4	28,5	11,1	3,0	224,0
	4 VDM + DUF VDM	709,1	953,0	10378,4	4594,0	31,6	11,3	2,8	248,4
	5 CRSM + DUF VDM	741,5	992,4	9236,8	4449,3	29,5	10,9	3,2	247,1
	6 VDM	664,1	978,3	9836,5	4402,7	29,6	10,6	2,5	240,6
	7 RDM	728,1	1133,2	9937,4	4279,2	33,2	11,7	2,8	223,3
	8 KM	656,4	1061,7	9633,3	4378,8	29,0	10,6	2,2	212,4
27/09/2016	1 VDM + RDM	705,6	1069,6	11598,8	4446,1	33,5	18,2	1,5	242,0
	2 DUF	574,2	778,8	10166,6	4188,3	28,2	19,2	1,7	204,3
	3 DIG RDM	645,9	1014,4	10353,5	4049,4	31,6	18,4	1,9	244,6
	4 VDM + DUF VDM	606,9	933,0	10168,6	4033,1	31,1	18,1	1,2	233,2
	5 CRSM + DUF VDM	771,2	1246,6	9664,5	4438,2	33,6	31,6	2,7	259,2
	6 VDM	658,8	1093,3	8971,5	4091,9	32,1	18,0	1,9	272,8
	7 RDM	627,7	1032,7	9611,2	3888,1	30,8	17,9	1,9	251,3
	8 KM	603,0	988,8	9495,1	3953,9	30,1	20,2	1,8	249,7



Uit bovenstaande is het onmogelijk om dit experiment te interpreteren als een trappenproef. We kunnen geen variatie reconstrueren rond de dosissen (herhalingen per object zijn aangenomen als zijnde identiek). Bovendien is er enkel in Kortemark een aanzienlijke afwijking tussen objecten. In de veldproeven in Roeselare, Gistel en Westerlo is deze aanzienlijke afwijking er niet. Kortemark is sowieso niet de beste basis om vergelijkingen inzake gedifferentieerde dosissen op te maken aangezien volgens de cijfers deze bodem zeer veel nitraat zou hebben vrijgesteld bovenop de mestdosis.

Conclusie – de dataset leent zich er niet toe om alternatief te interpreteren als een trappenproef in plaats van de huidige bespreking als zijnde ‘gelijkwaardige bemestingen met alternatieve producten’.

6.4.2 Massa balansen en nitraatresidu's

De N balansen worden opgesteld op basis van N inputs, N opname door het gewas, en minerale N in de bodem voor planten/zaaien en bij oogst, als volgt:

$$N \text{ balans} = N_{\text{min oogst}} + N_{\text{totale N opname gewas}} - N_{\text{beschikbaar uit bemesting}} - N_{\text{min voor planten}}$$

De N balans volgens deze berekening geeft de N mineralisatie uit bodem organische stof (en mogelijks bijkomende N vrijstelling uit de toegediende organische bemesting bovenop het deel dat als effectief wordt gerekend) min de mogelijke N verliezen. De N verliezen tijdens het groeiseizoen zijn normaal gezien zeer beperkt, behoudens uitzonderlijke omstandigheden. De minerale N in de bodem bij oogst is een maat voor de potentiële N verliezen tijdens de winter.

Daarnaast wordt een P en K balans opgesteld op basis van totale aanvoer via bemesting en gewasafvoer.

6.4.2.1 Teeltproef Prei

Na 2 jaar proeven op dit veld, bleek dit veld een hoge graad van vrijstelling van stikstof te bezitten. Deze informatie kunnen we niet op voorhand inschatten op basis van de grondanalyse of informatie van de proefveldhouder. De behaalde resultaten op dit veld dienen met deze bovenstaande informatie te worden geïnterpreteerd. Voor wat betreft de teeltproef met prei worden de resultaten voor de verschillende aan- en afvoerposten van minerale stikstof alsook fosfor en kalium in het bodemprofiel 0-90 cm samengevat in onderstaande tabellen.

Bij oogst heeft de prei een groot deel van de beschikbare minerale N opgenomen (Tussen de tussentijdse bodemstaalname en de oogst heeft het weinig geregend zodat ervan uitgegaan kan worden dat de aanwezige N – ook op zandgrond – maar beperkt uitspoelt). Maar er blijft toch nog veel minerale N in de bodem aanwezig die na de oogst kan uitspoelen (Tabel 114 en



Tabel 115). Vaak wordt een sterk afwijkende mestsamenstelling gemeten bij toediening t.o.v. wat gemeten wordt op voorhand. Dit leidde tot uiteenlopende hoeveelheden werkzame N. Ondanks deze verschillende hoeveelheden werkzame stikstof, wordt in alle objecten toch een evenredig hoge hoeveelheid restnitraat gemeten. Waarschijnlijk is dit mede te verklaren dat dit perceel veel N vrijstelt, ondanks het lagere organisch koolstofgehalte. De reden hiertoe zijn de grotere hoeveelheden organische mesttoediening in het verleden op dit veld.

Alle geoogste prei is van uitstekende kwaliteit (er wordt geteeld voor de industrie, waarbij het bladafval op het veld achterblijft, maar alle geoogste prei is van Flandria – kwaliteit (zie Tabel 112) verse markt waarbij bladafval mee wordt afgevoerd) met een zeer hoge opbrengst t.o.v. wat normaal te verwachten valt.

Behandelingen 2, 4 en 5 lijken op basis van P₂O₅ balans niet bruikbaar voor verdere interpretatie door de sterk afwijkende productsamenstelling van de DUF. Het materiaal dat als dunne fractie wordt bestempeld door de leverancier bleek uit analyse bij toediening niet als gemiddelde DUF maar naar inhoud eerder een ander product te zijn.

Algemeen kan gesteld worden dat de preiteelt aanzienlijk meer N en K opnamen dan er wordt toegediend. Voor N lijkt de aanwezige hoeveelheid minerale stikstof na de oogst moeilijk te rijmen met de hoeveelheid bij aanvang, de toegediende dosis en de gewas opname. De nitraatresidu's zijn (te) hoog bij alle behandelingen, inclusief de kunstmestbehandeling. Dit is zoals boven vermeld te wijten aan het zeer hoge mineralisatiepotentieel van dit perceel, dus als proefveld is dit niet de ideale keuze. De mineralisaties variëren tussen bijna 100 tot meer dan 300 kg N ha⁻¹.

Voor K zou dunne fractie, of beter nog effluent na biologische verwerking van dunne fractie, soelaas kunnen bieden als K-meststof vervanger gezien de hoge teeltbehoefte en de lage dosis in de huidige scenario's.

Tabel 79. N-balans op het perceel te Kortemark voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg N/ha.

	Behandeling	Bodem-N (0-90 cm) bij aanvang seizoen	Toegediende werkzame N	Gewas-N-opname	Bodem NO ₃ -rest (0-90 cm) einde seizoen	N-Balans (= mineralisatie - N-verliezen)
1	VDM + RDM	35	124	301	161	303
2	DUF	36	278	287	125	98
3	DIG RDM	31	141	282	120	230
4	VDM + DUF VDM	28	220	291	208	251
5	CRSM + DUF VDM	32	225	284	169	196
6	VDM	33	116	250	149	250
7	RDM	32	127	292	158	291
8	KM	49	154	273	151	221

Tabel 80. P en K--balans op het perceel te Kortemark voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg ha.

	Behandeling	P- toegediend	P- export	P- balans	K- toegediend	K- export	K- balans
1	VDM + RDM	46	-38	8	237	-350	-113
2	DUF	221	-35	186	139	-333	-194
3	DIG RDM	29	-34	-5	165	-291	-126
4	VDM + DUF VDM	165	-34	131	122	-313	-191
5	CRSM + DUF VDM	195	-34	161	215	-352	-137
6	VDM	61	-28	33	91	-283	-192
7	RDM	37	-35	2	274	-331	-57
8	KM	0	-31	-31	0	-315	-315

6.4.2.2 Teeltproef Maïs 1 (Roeselare)

Analoog wordt ook voor de proef te Roeselare de overeenkomstige balansen opgesteld (zie onderstaande tabellen). Gewasopname van N leek het efficiëntst geweest te zijn voor kunstmest. Los daarvan vertoonden alle behandelingen een laag nitraatresidu. De lagere opbrengsten gecombineerd met lage nitraatresidu's doen voor de behandelingen met bewerkte producten van mest, vermoeden dat het vooropgesteld aandeel "werkzame stikstof" lager lag dan het werkelijke werkzame aandeel. De schijnbare mineralisatie op dit perceel is laag tot zeer laag, en in een aantal gevallen trad immobilisatie op. Dit kan evenwel ook een gevolg zijn van een overschatting van het aandeel werkzame stikstof in de producten.

Voor P lag de bemestingsdosis in lijn met de teeltbehoefte, op een aanzienlijke netto export na bij de kunstmestbehandeling (KM; -39 kg/ha) en een netto aanvulling van de bodemreserve in de behandeling waarin compost wordt gebruikt (CRSM+DUF VDM; +45 kg/ha). De gunstige groei in de KM behandeling zorgde ook voor een zeer hoge export van K (-410 kg) dewelke niet via bemesting wordt gecompenseerd.

Tabel 81. N-balans op het perceel te Roeselare voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg N/ha.

	Behandeling	Bodem-N (0-90 cm) bij aanvang seizoen	Toegediende werkzame N	Gewas-N- opname	Bodem NO ₃ -rest (0-90 cm) einde seizoen	N-Balans (= mineralisatie - N- verliezen)
1	VDM + RDM	11	148	155	27	23
2	DUF	11	225	164	22	-40
3	DIG RDM	11	150	122	26	-13
4	VDM + DUF VDM	11	201	183	20	-9
5	CRSM + DUF VDM	11	203	171	33	-10
6	VDM	11	157	191	22	45
7	RDM	11	144	157	23	25
8	KM	11	165	209	24	57

Tabel 82. P en K-balans op het perceel te Roeselare voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg/ha.

	Behandeling	P- toegediend	P- export	P- balans	K- toegediend	K- export	K- balans
1	VDM + RDM	48	-38	10	198	-289	-91
2	DUF	34	-39	-5	162	-309	-147
3	DIG RDM	24	-35	-11	156	-229	-73
4	VDM + DUF VDM	41	-45	-4	162	-333	-171
5	CRSM + DUF VDM	83	-38	45	512	-345	167
6	VDM	54	-44	10	164	-358	-194
7	RDM	45	-38	7	219	-278	-59
8	KM	0	-39	-39	0	-410	-410

Uit de oogstbepalingen blijkt dat de objecten kunstmest en VDM de hoogste DS-opbrengst behalen, respectievelijk 21.7 en 20.2 ton DS/ha. Het object DIG RDM is significant lager dan deze objecten en scoort het laagste met 14.1 ton DS/ha. De DS-opbrengst van de andere objecten ligt tussenin en halen onderling vergelijkbare resultaten. De behaalde opbrengst is algemeen gemiddeld voor maïs in 2016.

In 2015 wordt de teeltproef met maïs uitgevoerd te Gistel i.p.v. Roeselare. In dat teeltjaar is de oogstopbrengst analoog tussen behandelingen en scoorde de KM behandeling niet beter dan de mediaan inzake nitraatresidu's.

6.4.2.3 Teeltproef Gras

Ook voor gras lag de teeltopname van N beduidend hoger voor KM dan voor de overige behandelingen. De mineralisatie is consistent negatief, d.w.z. er is een schijnbare netto immobilisatie. Bij gras (met lang groeiseizoen) is dit minder verwonderlijk, gezien de grote ondergrondse biomassa-productie. De nitraatresidu's zijn laag bij alle behandelingen waardoor er bij de huidige dosissen geen vermoeden van overbemesting is. Scenario's waarbij ruwe varkensdrijfmest is gebruikt, hadden wel een duidelijk risico voor aanrijking van de P-balans in de bodem, waar dit voor Dunne fractie zoals verwacht veel minder tot niet het geval is.

Het object met kunstmest en digestaat van een pocketvergister hebben de hoogste DS-opbrengst in de tweede snede, respectievelijk 5.8 en 5.4 ton DS/ha. Wat kan verklaard worden door de snellere werking van N van deze producten. Het object waarin varkensdrijfmest wordt gemengd met runderdrijfmest scoort het minst met 4.1 ton DS/ha. De tweede snede wordt iets later geoogst dan voorzien, waardoor dit een eerder zware snede is met hogere opbrengsten dan normaal. In de derde snede zijn de verschillen minder uitgesproken. Behalve voor het object met varkensdrijfmest, die zeer hoog scoort naar DS-opbrengst. De opbrengst digestaat pocketvergisting haalt een lagere opbrengst in de derde snede. Wat er op wijst dat de N voornamelijk ook snelwerkend is. Door de minder goede groeicondities en kortere groeiduur, viel de derde snede lichter uit dan verwacht. Over de twee snedes heen scoort de combinatie van VDM + RDM het laagst, met 5.3 ton DS/ha. Deze verschilt significant met de opbrengst na kunstmest toepassing (7.3 ton DS/ha). Alle andere objecten scoren tussenin, met een totale opbrengst van 6 tot 6.7 ton DS/ha.

Tabel 83. N-balans op het perceel te Gistel voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg N/ha.

	Behandeling	Bodem-N (0-90 cm) bij aanvang seizoen	Toegediende werkzame N	Gewas-N-opname	Bodem NO ₃ -rest (0-90 cm) einde seizoen	N-Balans (= mineralisatie - N-verliezen)
1	VDM + RDM	26	126	85	22	-45
2	DUF	26	179	97	19	-89
3	DIG RDM	26	120	102	22	-22
4	VDM + DUF VDM	26	154	107	22	-51
5	CRSM + DUF VDM	26	153	95	23	-61
6	VDM	26	117	117	21	-5
7	RDM	26	133	102	20	-37
8	KM	26	130	139	17	0

Tabel 84. P en K-balans op het perceel te Gistel voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg/ha.

	Behandeling	P-toegediend	P-export	P-balans	K-toegediend	K-export	K-balans
1	VDM + RDM	49	-18	31	162	-148	14
2	DUF	27	-20	7	115	-170	-55
3	DIG RDM	20	-19	1	112	-171	-59
4	VDM + DUF VDM	47	-22	25	121	-180	-59
5	CRSM + DUF VDM	84	-18	66	334	-173	161
6	VDM	72	-23	49	124	-195	-71
7	RDM	28	-19	9	193	-161	32
8	KM	0	-23	-23	208	-209	-1

6.4.2.4 Teeltproef Mais 2 (Westerlo)

Door het zeer natte voorjaar is de gewasopbrengst over het algemeen zeer laag in vergelijking met het vorige proefjaar (Figuur 51). De drogestofopbrengst bedroeg gemiddeld slechts 46.9% van deze van 2015 zonder de minerale bijbemesting van 40 kg N/ha, en slechts 48.6% indien wel mineraal bijbemest wordt. De hoogste opbrengst wordt bereikt in de behandeling waar enkel kunstmest toegediend wordt, terwijl de overige behandelingen met enkel organische bemesting een lagere opbrengst vertoonden. De minerale bijbemesting leidde tot een licht hogere drogestofopbrengst voor de meeste behandelingen, met uitzondering van de behandeling met enkel varkensdrijfmest en runderdrijfmest. Variatie op de gewasopbrengst is over het algemeen beduidend hoger dan in het voorgaande proefjaar. Bij analyse van het stikstof-, fosfor-, en kaliumgehalte worden geen significante verschillen tussen de verschillende behandelingen aangetroffen (Figuur 56).

Voor de maïsproef te Westerlo vertoonden de meeste behandelingen een netto-afvoer van P. Enkel de behandeling met ruwe varkensdrijfmest vertoonde een netto-aanvoer. Voor K vertoonden diverse behandelingen een netto aanvoer, doch de behandeling CRSM+DUF zorgde voor de hoogste balans (+122 kg/ha). Voor N vertoonden de meeste behandelingen een geringe afvoer via teeltopname in vergelijking met kunstmest. Bij specifieke bodemcondities, met name tijdelijk zuurstofarm, (te nat, vertrapeling weide) ontstaat N₂O-vervluchtiging waardoor geen 100% werkzaamheid meer kan



verkregen worden. Dit wordt opnieuw weerspiegeld in de behandelingen met een schijnbare netto immobilisatie.

Tabel 85. N-balans op het perceel te Westerlo voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg N/ha.

	Behandeling	Bodem-N (0-90 cm) bij aanvang seizoen	Toegediende werkzame N	Gewas-N-opname	NO ₃ ⁻ -N (0-90 cm) einde seizoen	N-Balans (= mineralisatie - N-verliezen)
1	VDM + RDM	12	151	78	92	7
2	DUF VDM	12	142	50	52	-52
3	DIG RDM	12	144	83	47	-26
4	VDM + DUF VDM	12	148	74	49	-37
5	CRSM + DUF VDM	12	138	92	54	-4
6	VDM	12	152	106	92	34
7	RDM	12	151	93	62	-9
8	KM	12	154	126	86	46

Tabel 86. P en K-balans op het perceel te Gistel voor het groeiseizoen van 2016, alle hoeveelheden als kg/ha.

	Behandeling	P-toegediend	P-export	P-balans	K-toegediend	K-export	K-balans
1	VDM + RDM	53	-38	15	210	-126	84
2	DUF VDM	12	-28	-16	115	-105	10
3	DIG RDM	26	-38	-12	126	-151	-25
4	VDM + DUF VDM	37	-35	2	145	-123	22
5	CRSM + DUF VDM	44	-44	0	284	-162	122
6	VDM	74	-49	25	188	-187	1
7	RDM	40	-42	-2	227	-162	65
8	KM	26	-56	-30	208	-196	12

In vergelijking met proefjaar 2015, hetgeen een analoog teeltplan betrof dan 2016 voor wat betreft waarnemingen in 2016, merken we op dat KM in 2015 en 2016 met voorsprong de hoogste nitraatresidu's vertoonde. Ondanks de betere teeltperformantie met KM in 2016, vertaalde dit zich niet noodzakelijk in een hogere milieupperformantie.

3.4.2.5. Algemene conclusie

De veldproef met prei vertoonde ongebruikelijk hoge vrijstelling uit de bodemvoorraad, wat de resultaten van de individuele bemestingen maskeert en interpretatie bemoeilijkt. Voor de twee veldproeven met maïs en het terrein met gras, is N opname telkenmale het efficiëntst in de behandeling met kunstmest. Daaruit (alsook uit de teeltopbrengsten) kan geconcludeerd worden dat de theoretisch aangenomen N werkzaamheid van de geteste alternatieve bemesters hoger lag dan de werkelijke N werkzaamheid bij een gemiddelde gewasteeltduur.

6.5 CONCLUSIE VELDPROEFJAREN 2015-2016

6.5.1 Inschatting van de werkingscoëfficiënt van de mestproducten op basis van de veldproeven

6.5.1.1 Methode

In eerste instantie wordt de totale vrijstelling aan minerale N bepaald gedurende het groeiseizoen:

$$N_{\text{vrijstelling}} = N_{\text{opname}} + N_{\text{residu}} - N_{\text{voorraad}}$$

met:

N_{opname} = de hoeveelheid N opgenomen door het gewas (of althans het bemonsterde deel van het gewas)

N_{residu} = de hoeveelheid minerale N gemeten in het bodemprofiel (0-90 cm) kort na oogst

N_{voorraad} = de hoeveelheid minerale N gemeten in het bodemprofiel (0-90 cm) in het voorjaar

Nadien wordt de berekende N-vrijstelling gecorrigeerd voor processen in de bodem die ook plaatsgrijpen zonder toevoeging van de organische mestproducten, met name de mineralisatie van N uit bodemorganische stof en eventuele oogstresten, de atmosferische N-depositie en de verliezen door nitraatuitspoeling, denitrificatie en ammoniakale vervluchtiging. De som van deze processen werd ingeschat door voor elke proef afzonderlijk de N-vrijstelling voor de referentiebehandeling (met enkel kunstmest) te verminderen met de hoeveelheid N toegediend via kunstmest:

$$N_{\text{processen}} = N_{\text{vrijstelling, referentie}} - N_{\text{kunstmest}}$$

met:

$N_{\text{processen}}$ = de som van de N-mineralisatie uit bodemorganische stof, de atmosferische N-depositie en de N-verliezen

$N_{\text{kunstmest}}$ = de hoeveelheid N die onder de vorm van kunstmest werd toegediend op de referentiebehandeling

Hierbij wordt aangenomen dat de werkingscoëfficiënt van kunstmest 1 (=100%) bedraagt. Het volgen van deze werkwijze impliceert ook dat, (1) indien door toediening van de organische mestproducten extra N-verliezen tijdens het groeiseizoen plaatsvinden, deze mee in rekening worden genomen in de ingeschatte werkingscoëfficiënt en (2) er gerekend wordt met een gemiddelde teeltduur van 4,5 maand. Er wordt aangenomen dat er geen grote verschillen in N-verliezen optreden tussen de referentiebehandeling (KM) en de behandelingen met mestproducten aangezien de mestproducten emissiearm werden aangewend, het bodemvochtgehalte in de bouwvoor tijdens het groeiseizoen in het algemeen slechts sporadisch hoog genoeg is om aan de voorwaarde voor denitrificatie te voldoen en nitraatuitspoeling vanuit de bovenste laag tot onder de ondergrens van 90 cm tijdens het groeiseizoen slechts in uitzonderlijke situaties zal plaatsgrijpen. Dit wordt ook aangetoond in de simulaties voor Roeselare: tijdens het groeiseizoen van 2015 wordt een maximaal verschil in denitrificatie van 3 kg N ha⁻¹ gesimuleerd tussen de referentiebehandeling en de behandeling met digestaat, terwijl uitspoeling in 2015 begon rond 20 november en in een extreem nat najaar (1974-1975) slechts één maand vroeger.

Vervolgens wordt de netto N-vrijstelling (N_{netto}) berekend, die hier gedefinieerd wordt als de hoeveelheid N-vrijstelling die uitsluitend plaatsvond door de toediening van de organische mestproducten:

////////////////////////////////////

$$N_{\text{netto}} = N_{\text{vrijstelling}} - (N_{\text{processen}} + N_{\text{extra}})$$

met:

Nextra = de hoeveelheid N die als aanvulling onder de vorm van kunstmest werd toegediend in de behandelingen met organische mestproducten

De netto N-vrijstelling werd uiteindelijk gedeeld door de totale hoeveelheid N toegediend onder de vorm van organische mest. Dit resultaat geeft aldus een inschatting van de werkingscoëfficiënt van de mestproducten in het veld (w_{Cveld}):

$$w_{\text{Cveld}} = N_{\text{netto}} / N_{\text{mestproduct}}$$

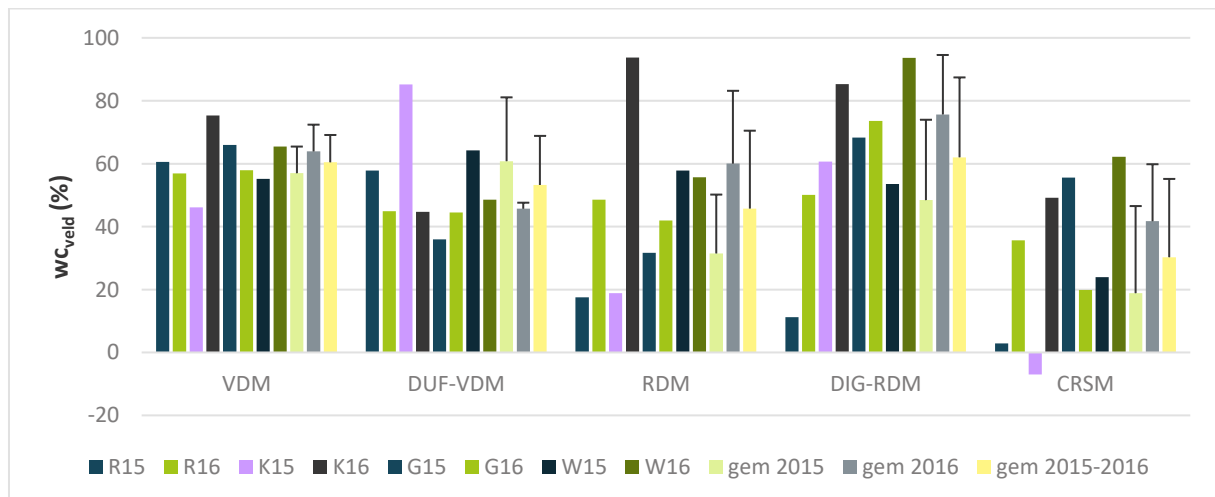
met:

$N_{\text{mestproduct}}$ = de totale hoeveelheid N toegediend onder de vorm van organische mest

Bovenstaande methode wordt toegepast op de behandelingen waarin de individuele mestproducten worden toegediend: runderdrijfmest (RDM), varkensdrijfmest (VDM), digestaat van runderdrijfmest (DIG-RDM) en dunne fractie van varkensdrijfmest (DUF-VDM). Gecomposteerde runderstalmest (CRSM) wordt enkel in combinatie toegediend met DUF-VDM. Aangezien w_{Cveld} van dit mengsel en van DUF-VDM afzonderlijk bepaald konden worden, werd w_{Cveld} van CRSM berekend a.d.h.v. de gewichtsfracties van de twee componenten van het mengsel.

6.5.1.2 Resultaten

De berekende werkingscoëfficiënten vertoonden een vrij grote variabiliteit over de verschillende locaties en proefjaren. De gemiddelde werkingscoëfficiënt over beide proefjaren was in de veldproeven algemeen het laagst voor CRSM, gevolgd door respectievelijk RDM, DUF-VDM, VDM en DIG-RDM (Figuur 59). De DUF vertoonde in 2016 een afwijkende samenstelling van wat normaal te verwachten valt.



Figuur 59: Inschatting van de werkingscoëfficiënten van de individuele mestproducten gebruikt in de veldproeven (R = Roeselare, K = Kortemark, G = Gistel, W = Westerlo; 15 = 2015, 16 = 2016). Foutenbalken tonen de standaard afwijkingen op de gemiddelden.

Er zijn slechts een beperkt aantal significante verschillen in de werkingscoëfficiënten, met name tussen CRSM enerzijds en VDM en DIG-RDM anderzijds. Over alle behandelingen heen konden geen



statistisch significante hoofdeffecten aangetoond worden van locatie of proefjaar, maar toch lag, behalve voor DUF-VDM, de gemiddelde $w_{c_{veld}}$ in 2015 steeds lager dan in 2016. De DUF vertoonde in 2016 op 3 van de 4 proefvelden een afwijkende samenstelling van wat normaal te verwachten valt. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is een verschil in samenstelling van de mestproducten, met name in de verhouding tussen het gehalte aan minerale N en totale N. Een mogelijke bijkomende verklaring is dat in 2015 minder N werd vrijgesteld uit het organische deel van de mestproducten omwille van de relatief droge weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen. De WC bepaald via de veldproeven is lager dan de WC bepaald via incubatieproeven omwille van het groeiseizoen met actieve nutriëntenopname dat gemiddeld maar 4 à 5 maanden per jaar bedraagt in Vlaanderen. Op jaarbasis zal er dus een hogere N-werking zijn dan degene die bij deze teelten wordt berekend.

Tabel 87: Vergelijking van de vooropgestelde werkingscoëfficiënten en de werkingscoëfficiënten bekomen uit veldproeven.

	Vooropgestelde coëfficiënt (%)	Coëfficiënt veldproeven (%)	Vooropgestelde coëfficiënt (%)	Coëfficiënt veldproeven (%)	Coëfficiënt veldproeven (%)
	2015	2015	2016	2016	2015-2016
VDM	60	57	60	64	60
DUF-VDM	68	61	80-100	46	53
RDM	60	31	60	60	46
DIG-RDM	64	48	80-100	76	62
CRSM	30	19	30	42	30

6.5.2 Plantopbrengst en nitraatresidu

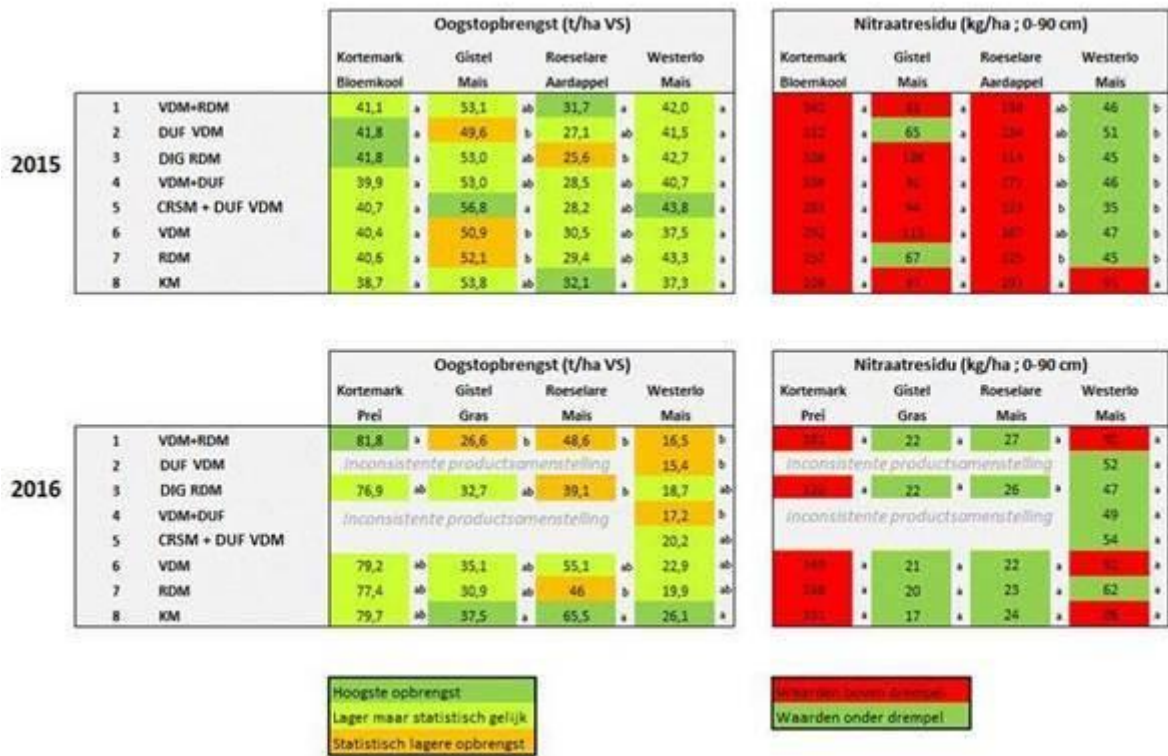
Onderstaande tabel geeft het overzicht van oogstopbrengsten (verse stof nuttige oogstbiomassa) en nitraatresidu's op einde van het groeiseizoen weer. Voor het eerste veldproefjaar (2015) zijn de oogstopbrengsten zeer analoog zonder noemenswaardige afwijking tussen de 8 behandelingen overheen de geteste teelten. De nitraatresidu's lagen in West-Vlaanderen algemeen boven de drempelwaarde, terwijl in Westerlo enkel de kunstmest behandeling een overschrijding gaf. Groenten en aardappelen laten gemiddeld gezien een hoger nitraatresidu achter.

Voor het tweede veldproefjaar (2016) zijn er meer uitgesproken patronen op vlak van teeltopbrengsten:

- voor prei is de oogst niet-significant verschillend tussen de behandelingen en lagen de nitraatresidu's ook voor alle behandelingen boven de drempelwaarde, waaruit kan geconcludeerd worden dat stikstof niet limiterend is en zelfs in overmaat aanwezig is. Dit is een gevolg van de zeer hoge mineralisatiecapaciteit van het perceel;
- voor de overige drie teelten zien we dat de kunstmestbehandeling beter scoorde wat betreft teeltopbrengst; hierbij zijn nitraatresidu's zeer laag voor alle behandelingen in Gistel (gras) en Roeselare (maïs), doch zijn deze residu's in Westerlo (maïs) duidelijk slechter voor de kunstmestbehandeling en de behandelingen met varkensdrijfmest. De lagere nitraatresidu's gekoppeld met lagere opbrengsten voor alternatieve bemestingsscenario's in 2016 voor teelten met een gemiddelde groeiduur met actieve nutriëntenopname van 4,5 maand doen vermoeden dat de vooropgestelde theoretische werkingscoëfficiënten te hoog zijn ingeschat en lager dienen te worden ingesteld naar toekomstige veld(proef)werking toe. Dit wordt ook bevestigd door het optreden van netto N immobilisatie in de meeste behandelingen, of een zeer lage netto N mineralisatie. Natuurlijk zal er altijd nog nutriënten vrijstelling zijn wanneer



de teelt geen opname meer vertoont en dit wordt bevestigd door het verschil in N-werking bepaald via veldproeven, die lager is, en N-werking bepaald via incubaties op jaarbasis, die hoger is.



Figuur 60. Vergelijking van opbrengsten en nitraatresidu's van alle proefvelden over beide proefjaren

6.5.3 Praktische haalbaarheid

Voor de start van de proef en toediening van de organische materialen wordt er telkens een bepaling gedaan van de nutriënteninhoud (N, P, K) voor de bemesting en tijdens de bemesting. De vergelijking tussen deze beide bepalingen, in elk van de 4 veldproeven, duidt op een fundamentele moeilijkheid bij uitvoering van dergelijke veldproeven. Er is vaak een groot verschil in de gemeten nutriënteninhoud van de mest voor de bemesting en tijdens de bemesting. Dit betekent dat de toegediende hoeveelheden nutriënten verschillen van de vooropgestelde hoeveelheden, en vooral voor N is dit een fundamenteel probleem. Immers, voor P en K wordt typisch over meerdere jaren gekeken en een teveel of tekort aan toegediende P en K kan in volgende seizoenen worden gecompenseerd. Voor N is dit niet het geval. Bij proeven waarbij eenzelfde soort mest gebruikt wordt en bv. enkel naar verschillen in dosissen wordt gekeken is dit nog niet noodzakelijk een groot probleem. Immers, dan zullen de toegediende dosissen weliswaar verschillen van de vooropgestelde dosissen, maar zolang er een voldoende bereik van dosissen is dit nog steeds zinvol. Bij vergelijking van verschillende types mest die moeten toegediend worden aan één bepaalde dosis is dit wel een fundamenteel probleem. Immers, bij verschillen in dosis vergelijkt men niet langer enkel de verschillende types mest, maar vergelijkt men de N trappen, wat hier niet de bedoeling is. Landbouwers worden hier in de praktijk uiteraard ook mee geconfronteerd, en zullen vaak lagere of hogere dosissen nutriënten toedienen met de dierlijke mest (en afgeleide producten) dan wat ze in gedachten hebben. Vaak bestaat de grootste afwijking tussen vooraf bemonsterde (bewerkte) mest en de uiteindelijk bemonsterde toegediende mest bij die mest die bedrijfsvreemd wordt aangevoerd. **Enkel analyses bij mesttoediening kunnen waarborgen hoeveel nutriënten exact op het perceel worden aangebracht.**

Onderstaande tabel geeft de waargenomen verschillen weer in samenstelling tussen analyse ter hoogte van de opslagen vóór de bemestingsproeven en analyse bij de bemesting zelf. Dit punt verdiende na veldproefjaar 2015 bijzondere aandacht toen bleek dat er tussen opgezette proeven (zowel ten velde als in het labo / incubatieproeven) aanzienlijke verschillen en variatie wordt waargenomen in samenstelling voor producten die onder dezelfde noemer (VDM, DUF,...) worden gehanteerd. Bij nauwere en nadere beschouwing in 2016 blijken er verschillen op te treden voor producten gehanteerd in een welbepaald object, ongeacht van de bemerkingen gemaakt voor 2015 tussen veldproeven. De meest frappante afwijking is te melden voor DUF in Kortemark, Roeselare en in mindere mate ook Gistel. Voor Kortemark en Roeselare kan men er zelfs van uitgaan dat het product dat door de landbouwer/mestvoerder als DUF wordt bestempeld, een ernstige afwijking vertoont van wat normaal zou verwacht worden. Een dunne fractie na scheiding zou immers geen 8,2 kg P₂O₅ meer mogen bevatten, maar komt soms toch wel eens voor in de praktijk.

In het project wordt geopperd om trajecten te bekijken die variabiliteit in samenstelling kunnen reduceren. Eén van de suggesties is **homogeniseren van de mestopslag door menging** : het homogeniseren van mengmest verkleint de variabiliteit. Vooral rundveehouders homogeniseren hun mengmest om een zo gelijk mogelijk product te kunnen spreiden op alle percelen. Dit is weinig ingeburgerd bij varkenshouders om reden dat er dieren in de stal zitten (een rundveehouder kan de dieren omwille van bioveiligheid in een weide plaatsen) en er niet veel incentive is aangezien de varkenshouder niet de hoofdgebruiker is van de eigen mest. Niettemin kan het aanbieden van gehomogeniseerde mest aan derden de variabiliteit in bemestende waarde, en dus ook het nitraatresidu bij de afnemer, verkleinen. Varkenshouders kunnen bekijken op welke wijze zij wel gehomogeniseerde mest kunnen aanbieden aan hun afnemers.

Een andere suggestie is dat door **vakkennis** de landbouwer rekening kan houden met de intrinsieke variatie in de mestsamenstelling indien niet gehomogeniseerd wordt. Indien een landbouwer ervoor opteert om mengmest niet te homogeniseren, dan kan hij/zij op basis van ervaring, inschatten wat het verschil is in de bemestende waarde en het mineralisatiegedrag van de mengmest van



opeenvolgende vrachten/lagen uit de mestkelder. Deze informatie kan meegegeven worden aan de afnemers van de mengmest zodoende dat deze hetzij de dosis mengmest, hetzij de dosis aanvullende kunstmest, hetzij het toedieningstijdstip van de kunstmest kan aanpassen of een vanggewas zo snel mogelijk inzaait na de hoofdteelt.

Ook kan **in line NIR analyse** mogelijkheden bieden om de exacte mestsamenstelling on-the-moment te kennen. Deze techniek wordt in dit onderzoek niet meegenomen omdat de praktische beschikbaarheid er momenteel nog niet is.

Tabel 88. Vergelijking samenstelling gemeten in opslag vóór de bemesting en deze waargenomen bij de feitelijke bemesting

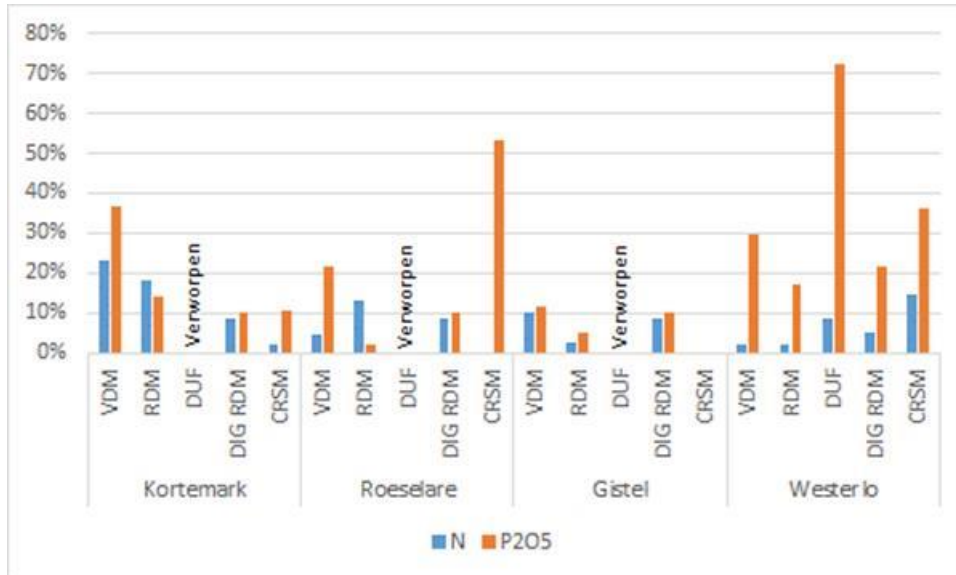
N (kg/t)	Kortemark		Roeselare		Gistel		Westerlo	
	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting
VDM	6	4,6	6,5	6,2	6	5,4	5,5	5,4
RDM	3,9	3,2	4,6	4	3,9	4	4,6	4,5
DUF	3,1	5,6	3,1	4,3	3,1	4,3	4,7	4,3
DIG RDM	4,7	4,3	4,7	4,3	4,7	4,3	3,9	3,7
CRSM	8,9	9,1	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	7,6

P2O5 (kg/t)	Kortemark		Roeselare		Gistel		Westerlo	
	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting
VDM	5,2	3,3	3,7	2,9	5,2	4,6	5,1	3,6
RDM	1,1	1,3	1,7	1,7	1,14	1,2	1,39	1,63
DUF	0,25	8,2	0,25	1,5	0,25	1,5	0,47	0,81
DIG RDM	1,8	1,6	1,8	1,6	1,78	1,6	1,25	1,52
CRSM	5,8	6,4	5,8	8,9	5,8	5,8	5,8	3,7

K2O (kg/t)	Kortemark		Roeselare		Gistel		Westerlo	
	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting	In opslag	Bij bemesting
VDM	3,8	2,9	5,1	4,7	3,8	4,6	3,3	4,8
RDM	5,1	5,6	4,7	4,4	5,1	4,6	5,7	4,9
DUF	3,1	2,7	3,1	3,7	3,1	3,7	4,2	4,2
DIG RDM	5,9	5,4	5,9	5,4	5,9	5,4	3,8	3,9
CRSM	20	21,9	20	20	20	20	20	11,2

Het (**pocket**)**vergisten van runderdrijfmest** of het **composter**en van runder(**stal**)mest, stabiliseert de N. Voor deze 2 soorten is er erg weinig afwijking tussen de meting in opslag en bij toepassing.

//



Figuur 61. Waargenomen afwijkingen (%) in N en P₂O₅ tussen vooropgestelde samenstelling (staalname uit opslag) en effectieve bemesting (staalname bij bemesting; DUF in Kortemark, Roeselare en Gistel wordt niet meebeschouwd aangezien het uitgereden product kennelijk geen Dunne fractie is

Waargenomen afwijkingen >10% zijn problematisch wanneer beschouwd vanuit perspectief van ‘voorspelbare’ dosering ten aanzien van bemestingsadviezen. Zo merken we op dat de werkelijke N concentratie bij bemesting bij toeval voor alle alternatieve behandelingen (naast KM) lager lag dan bij de staalname in opslag (DUF in Kortemark, Roeselare en Gistel buiten beschouwing gelaten). De lagere doseringen gecombineerd met een forfaitaire overschatting van de werkingscoëfficiënt zullen samen naar gerede vermoeden aanleiding gehad hebben tot de minderprestatie ten aanzien van KM in 2016.

Alle toegediende mestproducten worden best **emissiearm** aangewend, bv door injectie bij de vloeibare mesten. Tijdens de proefuitvoering wordt dit ook zo toegepast. De vaste mesten hebben minder kans op N-vervluchtiging, maar worden best ook zo kort als mogelijk na toediening ingewerkt. Conventionele machines kunnen dit en zijn voldoende aanwezig in Vlaanderen.

6.5.4 Zware metalen

6.5.4.1 Inleiding

Eén van de nevenvragen gekoppeld aan het project, betrof het lot van sporelementen bij vooropgestelde bemestingregimes in de veldproeven. Immers, mest / bemestingsproducten bevatten niet enkel macro-nutriënten maar ook essentiële micro-nutriënten. Deze elementen zijn noodzakelijke minerale voedingsstoffen voor plant en dier maar kunnen in overmaat schadelijk zijn.

6.5.4.2 Situering

De concentratie aan zware metalen in dierlijke mest is afhankelijk van de concentratie in het veevoeder. De hoogste metaal concentratie in varkens- en rundermest wordt doorgaans vastgesteld voor Cu en Zn (Nicholson et al., 1999). Cu en Zn worden toegevoegd aan het dieet als supplement in diervoeder alsook in medicinale remedies. In deze studie worden 8 producten geanalyseerd op zware metalen als deel van Luik 1 (zie Tabel onder). In Luik 1 worden de concentraties aan zware metalen reeds besproken in verband met nationale (VLACO, VLAREA) en Europese (end-of-waste criteria) limieten.



Tabel 89 geeft een overzicht van de kopertoediening in g Cu/ha per jaar. De kopertoediening overschrijdt de norm van 750 g Cu/ha/jaar in bijna alle gevallen waar er met DUF VDM wordt bemest. De overschrijding is het grootst wanneer er alleen met DUF VDM wordt bemest. In combinatie met de andere producten (CRSM en VDM) is de overschrijding minder uitgesproken. Dit komt doordat de concentratie van Cu in DUF VDM gelijkaardig is aan VDM en ongeveer drie keer zo hoog is als van CRSM. Ten opzichte van de stikstof en vooral de fosfaat concentratie in DUF VDM heeft DUF VDM de hoogste Cu:P₂O₅ ratio. Daarnaast leidt het gebruik van enkel RDM als bemesting ook tot een overschrijding van de toegelaten hoeveelheid. Het verschil met DIG RDM is dat de koper concentratie in dit mestproduct slechts de helft bedraagt van de waarde die men terugvond in RDM. DIG RDM en RDM zijn afkomstig van hetzelfde productieproces (voor en na pocketvergisting) waarbij de hoeveelheid aan zware metalen constant blijft. Het verschil zou dus verklaard kunnen worden aan een variërende invoer (de RDM verblijft gemiddelde 3 weken in de pocketvergistingsinstallatie) of staalname. Wanneer de kopertoedieningen de drempelwaarden overschrijden is deze overschrijding in veel gevallen eerder gering. In de gevallen waar de drempelwaarde met meer dan de helft wordt overschreden, kan men zien dat de norm van de 170 kg Ntotaal/ha wordt overschreden.



Tabel 91. Concentratie (mg/kg droge stof) aan zware metalen in verschillende mest types en afgeleiden hiervan op basis van de literatuur

Product type		Concentratie zware metalen (mg/kg droge stof)							Droge stof (%)	Aantal monsters	bron
		Zn	Cu	Cd	Pb	Ni	Cr	As			
Melkvee vaste mest	gem	153	37,5	0,38	3,61	3,7	5,32	1,63	18,4	6	Nicholson et al. 1999
	range	99-238	26,2-55,8	<0,10-0,53	<1,00-9,18	1,7-9,1	0,77-21,40	0,57-4,83	14,9-30,1	20	
Melkvee mengmest	gem	209	62,3	0,33	5,87	5,4	5,64	1,44	7,6	12	
	range	<5-727	<1,0-352	<0,10-1,74	<1,00-16,9	0,1-11,4	<0,20-12,9	<0,10-4,48	0,2-16,1	8	
Vleesvee vaste mest	gem	81	16,4	0,13	1,95	2	1,41	0,79	21	7	
	range	41-274	10,5-27,9	<0,10-0,24	<1,00-6,40	0,2-3,1	0,79-2,05	0,39-1,53	16,4-24,2	12	
Vleesvee mengmest	gem	133	33,2	0,26	7,07	6,4	4,69	2,6	12	12	
	range	68-235	17,5-48,7	0,11-0,53	1,07-18,0	1,9-20,4	1,13-15,7	0,43-10,8	2,2-21,0	8	
Varkens vaste mest	gem	431	374	0,37	2,94	7,5	1,98	0,86	21,7	-	
	range	206-716	160-780	0,19-0,53	1,01-4,65	3,0-24,3	0,67-3,42	0,52-1,34	14,4-32,6	-	
Varkens mengmest	gem	575	351	0,3	2,48	10,4	2,82	1,68	4,4	-	
	range	<5-2500	<1,0-807	<0,10-0,84	<1,00-9,74	<0,1-49,8	<0,20-6,81	<0,10-6,7	0,5-21,6	-	
varkensmest	gem	505,9	399	0,8	12,8	9,51	46,23	12	21,7	-	
	range	114-1506	36-1726	1,13-4,35	4,22-82,91	3,62-22,10	23,21-64,67	<4-78	-	-	
rundermest	gem	119	31	0.41	1.89	-	1.30	1.90	-	13 boerderijen grootte <100	
	range	34-224	14-59	nd-3.60	0.63-3.23	-	nd-3.60	0.73-4.65	-	<100	
	gem	126	31	0.14	2.24	-	1.09	2.72	-	13 boerderijen grootte 100-300	
	range	65-319	20-67	nd-1.80	1.03-4.68	-	nd-2.97	0.65-5.98	-	100-300	
varkensmest	gem	136	31	0.73	2.68	-	0.24	2.71	-	22 boerderijen grootte >300	
	range	17-377	10-113	nd-10	0.53-5.48	-	nd-1.05	0.46-19	-	300	
	gem	675	959	46	2.87	-	2.72	6.19	-	8 boerderijen grootte <200	
	range	332-902	267-1337	nd-203	1.38-4.03	-	nd-4.60	1.31-28	-	200	
varkensmest	gem	476	420	0.10	2.46	-	4.23	4.61	-	9 boerderijen grootte 200-800	
	range	156-860	78-890	nd-0.85	1.18-5.08	-	nd-29	1.00-9.51	-	200-800	
Varkens mengmest	gem	692	612	8.38	2.37	-	6.56	12	-	19 boerderijen grootte >800	
	range	63-1623	83-1521	nd-112	nd-4.53	-	nd-43	0.61-34	-	800	
Digestaat van melkvee mest (melkvee mest+ 25% bijproduct)	gem	770	640	0.3	<5	9	<10	<3	5.4	-	
	range	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vloeibare fractie van varkensmest – centrifuge	gem	280	100	0.15	<5	9	<10	<3	6.4	-	
	range	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vloeibare fractie van varkensmest – vijzelpers	gem	550	210	0.5	<5	9	<10	<3	3.6	-	
	range	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vloeibare fractie van varkensmest – centrifuge	gem	900	810	0.5	<5	15	<10	<3	3.1	-	
	range	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vloeibare fractie van varkensmest – vijzelpers	gem	990	780	0.5	<5	12	<10	<3	4.4	-	
	range	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



Vaste fractie van varkensmest – centrifuge	gem	530	370	0.15	<5	11	<10	<3	25.4	-
	range									-
Vaste fractie van varkensmest – vijzelpers	gem	200	160	0.15	<5	6	<10	<3	36.3	-
	range									-

nd: niet gedetecteerd



6.5.5 Andere aspecten

Een vergelijking van de concentraties aan bodem organische koolstof, voedingselementen en sporenelementen/zware metalen in de bodem vóór de teelt met die op het einde van de teelt is eigenlijk niet echt zinvol, want deze concentraties veranderen slechts langzaam (over (vele) jaren). De standaardafwijking op de bodemanalyse ligt hoger dan het marginaal effect van aanrijking / depletie voor deze componenten op korte termijn. Een initiële staalname is zinvol om de uitgangssituatie te schetsen. Daarnaast is het zinvoller om metaalconcentraties in de bemestingsproducten op te volgen en te vergelijken met teeltgegevens. Dan kan je extrapolaties maken op langere termijn. Elke conclusie die we zouden koppelen aan het verschil tussen laatste en eerste bodemanalyse zou wetenschappelijk niet correct zijn, dus zijn we gehouden om dit hier te vermelden. Indien dus verschillen gezien worden in concentraties voor en na zal dit te wijten zijn aan inherente variabiliteit in de percelen en variabiliteit bij monsternamen, eerder dan aan echte veranderingen. Uit het huidige proefopzet kan enkel door gebruik van RDM, DIG RDM of CRSM een bijdrage tot voldoende aanvoer van organische stof gerealiseerd worden.

Om balansen op langere termijn te kunnen simuleren / modelleren voor spoorelementen, organische koolstof alsook van elementen zoals natrium t.o.v. calcium of magnesium, wordt een gerichte analyse aangeraden van zowel producten als teelten in een opzet die analoog is als de bepaling van P- en K-balansen zoals in de huidige studie wordt uitgevoerd (zie 6.4).

7 POTPROEVEN: KARAKTERISATIE VAN DE PLANTBESCHIKBARE P

7.1 OPZET

De bepaling van een werkingscoëfficiënt voor P dient anders te worden benaderd dan de N-werking van een organische meststof. Fosfor is meestal in de landbouwbodem reeds in grote hoeveelheden aanwezig onder plantbeschikbare vorm en dus opneembaar voor het gewas. Een gevolg daarvan is dat P-meststoffen een lage werkingscoëfficiënt lijken te hebben. De P die immers niet wordt aangevoerd vanuit de bemesting is dikwijls wel voorradig in de bodem. Bemestingsadviezen voor P worden, anders dan bij N, gewoonlijk ook berekend op vruchtwisselingsniveau. Hierbij wordt in een vruchtbare bodem voorgehouden dat ongeveer evenveel dient bemest te worden als er met de oogst van de gewassen wordt afgevoerd. Dit wil echter niet zeggen dat de P aanwezig in de meststof op korte termijn (1 groeiseizoen) even snel of gemakkelijk beschikbaar komt voor het gewas. Er zijn zowel gevallen bekend waarbij de P sneller beschikbaar komt uit minerale meststoffen dan uit organische mest als omgekeerd. Er worden reeds P-werkingscoëfficiënten van organische meststoffen vastgesteld van <0 tot >375% in vergelijking met verschillende types van minerale P-meststoffen (van Dam en Ehlert, 2008). Er wordt echter wel aangenomen dat op de lange termijn (meerdere jaren) 100% van de P-bemesting (minus eventuele verliezen door uitspoeling, erosie, P-fixatie e.d.) beschikbaar komt, ongeacht de mestvorm. Bij de bepaling van de P-werkingscoëfficiënt op korte

////////////////////////////////////

De dosissen van de meststoffen die worden toegediend aan de potten (zie verder), worden gebaseerd op de samenstelling van de meststoffen zoals deze wordt bepaald door het laboratorium ILVO-Plant, Teelt en omgeving (zie Tabel 2b).

Tabel 92. Bodemeigenschappen van de gebruikte grond in de potproef ter bepaling van de P- en K-werkingscoëfficiënten. Beoordeling als akkerland volgens de bodemkundige dienst van België (ref: Maes, S., Elsen, A., Tits, M., Boon, W., Deckers, S., Bries, J., Vogels, N., Vandendriessche, H. 2012. Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw- en weilandpercelen (2008-2011). Bodemkundige Dienst van België)

Parameter	Eenheid	Gehalte	Beoordeling
Bodemtextuur	-	Zandleem	-
pH-KCl	-	5,33	laag
organisch koolstofgehalte	%/droge grond	1,63	streefzone
P-gehalte (A.L. extractie)	mg P/ 100g grond	4	zeer laag
K-gehalte (A.L. extractie)	mg K/ 100g grond	6	laag
Ca-gehalte (A.L. extractie)	mg Ca/ 100g grond	138	streefzone
Mg-gehalte (A.L. extractie)	mg Mg/ 100g grond	11	streefzone
N-totaal (N-Dumasmethode)	%/droge grond	0,152	-

P- en K-bemesting (Tabel 93)

- Om de dosis-responscurves voor P op te stellen worden 3 behandelingen (P0, P45, P90) met triple superfosfaat aangelegd. Bij alle P-trappen is een dosis van 180 kg K₂O/ha gegeven. Zodoende is er nooit kaliumgebrek bij de P-trappen.
- De behandeling “blanco bodem” wordt toegevoegd aan de potproef om een inschatting te kunnen geven van de nalevering van P en K door de bodem zelf.
- De hoeveelheid mest wordt berekend als het equivalent van een P-gift van 90 kg P₂O₅/ha per product. Dit is de wettelijk toegelaten norm anno 2015 op grasland van fosfaatklasse III (MAP V). Dit benadert ook de werkelijke P-export door productief grasland. Het gros van de Vlaamse landbouwbodems bevindt zich in de klasse III. De bodem die in deze proef wordt gebruikt, wordt volgens de mestwetgeving echter ingedeeld in klasse I.
- Wanneer er via de organische bemesting geen 180 kg K₂O/ha wordt toegediend, wordt de K-gift verder aangevuld met KCl. Bij een aantal behandelingen wordt de vooropgestelde bemesting van 180 kg K₂O/ha ruimschoots overschreden. Er wordt van uit gegaan dat bij een gift hoger dan 180 kg K₂O/ha, geen meeropbrengst meer te verwachten valt gezien de korte duur van de potproef en de beperkte hoeveelheid K die op deze periode door het gras kan afgevoerd worden. Om echter de gewasrespons op K te gaan controleren, worden de behandelingen K0, K60 en K120 toegevoegd. Deze behandelingen kregen ook 120+60 kg N/ha (zie verder) en 90 kg P₂O₅/ha toegediend.

N-bemesting (Tabel 93)

- Om in de potproef opbrengstverschillen te kunnen toewijzen aan P, mag het nutriënt N niet limiterend zijn. De hoeveelheid minerale N die beschikbaar zou komen tijdens de potproef kan vooraf niet worden ingeschat omdat de potproef en de incubatieproeven voor de bepaling van N-mineralisatie (zie verder) gelijktijdig worden opgestart. Er wordt



vooropgesteld dat bij een N-gift van 180 kg N/ha onder minerale vorm de groei niet zou beperkt worden door N-gebrek, gezien de korte duur van de proef (77 dagen) en de beperkte biomassa productie (\pm 3500 kg DS/ha).

- Voor de behandelingen met minerale meststof wordt geopteerd om een dosis van 120 kg N/ha uit minerale meststof (NH_4NO_3 27%) te geven bij de start van de proef. Aan de behandelingen met mestproducten wordt een dosis van 120 kg N/ha uit minerale meststof (NH_4NO_3 27%) toegediend, verminderd met de hoeveelheid N die reeds onder minerale vorm aanwezig is in de mestproducten (zie Tabel 93). Vervolgens wordt een N-bijbemesting (NH_4NO_3 27%) van 60 kg N/ha gegeven na de 3^e snede. Bij 1 behandeling wordt bij de eerste N-gift >120 kg Nmin/ha gegeven via de organische meststof, omwille van de samenstelling van de meststof. Deze hoeveelheid wordt van de bijbemesting tussen de 3^e en 4^e snede afgetrokken voor deze behandeling (zie Tabel 93).
- Iedere behandeling kreeg dus een minimum van 180 kg N/ha toegediend onder minerale vorm gedurende de potproef. De hoeveelheid minerale N die tijdens de potproef beschikbaar is voor het gras bij de behandelingen met organische mestproducten is echter >180 kg N/ha omwille van de bijkomende mineralisatie van de mestproducten. De N-mineralisatie wordt echter bij de proefopzet niet in rekening gebracht om te vermijden dat deze vrijstelling overschat zou worden en er dus minder minerale N bij de organische mestproducten zou zijn dan bij de minerale meststofobjecten. Hiermee bedoelen we dat als er minder minerale N zou toegevoegd worden in de proef bij de organische meststoffen, en we zouden rekenen met een theoretische mineralisatie van bijv. 60%, en achteraf blijkt de mineralisatie uit de organische meststoffen toch lager uitvalt dan voorzien, dan zou er N-gebrek kunnen geweest zijn waardoor de opbrengsten door N en niet door P bepaald zouden zijn. Is er bv. standaard met 60% mineralisatie gerekend, dan is er voor het product DIF VDM LNP hoogstwaarschijnlijk een probleem van N-gebrek geweest tijdens het verloop van de proef, omdat voor dit product vastgesteld wordt dat de mineralisatie veel lager is dan de 60% die vooropgesteld wordt in het Mestdecreet. Ook andere producten hadden een mineralisatiepercentage lager dan 60%. Om dus N-gebrek uit te schakelen, hebben we enkel gerekend met de minerale N die zeker beschikbaar is, nl. de minerale N reeds aanwezig in de organische meststof, aangevuld met minerale N via aanvullende bemesting. In Tabel 94 wordt weergegeven hoeveel minerale N er theoretisch beschikbaar wordt gesteld uit de minerale meststof en door mineralisatie van de organische mestproducten. Hierbij wordt de mineralisatie ingeschat op basis van de N-mineralisatie incubatieproeven uitgevoerd door ILVO en UGent. Aangezien de omgevingsomstandigheden in serre en klimaatkassen (zie verder), anders zijn, wordt gerekend met de totale gemineraliseerde N aan het einde van de incubatieproeven i.p.v. van een hoeveelheid gemineraliseerde N gedurende 77 dagen (looptijd van de potproef).



Tabel 93. Beschrijving van de NPK-bemesting van de verschillende behandelingen in de potproef ter bepaling van de P-werkingscoëfficiënt.

Behandeling	Organische meststof				Minerale meststof			Totale Nmin/P/K bemesting		
	Ntot kg N/ha	Nmin kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha	NH ₄ NO ₃ (27%) kg N/ha	TSP (45%) kg P ₂ O ₅ /ha	KCl kg K ₂ O/ha	kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha
Blanco bodem	-	-	-	-	120+60	0	0	180	0	0
P0	-	-	-	-	120+60	0	180	180	0	180
P45	-	-	-	-	120+60	45	180	180	45	180
P90	-	-	-	-	120+60	90	180	180	90	180
K0	-	-	-	-	120+60	90	0	180	90	0
K60	-	-	-	-	120+60	90	60	180	90	60
K120	-	-	-	-	120+60	90	120	180	90	120
RDM	295	90	90	395	30+60	0	0	180	90	395
DIG RDM	284	110	90	354	10+60	0	0	180	90	354
CRSM	174	8	90	269	112+60	0	0	180	90	269
Behandeling	Organische meststof				Minerale meststof			Totale Nmin/P/K bemesting		
	Ntot kg N/ha	Nmin kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha	NH ₄ NO ₃ (27%) kg N/ha	TSP (45%) kg P ₂ O ₅ /ha	KCl kg K ₂ O/ha	kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha
DUF VDM ₁	186	11	90	382	109+60	0	0	180	90	382
VDM	235	78	90	181	44+60	0	0	180	90	181
DUF VDM LNP	339	147	90	265	0+33	0	0	180	90	265
DIF VDM LNP	80	9	90	40	111+60	0	140	180	90	180
VDM VOOR LNP	278	115	90	210	5+60	0	0	180	90	210
DIF VDM (voor Fraunhofer)	140	9	90	73	111+60	0	107	180	90	180
DIF VDM Fraunhofer**	142	30	90	73	90+60	0	107	180	90	180



DIF DIG Fraunhofer**	235	68	90	113	52+60	0	67	180	90	180
----------------------	-----	----	----	-----	-------	---	----	-----	----	-----

TSP: triple superfosfaat***Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM*

De N-bemesting wordt in 2 fracties gegeven, waarbij de 2^e fractie (+60 kg N/ha uit NH₄NO₃ 35%) tussen de 3^e en 4^e snede wordt gegeven. Bij een behandeling (vet aangeduid) wordt reeds met de organische bemesting een overmaat aan N_{min} gegeven via de organische meststof. Hiermee wordt rekening gehouden bij de 2^e N-gift. De berekeningen van de behandelingen met organische meststoffen worden gebaseerd op de mestanalyses uitgevoerd door het ILVO-laboratorium plant, teelt en omgeving, zoals deze in Tabel 4 worden weergegeven. De behandeling met DIF digestaat moest worden geschrapt omdat te weinig materiaal ter beschikking is om de potproef uit te voeren. Opeenvolgende stalen met een achtergrondkleur zijn gebaseerd op hetzelfde uitgangsmateriaal (oorsprong en bemonsteringstijdstip).



Tabel 94. Berekening van de theoretische hoeveelheid minerale N die beschikbaar kwam in de verschillende behandelingen, tijdens de potproef. Dit wordt berekend op basis van de incubatieproeven voor N-mineralisatie die worden uitgevoerd bij ILVO en UGent. Opeenvolgende stalen met een achtergrondkleur zijn gebaseerd op hetzelfde uitgangsmateriaal (oorsprong en bemonsteringstijdstip).

Behandeling	Organische meststof			Minerale meststof	Totaal mineraal beschikbare N
	Ntot kg N/ha	N-mineralisatie %	Nmin kg N/ha	NH ₄ NO ₃ (35%) kg N/ha	kg N/ha
Blanco bodem	-	-	-	120+60	180
P0	-	-	-	120+60	180
P45	-	-	-	120+60	180
P90	-	-	-	120+60	180
K0	-	-	-	120+60	180
K60	-	-	-	120+60	180
K120	-	-	-	120+60	180
RDM	295	99*	292	30+60	382
DIG RDM	284	73*	207	10+60	277
CRSM	174	14**	24	112+60	196
DUF VDM ₁	186	98**	182	109+60	351
VDM	235	>100*	235	44+60	339
DUF VDM LNP	339	>100*	339	0+33	372
DIF VDM LNP	80	22**	18	111+60	189
VDM VOOR LNP	278	NB	NB	5+60	NB
DIF VDM (voor Fraunhofer)	140	57**	79	111+60	250
DIF VDM Fraunhofer**	142	48**	68	90+60	218
DIF digestaat Fraunhofer**	235	50**	118	52+60	230

NB: niet bepaald, *: incubatieproef uitgevoerd door UGent, **: incubatieproef uitgevoerd door ILVO.





Figuur 62. Afwegen van de bodem (linksboven), toevoegen van de organische meststof (rechtsboven) en minerale meststof (linksonder) aan de bodem en menging van het geheel (rechtsonder).

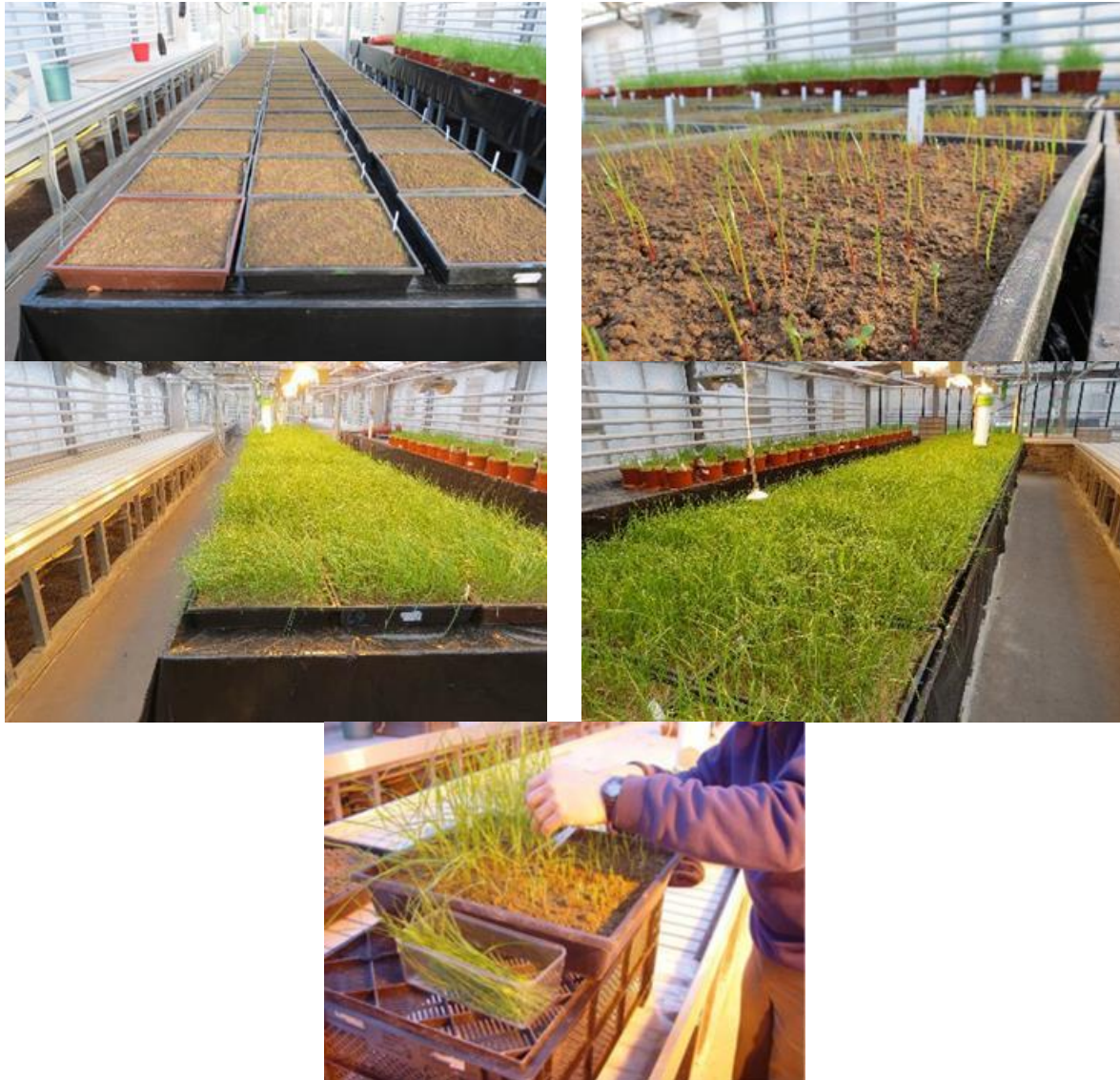
Proefverloop (Tabel 95)

- Bij de opstart van de potproef worden de verwerkte mestproducten en de minerale meststof onmiddellijk door de bodem gemengd en in de plantbakken overgebracht. De minerale meststof wordt tot poedervorm gemalen. Er wordt 11,5 kg verse grond per bak (B x L x H = 38 cm x 41 cm x 7 cm) voorzien.
- De bodem wordt aangedrukt en handmatig wordt tetraploïd Westerwolds raaigras (*Lolium multiflorum* L. subsp. *Westerwoldicum* cv. Lemnos) uitgezaaid (2400 kiemende zaden/m²) en afgedekt met 1 kg verse bodem per bak.
- Er worden per behandeling en per P-trap, respectievelijk 3 en 4 herhalingen voorzien.
- De bakken worden permanent bijbelicht in een serre met assimilatiebelichting (6:00-22:00).
- Dagelijks wordt het vochtgehalte van de bakken nagekeken en wordt er tot 1 l water gegeven indien nodig. Tussentijds worden telkens ook de bakken doorgeschoven volgens een vast stramien om eventuele verschillen in assimilatiebelichting op te vangen.
- Er worden geen ziektesymptomen vastgesteld. Onkruid wordt handmatig verwijderd bij de 1^e snede.
- De DS-opbrengst wordt per snede en per bak afzonderlijk bepaald door handmatig te knippen tot een stoppel van 5 cm en het gras 48u te drogen in een mechanisch geventileerde droogstoof bij 70°C.
- Om voldoende staal te verkrijgen voor een chemische analyse wordt een mengstaal gemaakt van de 1^e, 2^e en 3^e snede. Achteraf wordt ook de 4^e snede geanalyseerd op chemische samenstelling.
- Het opzetten en het verloop van de proef wordt geïllustreerd in Figuur 62 en Figuur 63.



Tabel 95. Overzicht van het verloop van de potproef ter bepaling van de P-werkingscoëfficiënt

Dagnummer	Datum	Werkzaamheid
1-2	14-15/04/2015	Opzetten potproef
4	17/04/2015	zaai
9-11	22-24/04/2015	Opkomst
25	8/05/2015	1 ^e snede
37	20/05/2015	2 ^e snede
56	8/06/2014	3 ^e snede
57	9/06/2014	N-bijgift
77	29/06/2015	4 ^e snede



Figuur 63. Zicht op de potproef op 24/04/2015 (bovenaan), op 7/05/2015 (midden). Onderaan een voorbeeld van het oogsten van een snede gras.

Chemische analyses

- De gedroogde plantenstalen worden gemalen in een plantenmolen met afzuiging (cyclotron).
- De N-inhoud wordt rechtstreeks bepaald in een total N-analyzer volgens de N-Dumas methode.
- De K, Na, Ca en Mg – inhoud wordt bepaald via CMA 2/IV/19 - ICP-OES. Hierbij wordt het plantstaal droog verast bij 450°C en vervolgens opgelost in salpeterzuur. Via ICP-OES worden K-, Na-, Ca- en Mg-inhoud bepaald.



- De P-inhoud wordt bepaald via BAM / deel 2/04 -spectrofotometrisch. Hierbij wordt het plantstaal droog verast bij 550°C en vervolgens opgelost in salpeterzuur. Via een spectrofotometer wordt de P-inhoud gemeten (extinctie bij 430 nm) na toevoeging van een kleurreagens (vanadaatmolybdaat).
- Ter controle van de chemische samenstelling van het geoogste gras wordt ook de Na-, Ca-, Mg- en N-export in kaart gebracht per behandeling. Deze wordt statistisch vergeleken met de P90-behandeling als referentie (Dunnett-test, p<0,05).

7.2 DE P-WERKINGSCOËFFICIËNT

7.2.1 P-werkingscoëfficiënt op basis van de DS-opbrengst

De P-werkingscoëfficiënt van een organische meststof kan als volgt worden berekend:

$$WCP_{DS}(\%) = \frac{[DS_{\text{organische meststof}} - DS_{P0}]}{[DS_{P90} - DS_{P0}]} * 100$$

Op deze wijze wordt de meeropbrengst aan DS door het bemesten met de organische meststof ten opzichte van de P nulbemesting (P0) berekend relatief ten opzichte van de meeropbrengst aan DS door het bemesten met triple superfosfaat aan een zelfde P-dosis (P90; 90 kg P₂O₅/ha).

In principe is de P uit triple superfosfaat 100% oplosbaar in de bodemoplossing en dus ook 100% beschikbaar voor het gewas. In bodems waar weinig P in de bodemvoorraad zit, kan echter snel een deel van de P in de bodemoplossing worden geadsorbeerd aan minerale bodemdeeltjes. Organische meststoffen kunnen soms P gaan beschermen tegen adsorptie door vrijstelling van organische zuren die de Fe- en Al-binding sites voor P gaan blokkeren, of zelfs in competitie treden met de P adsorptie en deze zo verhinderen (Siddique and Robinson, 2003, Agbenin and Igbokwe, 2006; Jiao et al., 2007). Dit maakt dat de P-werkingscoëfficiënt voor organische meststoffen >100% kan zijn, waarbij de organische meststof dus een hogere P-beschikbaarheid heeft dan minerale meststof. P-werkingscoëfficiënten van >100% worden reeds vastgesteld voor een aantal organische meststoffen (van Dam en Ehlert, 2008). Het gebruik van bepaalde types organische meststoffen (bijv. stalmest) kan leiden tot het in stand houden van hogere P-gehalten in de bodemoplossing, daar waar P uit andere types organische meststoffen (bv. compost) of anorganische meststoffen soms onmiddellijk na oplossen worden geadsorbeerd aan minerale bodemdeeltjes (Fe, Al of Ca (hydr)oxides). Dit wordt reeds in meerdere langetermijn veldproeven vastgesteld (Johnston, 2000; Pizzeghello et al., 2011; Vanden Nest et al., 2016).

De WCP_{DS}(%) wordt bepaald op basis van de DS-opbrengsten van de 4 grassnedes samen.

7.2.2 P-werkingscoëfficiënten op basis van de P-export

De P-werkingscoëfficiënt kan ook bepaald worden door de berekening te maken op basis van de P-export door het geoogste gras in plaats van de DS-opbrengst. In het kader van deze studie wordt de oefening gemaakt om de werkingscoëfficiënten ter controle ook op deze wijze te berekenen. De berekeningswijze is volledig analoog, waarbij de DS-opbrengst wordt vervangen door de totale P-export. Deze wordt berekend op basis van de DS-opbrengst en de P-gehalten van het gras, bepaald via chemische analyse (zie boven).

$$WCP_P(\%) = \frac{[P\text{-export}_{\text{organische meststof}} - P\text{-export}_{P0}]}{[P\text{-export}_{P90} - P\text{-export}_{P0}]} * 100$$

De WCP_P(%) wordt bepaald op basis van de DS-opbrengsten van de 4 grassnedes samen.

////////////////////////////////////

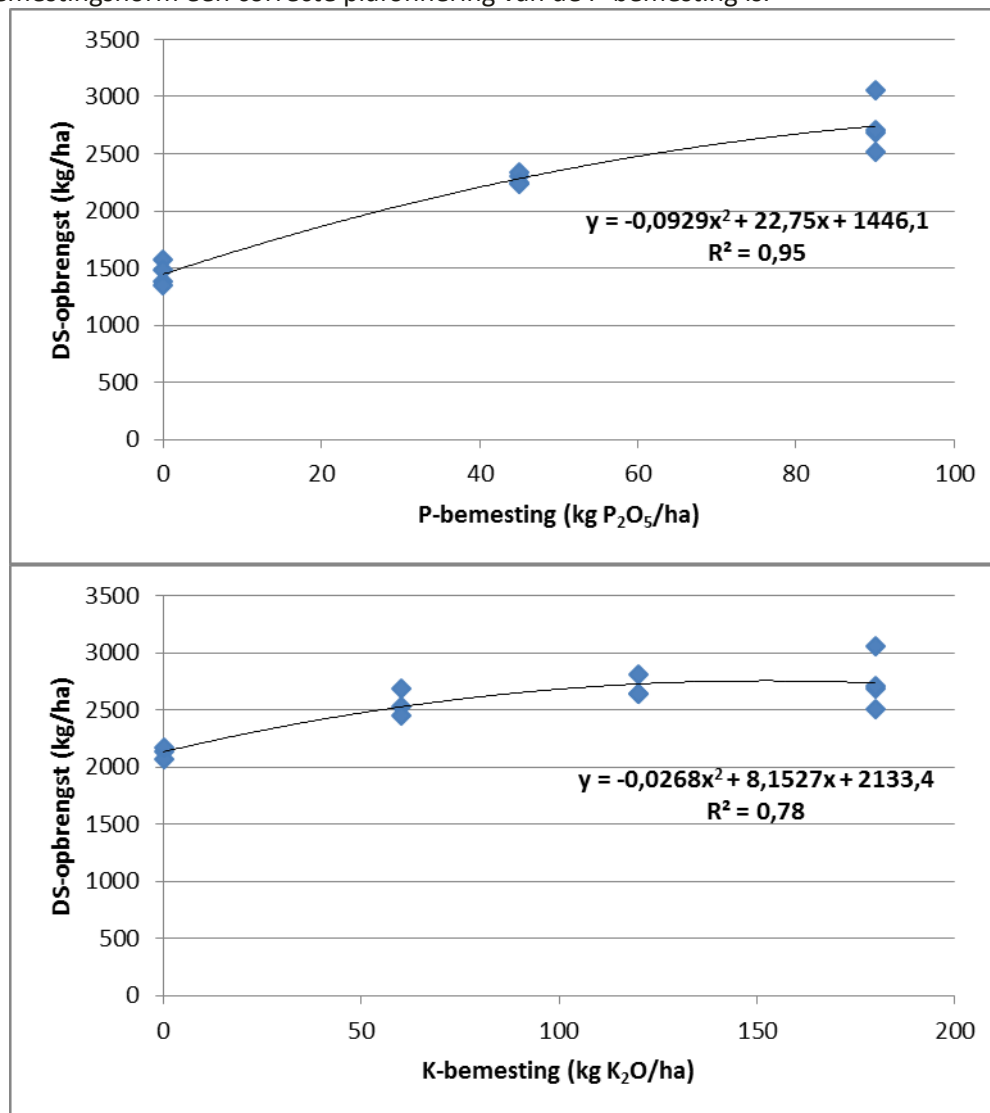
7.3 RESULTATEN

7.3.1 Dosis-reponscurves voor P en K

Om een idee te vormen van de gewasrespons in deze bodem op een P- en K-bemesting, worden de dosis-responscurves voor P en K opgesteld op basis van de DS-opbrengst van de 4 snedes samen en de minerale bemestingen met triple respectievelijk superfosfaat (0, 45 en 90 kg P₂O₅/ha) en chloorpotas (0, 60, 120 en 180 kg K₂O/ha) (Figuur 64).

Het is duidelijk te zien in Figuur 64 dat de DS-opbrengst duidelijk toeneemt met toenemende P-bemesting. Deze bodem is dus geschikt om de P-bemestende waarden van de verwerkte mestproducten te beoordelen. De gewasresponscurve voor triple superfosfaat vertoont duidelijk een 2^e orde kinetiek, waarin rekening gehouden wordt met de afnemende meeropbrengst. De DS-opbrengst van de trappen P0 en P90 zullen gebruikt worden in de berekening van de WCP_{DS}.

Via de afgeleide van de responscurve voor de P-dosis kan bepaald worden dat een maximale DS-opbrengst wordt bereikt bij een dosis van 122 kg P₂O₅/ha. Deze bemestingsdosis ligt dicht tegen de maximaal toegelaten P-bemesting (115 kg P₂O₅/ha) van MAP V voor grasland in fosfaatklasse I, waartoe de gebruikte bodem behoort. Dit geeft aan dat P-bemesting >122 kg P₂O₅/ha in deze bodem weinig zin heeft en dat de maximale bemestingsnorm een correcte plafonnering van de P-bemesting is.



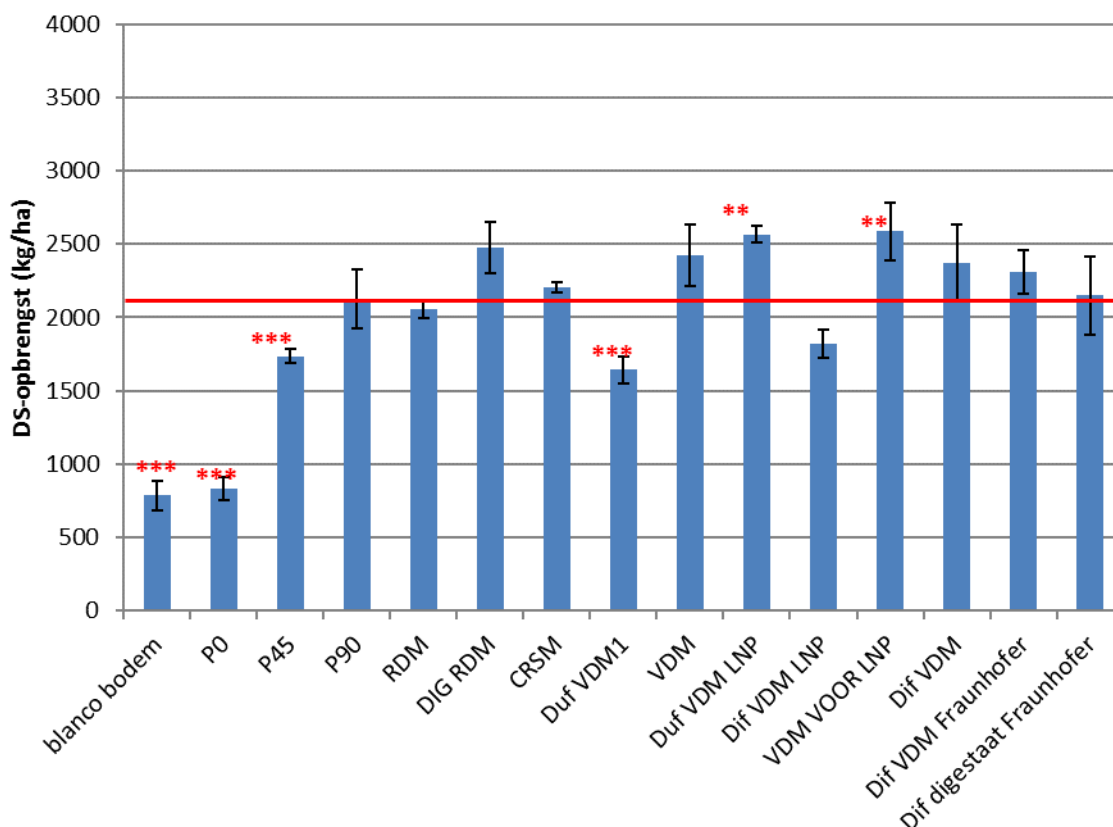
Figuur 64. De dosis-responscurves van DS-opbrengst van de 4 snedes samen voor triple superfosfaat (P0, P45 en P90) (bovenaan) en chloorpotas (K0, K60, K120 en P90) (onderaan). De 2^e orde vergelijking en R² staan in de grafiek vermeld.

Er is een gewasrespons op de bemesting met chloorpotas (Figuur 64). De K-gift hoger dan 120 kg K₂O/ha heeft echter geen stijging in DS-opbrengst tot gevolg. Op basis van deze vaststelling kunnen we aannemen dat de verschillen in DS-opbrengst die tussen de behandelingen worden vastgesteld geen K-effect zijn. Alle behandelingen van de P-trap en behandelingen met verwerkte dierlijke mest hebben immers minstens een K-gift gekregen van 180 kg K₂O/ha.

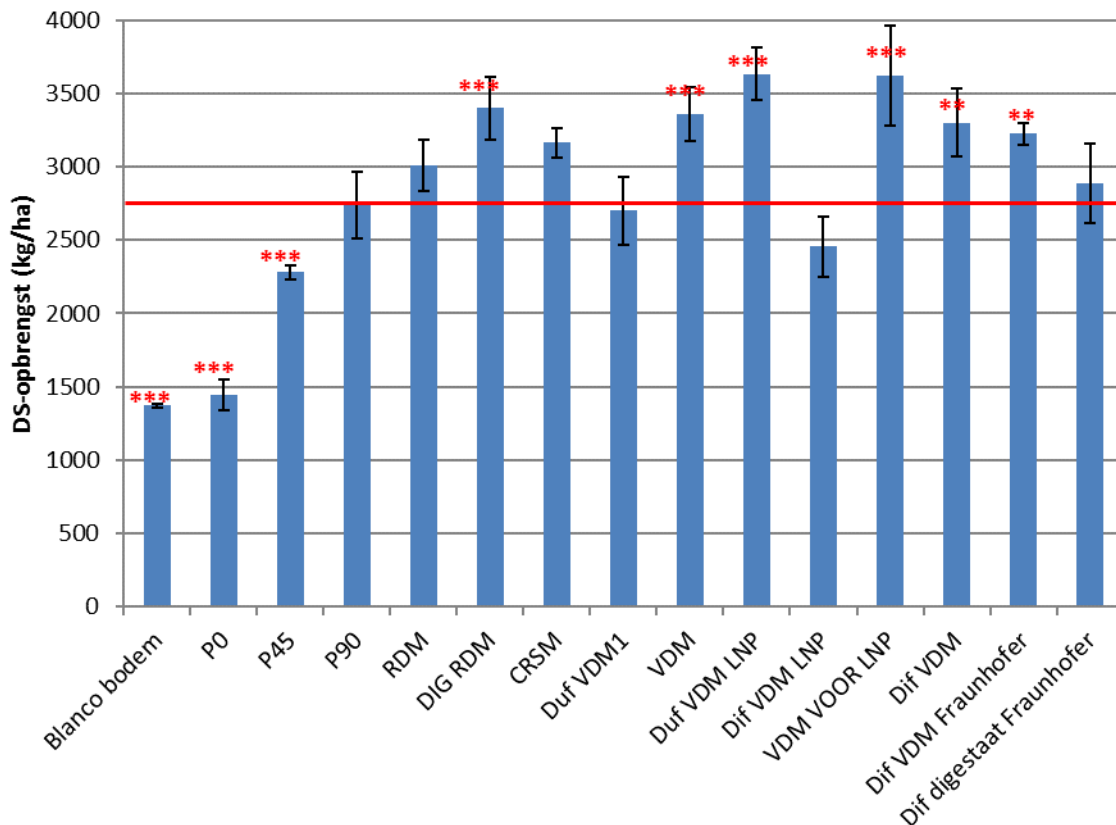
7.3.2 P-werkingscoëfficiënt op basis van de DS-opbrengst

In Figuur 65 en Figuur 66 wordt de DS-opbrengst van respectievelijk de eerste 3 en de 4 grassnedes samen op grafiek weergegeven. In Figuur 65 kan opgemerkt worden dat het product DUF VDM₁ leidt tot een significante minderopbrengst en DUF VDM LNP en VDM voor LNP leiden tot een significante meeropbrengst in vergelijking met de referentiebehandeling P90. Alle andere producten leiden tot vergelijkbare DS-opbrengsten dan bij de referentiebehandeling P90. Na de 4^e grassnede blijven de verschillen tussen de verwerkte mestproducten onderling behouden. De DS-opbrengsten van alle verwerkte mestproducten nemen echter relatief ten opzichte van de referentie P90 toe. De producten DIG RDM, VDM, DUF VDM LNP, VDM voor LNP, DIF VDM en DIF VDM Fraunhofer leiden tot een significant hogere DS-opbrengst ten opzichte van P90. De andere producten leiden een DS-opbrengst die niet significant verschillend is van deze van de referentiebehandeling P90.

Het is opvallend dat de dunne fractie van varkensdrijfmest (DUF VDM₁) leidt tot een significant lagere opbrengst na 3 snedes, in tegenstelling tot de dunne fractie uit varkensdrijfmest volgens de Low Nutrient Press (DUF VDM LNP), die net leidt tot een significante meeropbrengst. Na de toepassing van de N-bijgift tussen de 3^e en 4^e snede gras, is de DS-opbrengst in de behandeling met DUF VDM₁ niet meer significant verschillend van deze van de referentiebehandeling P90. Dit doet N-gebrek vermoeden in de behandeling met DUF VDM₁. Er wordt een duidelijk verschillend NH₄-N gehalte voor DUF VDM₁ bij ILVO gemeten (Tabel 2b), in vergelijking met de DUF VDM₂ die bij UGent (Tabel 2a) wordt geanalyseerd. Het gaat hier echter om verschillende stalen die niet zomaar kunnen vergeleken worden: de analyse gebeurde op 2 verschillende stalen van dezelfde installatie, waarvoor de installatie bemonsterd wordt op 2 verschillende tijdstippen.



Figuur 65. De gemiddelde totale DS-opbrengsten van de eerste 3 grassnedes (\pm SD) samen per behandeling van de P-trap (4 herhalingen), de blanco bodem en de behandelingen met verwerkte mestproducten (3 herhalingen). De rode lijn legt de nadruk op de DS-opbrengst van de hoogste minerale P-trap (P90). De * geven aan welke behandelingen volgens de Dunnett-test significant verschillend (**: $p < 0,05$ en ***: $p < 0,01$) zijn van P90.



Figuur 66. De gemiddelde totale DS-opbrengsten van 4 grassnedes samen (\pm SD) per behandeling van de P-trap (4 herhalingen), de blanco bodem en de behandelingen met verwerkte mestproducten (3 herhalingen). De rode lijn legt de nadruk op de DS-opbrengst van de hoogste minerale P-trap (P90), welke als referentie dient in de berekening van P-werkingscoëfficiënt WCP_{DS} . De * geven aan welke behandelingen volgens de Dunnett-test significant verschillend (**: $p < 0,05$ en ***: $p < 0,01$) zijn van P90.

In Tabel 96 wordt de WCP_{DS} per behandeling weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat alle verwerkte dierlijke mestproducten een P-werking hebben die vergelijkbaar is met of hoger is dan deze van P90. Dit wijst er op dat er minstens evenveel P plant beschikbaar zal komen bij het gebruik van deze dierlijke mestproducten dan bij eenzelfde dosis triple superfosfaat. Ter vergelijking, in een potproef die volgens dezelfde procedure wordt opgezet door het ILVO met verschillende vormen van vloeibaar, gedroogd en gepelletiseerd digestaat, compost en biochar worden $WCP_{DS}\%$ vastgesteld gaande van 50 tot $>100\%$. Bij organische meststoffen kan de P-werkingscoëfficiënt dus ook veel lager liggen dan 100% (Vandecasteele et al., 2016). Uit de studie van van Dam en Ehlert (2008), bleek dat er grote variaties zijn in de P-werking van verschillende dierlijke meststoffen. Er worden werkingscoëfficiënten teruggevonden die varieerden van 30 tot 92% voor runderdrijfmest en 30 tot 378% voor runderstalmest. De P-werkingscoëfficiënten dienen dan ook in hun context te worden bekeken. Deze proef wordt uitgevoerd, specifiek in een P-arme bodem, om het effect van de meststof op de P-werking uit te vergroten. Bovendien zijn de P-werkingscoëfficiënten uitgedrukt in percentages, relatief ten opzichte van de referentiebehandeling P90. Het heeft dus weinig zin om bemestingsdosissen te gaan uitrekenen op basis van de P-werkingscoëfficiënten. Ze geven eerder aan (i) of

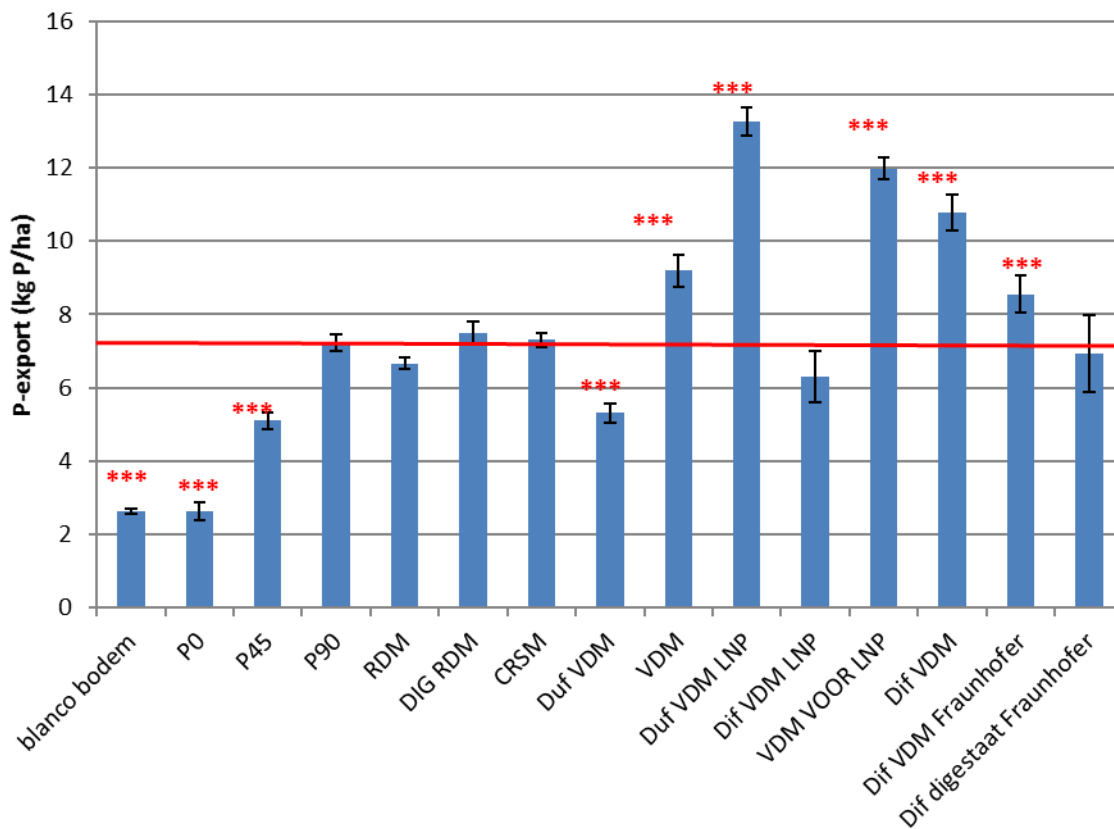
////////////////////////////////////

de P uit een (verwerkte) dierlijke mestbron in de weken na toepassing sneller, zo niet trager ter beschikking komt van het gewas, dan uit triple superfosfaat en (ii) of de dierlijke mestproducten de toegediende P al dan niet langer in oplossing kunnen houden (en dus opneembaar voor planten) dan triple superfosfaat.



sterk lager. De P-export kan echter wel relatief ten opzichte van referentie P90 worden bekeken en de WCP_P berekend worden.

In Figuur 67 wordt de P-export per behandeling weergegeven. Deze figuur wijst op dezelfde relatieve verschillen tussen de behandelingen als Figuur 65. De onderlinge verschillen zijn echter sterk uitvergroet.



Figuur 67. De gemiddelde totale P-export van de 4 grassnedes samen (\pm SD) per behandeling van de P-trap (4 herhalingen), de blanco bodem en de behandelingen met verwerkte mestproducten (3 herhalingen). De rode lijn legt de nadruk op de P-export van de hoogste minerale P-trap (P90), welke als referentie dient in de berekening van P-werkingscoëfficiënt WCP_P , De * geven aan welke behandelingen volgens de Dunnett-test significant verschillend (**: $p < 0,05$ en ***: $p < 0,01$) zijn van P90

In Tabel 97 wordt de WCP_P weergegeven. Ook hier kunnen we vaststellen dat WCP_{DS} en WCP_P gelijklopende resultaten hebben, en dat de verschillen tussen de producten sterker zijn uitvergroet. De WCP_P is significant lager voor RDM, DUF VDM₁ en DIF VDM LNP en significant hoger voor VDM, DIF VDM LNP, VDM voor LNP, DIF VDM en DIF VDM Fraunhofer in vergelijking met de referentie P90. Het valt opnieuw op zoals bij de DS-opbrengsten (zie eerder), dat DUF VDM₁ een sterk lagere P-werking heeft. De DUF VDM LNP heeft daarentegen net de hoogste P-werking van alle producten. Dit wijst opnieuw op een mogelijk N-gebrek bij de behandeling met DUF VDM₁. Het N-gehalte van het gras kan hierover meer uitsluitsel geven (zie verder). Op de ruwe runderdrijfmest (RDM) en de dikke fractie van varkensdrijfmest van de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP) na, hebben de mestproducten een gelijkaardige of betere werking dan triple superfosfaat. Voor DIF VDM LNP is dit gelijklopend met de P-werking berekend op basis van de DS-opbrengst (zie Tabel 96). Voor RDM is dit verschillend met de P-werking op basis van de DS-opbrengsten, waar geen significant verschil wordt vastgesteld tussen de P-werking van triple superfosfaat in P90 en RDM. Dit geeft aan dat voor RDM de relatieve gewasgroei hoger is t.o.v. van de relatieve totale P-export, wat ook blijkt uit de lagere P-concentratie (%/DS) voor RDM t.o.v. P90. Net zoals eerder aangehaald, dienen de werkingscoëfficiënten in hun context gezien te worden. Deze proef wordt uitgevoerd, specifiek in een P-arme bodem, om het effect van de meststof op de P-werking uit te vergroten en worden de P-werkingscoëfficiënten uitgedrukt in percentages, relatief ten opzichte van de referentiebehandeling P90. Bovendien kan er bij de werkingscoëfficiënten op basis van de P-export een invloed zijn van luxeconsumptie van P. Net als bij WCP_{DS} , heeft het weinig zin om WCP_P te gebruiken in het berekenen van bemestingsdosissen.



Tabel 97. Overzicht van de P-werkingscoëfficiënten op basis van de P-export (WCPP) van de referentiebehandeling P90, ten opzichte van de P0-behandeling. Voor de berekening worden de P-export van de 4 grassnedes van de potproef per bak gesommeerd, Behandelingen die volgens de Dunnett-test significant ($p < 0,05$) verschillend zijn van de referentie P90, zijn in het rood aangeduid. Opeenvolgende stalen met dezelfde achtergrondkleur zijn gebaseerd op hetzelfde uitgangsmateriaal (oorsprong en bemonsteringstijdstip). Er worden in dit verslag geen conclusies getrokken over de P-werking van DUF VDM1 (groene markering).

Product	WCP _p (%)
P90	100 ± 5
RDM	88 ± 6
DIG RDM	106 ± 9
CRSM	102 ± 8
DUF VDM₁	58 ± 11
VDM	143 ± 7
DUF VDM LNP	232 ± 11
DIF VDM LNP	80 ± 11
VDM VOOR LNP	204 ± 23
DIF VDM (voor Fraunhofer)	178 ± 12
DIF VDM Fraunhofer	129 ± 7
DIF digestaat Fraunhofer	94 ± 16

**Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM,*

7.3.4 Chemische samenstelling van het gras

7.3.4.1 N-gehalte

DUF VDM LNP en VDM voor LNP leiden tot een significant hoger N-gehalte van het raaigras in vergelijking met P90. In alle andere behandelingen, op DUF VDM na, worden N-gehalten gemeten die niet significant verschillend zijn van deze van P90. Zelfs in de behandelingen P0 en P45 worden geen lagere N-gehalten vastgesteld. Dit wijst er op dat er geen N-gebrek is voor het raaigras tijdens het verloop van de potproef. Als N limiterend zou zijn voor de gewasgroei, dat zou dit moeten duidelijk worden door een lager %N in het gewas. Bij de geteste producten is dit enkel het geval voor DUF VDM (zie hieronder), bij de andere producten wijst het %N in het gras dus niet op een N-gebrek tijdens de proef.

Het raaigras in de behandeling met DUF VDM₁ had wel een significant lager N-gehalte. Deze behandeling had zoals eerder aangehaald ook een significant lagere WCP_{DS} en WCP_p. Hoewel 3,66% N nog steeds een hoog N-gehalte voor raaigras is in vergelijking met raaigras in veldomstandigheden (2,5 à 3,0 %N/DS) wijst dit significant lagere N-gehalte op een mogelijk N-gebrek. Op basis van deze vaststelling vermoeden we dat de lagere werkingscoëfficiënt voor dit product te wijten kan zijn aan een lagere N-beschikbaarheid. Gezien de opbouw van de proef lijkt enkel onderdosering door menselijke fout bij deze behandeling met minerale N meststof bij de start van de proef plausibel. Dit wordt bevestigd door het vergelijken van de WCP_{DS} van deze behandeling van de eerste 3 snedes samen met de WCP_{DS} van deze behandeling van de 4 snedes. De WCP_{DS} bedroeg na 3 snedes 62% voor DUF VDM₁. Na de minerale bijgift van 60 kg N/ha tussen de 3^e en 4^e snede steeg de WCP_{DS} van DUF VDM₁ sterk tot 97%. Er wordt daarom in dit verslag geen verdere conclusie getrokken over DUF VDM₁.

ILVO heeft bij een volgende potproef in het kader van een andere onderzoeksopdracht extra N-trappen (nl. 0N, 60N, 120N en 180N) voorzien om aan te tonen dat bij de gebruikte proefopzet met 4 snedes er geen sprake is van een N-effect bij de toegepaste overdosering van N. Uit deze potproef bleek er geen significant hogere opbrengst te zijn bij 180N t.o.v. 120N, wat aantoont dat de hogere N-bemesting de gewasgroei niet verder stuurt bij een proefopzet gericht op P als limiterend nutriënt en met een N-dosering in overmaat. De

////////////////////////////////////

totale N-export van de 4 snedes in de potproef (berekend op basis van Figuur 66 en Tabel 89) bedroeg tussen de 99 en 209 kg N/ha voor de behandelingen met bewerkte mestproducten. De N-export uit de blanco-bodem (geen NPK bemesting), bedroeg gemiddeld 76 kg N/ha. Dit geeft aan dat de bodem via mineralisatie nog 76 kg N/ha uit de bodemvoorraad kan aanleveren aan het gewas. Samen met de 180 kg N/ha die uit minerale vorm wordt toegediend (totaal van de minerale N-gift bij start, N in minerale vorm aanwezig in het mestbewerkingsproduct en de minerale N-bijgift tussen de 3e en 4e snede) had het gras dus in alle behandelingen minstens 256 kg N/ha ter beschikking. In geen enkele behandeling met mestbewerkingsproducten benaderde N-export de hoeveelheid beschikbare N.



Tabel 98. Overzicht van de gemiddelde chemische samenstelling van de 4 grassnedes van de potproef per behandeling, Behandelingen die volgens de Dunnett-test significant ($p < 0,05$) verschillend zijn van de referentie P90, zijn in het rood aangeduid. Opeenvolgende stalen met dezelfde achtergrondkleur zijn gebaseerd op hetzelfde uitgangsmateriaal (oorsprong en bemonsteringstijdstip). Er worden in dit verslag geen conclusies getrokken over de P-werking van DUF VDM1 (groene markering).

Behandeling	N	P	K	Ca	Mg	Na
Blanco bodem	5,57	0,19	2,40	1,51	0,47	0,52
P0	5,26	0,18	4,62	1,11	0,26	0,03
P45	5,24	0,22	5,35	1,16	0,29	0,04
P90	5,17	0,26	5,18	1,23	0,34	0,13
RDM	4,99	0,22	5,77	0,97	0,30	0,12
DIG RDM	5,28	0,22	5,79	0,99	0,30	0,20
CRSM	4,90	0,23	5,51	0,94	0,30	0,16
DUF VDM1	3,66	0,20	5,34	0,75	0,27	0,21
VDM	5,41	0,27	4,44	1,11	0,37	0,72
DUF VDM LNP	5,73	0,36	4,84	1,17	0,42	0,79
DIF VDM LNP	5,43	0,26	5,31	1,20	0,34	0,10
VDM VOOR LNP	5,71	0,33	4,34	1,25	0,44	0,96
DIF VDM (voor Fraunhofer)	5,51	0,33	4,47	1,28	0,48	0,45
DIF VDM Fraunhofer	5,17	0,27	4,56	1,02	0,37	0,48
DIF digestaat Fraunhofer	5,41	0,24	5,10	0,90	0,31	0,52

*Fraunhofer IGB instituut heeft de haalbaarheid van P-precipitatie uit Vlaamse varkensdrijfmest en digestaat nagegaan, dit via het zelf ontwikkeld procedé binnen het EU-project BioEcoSIM

7.3.4.2 P-gehalte

Het P-gehalte van de behandelingen blanco bodem, P0, P45 en P90 toont duidelijk aan dat een verhoging van de P-bemesting een significant effect had op het P-gehalte. De bodem kan dus als geschikt worden geacht voor deze potproef.

Het P-gehalte over alle grassnedes heen, vertoont significante verschillen tussen de mestproducten. Dit geeft aan waarom de verschillen in WCP_P ten opzichte van WCP_{DS} (zie eerder) worden uitvergroot.

7.3.4.3 K-gehalte

VDM, VDM voor LNP, DIF VDM en DIF VDM Fraunhofer leiden tot een K-gehalte (%/DS) significant lager dan de referentiebehandeling P90. De gerapporteerde waarden zijn concentraties. Bij de objecten met een grotere biomassa-ontwikkeling dan de P90 is er meer verdunning van de opgenomen hoeveelheid K door de hogere gewasgroei dan bij de P90, wat leidt tot lagere concentraties. Zoals eerder wordt aangegeven in de K-responscurve, is er geen gewasrespons van een K-bemesting >120 kg K_2O/ha en vermits in alle behandelingen een dosis van 180 kg K_2O/ha of meer wordt gegeven, wordt aangenomen dat de verschillen in K-gehalten van het gras het gevolg zijn van verschillen in luxeconsumptie van K. Het K-gehalte van het gras is in alle behandelingen, op de blanco bodem na, $>3,00\%$ wat wordt aangegeven als een normaal K-gehalte voor gras (Andries en Carlier, 1971). Ook dit wijst duidelijk op luxeconsumptie van K door het gras, en dus kan K-gebrek in deze potproef uitgesloten worden.



De behandelingen RDM, DIG RDM en DUF VDM LNP hadden de hoogste K-gift van alle behandelingen (Tabel 93). Dit leidde tot een significant hoger K-gehalte in het gras bij RDM en DIG RDM, vermoedelijk door luxeconsumptie van K.

7.3.4.4 Ca-, Mg- en Na-gehalte

De Ca-, Mg- en Na-gehaltenes voor (volwassen) raaigrassen schommelen respectievelijk rond 0,45% Ca, 0,20% Mg en 0,15% Na. Het Ca- en Mg-gehalte van het raaigras in de referentie P90 overschreed deze richtcijfers ruimschoots. Het Ca- en Mg-gehalte is dus niet in gebrek voor normale gewasgroei. Dit is niet het geval voor het Na-gehalte van het raaigras, wat in deze proef toch een stukje lager lag dan het richtcijfer. Een lager Na-gehalte heeft echter vooral een effect op de voederkwaliteit, maar niet op de opbrengst. Het Ca-, Mg- en Na-gehalte van het raaigras in de blanco-bodem lag significant hoger dan de referentie P90. Dit geeft aan dat deze elementen wel in voldoende hoeveelheid door het gras worden opgenomen uit de bodem, maar niet worden verdund tijdens de gewasgroei bij deze behandeling, omdat er onvoldoende plantenweefsel wordt geproduceerd (door PK-gebrek). Verschillen in Ca-, Mg- en Na-gehaltenes tussen de organische meststoffen zijn te wijten aan de grote verschillen in gehaltenes van deze nutriënten in de verwerkte dierlijke mestproducten.

7.3.4.5 Interactie van NK-bemesting met de P-werking

In de blanco-bodem behandeling wordt in totaal 180 kg N/ha (120+60) toegediend en in P0, 180 kg N/ha (120+60) en 180 kg K₂O/ha. De opbrengst in de blanco bodembehandeling en P0-behandeling is desondanks gelijk. Deze vaststelling, evenals de dosis-responscurve voor P (zie Figuur 64), wijst er duidelijk op dat de gewasopbrengst wordt beïnvloed door de beschikbaarheid van P. Zoals in de opzet van de potproef echter wordt aangegeven, is de totale hoeveelheid K en de hoeveelheid minerale N die beschikbaar kwam doorheen de potproef in de behandelingen met organische meststoffen niet gelijk. Aangezien de dosis-responscurve voor K aangaf dat er geen verhoging van opbrengst vastgesteld wordt door K-dosissen boven 120 kg K₂O/ha en alle behandelingen met organische meststoffen ≥ 180 kg K₂O/ha toegediend kregen, wordt er op basis hiervan aangenomen dat er geen K-effect is.

De opzet van de proef stuurde ook aan op een overmaat aan minerale N (>180 kg N/ha), zodat de gewasgroei niet wordt beperkt door een tekort aan stikstof. Alhoewel de N-gehaltenes inderdaad kunnen wijzen op een sterke luxeconsumptie van N, is een bijkomend positief effect van >180 kg N/ha in de behandelingen met organische meststoffen niet onmogelijk. Er is geen significant verband tussen WCP_{DS} en de totaal mineraal beschikbare N ($R^2=0,36$ en $p=0,07$). Hier wordt geen rekening gehouden met de WCP_{DS} voor de behandeling met DUF VDM1, aangezien er vermoedelijk een onderdosering is van de minerale N-gift bij de start van de proef (zie eerder). Toch kan een niet-significante maar positieve trend worden gezien tussen deze parameters. De uit dit verband berekende toename in biomassa per kg N die mineraal beschikbaar kwam voor het gewas tijdens de potproef bovenop de basisbemesting met 180 kg N/ha is met 2,7 kg DS/ha echter beperkt. Dit wijst er op dat het effect van bijkomende N-beschikbaarheid op de opbrengst zeer beperkt is en de resultaten rond P-beschikbaarheid in deze proef niet significant beïnvloed heeft. Dit N-effect heeft dus vooral effect op de behandelingen met organische meststoffen onderling.

Er wordt reeds vastgesteld in een aantal studies dat ook de minerale N-vorm een effect heeft op de P-beschikbaarheid. Zo zou de P-beschikbaarheid voor raaigras lager zijn indien NH₄⁺-N wordt gebruikt i.p.v. NO₃⁻-N (Hinsinger, 2001). In de mestproducten is bijna alle minerale N aanwezig onder de vorm van NH₄⁺-N (Tabel 2b) en de N die uit minerale meststoffen wordt bijgegeven bestond voor de helft uit NH₄⁺-N (Tabel 93). De N-dosis uit NH₄⁺ schommelde tussen de 104 kg N/ha voor DIF VDM LNP en RDM 337 kg N/ha. Er wordt echter geen verband gevonden tussen de NH₄⁺-N dosis en WCP_{DS} ($R^2 = 0,18$; $p=0,21$).



7.4 CONCLUSIE

De verwerkte mestproducten worden in een potproef met Westerwolds raaigras getest op hun P-werking op basis van de gewasopbrengst en de P-export door het gewas. Het doel van deze proef is in de eerste plaats om na te gaan of mestbewerkingsproducten een P-werking hebben die gelijkwaardig is aan minerale P-meststoffen. Bij deze proefopzet is het essentieel dat er zeker geen N- of K-gebrek is zodat het effect van P objectief beoordeeld kan worden. K-gebrek kan uitgesloten worden op basis van de vastgestelde luxeconsumptie van K door het gras. Op basis van de werkelijke N-export door het gewas kunnen we ook besluiten dat de 180 kg N/ha bovenop de meer dan 70 kg N/ha basismineralisatie uit de bodem zeker voldoende is om N-gebrek in deze proef uit te sluiten.

Alle verwerkte dierlijke mestproducten hadden op basis van de drogestof-opbrengst van het raaigras ofwel geen significant verschillende ofwel een significant hogere P-werking dan de referentie triple superfosfaat. De P-werking op basis van de P-export gaf een significant lagere P-werking aan voor runderdrijfmest (RDM) en dikke fractie van varkensdrijfmest op basis van de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP). Een uitzondering is de dunne fractie van varkensdrijfmest DUF VDM₁, maar op basis van het N-gehalte van het gras bij dit type mest, kan een fout bij de opzet van de proef niet uitgesloten worden. Voor DUF VDM1 wordt er in deze studie geen uitspraak gedaan over de P-werking. Bovendien had de dunne fractie van varkensdrijfmest op basis van de Low Nutrient Press (DUF VDM LNP), die dus afkomstig is van een andere installatie, een P-werking die hoger lag dan deze van triple superfosfaat.

Ca-, Mg- en Na-gehaltenes van het raaigras zijn grotendeels bepaald door de samenstelling van deze nutriënten in de meststoffen. Ze bepalen mee de voederkwaliteit van het raaigras, maar er is geen aanwijzing dat ze in de uitgevoerde potproef een invloed hebben op de gewasopbrengst.

Als besluit voor de praktijk kunnen we stellen dat P uit de verschillende vormen van verwerkte dierlijke mest een gelijkwaardig alternatief zijn voor P uit minerale meststoffen. De P-beschikbaarheid in de potproef met een P-arme bodem (MAP V fosfaatklasse I, zie Tabel 92) is bij sommige van deze verwerkte dierlijke mestproducten hoger dan deze van triple superfosfaat. Runderdrijfmest (RDM) en de dikke fractie van varkensdrijfmest van de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP) hadden de laagste P-werking. In de meeste Vlaamse landbouwbodems die een P-AL gehalte in de streefzone of hoger hebben (MAP V fosfaatklasse III of IV), zal het gewaseffect van een hogere of lagere P-beschikbaarheid wellicht minimaal zijn.

Eerdere potproeven met organische meststoffen van het ILVO wijzen er op dat de P-werking lager kan zijn, indien Fe, Al of Ca-gehaltenes van de meststof hoger liggen. Mogelijk bindt P aan Al, Fe en/of Ca in de organische meststof zelf, met een lagere P-werking tot gevolg. Het product met de laagste P-werking, dikke fractie van varkensdrijfmest van de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP), had inderdaad een duidelijk hoger Ca-gehalte dan de andere mestproducten (zie Tabel 2b en Tabel 96). De P-werking is echter niet significant verschillend van triple superfosfaat. Er worden verder geen verbanden gevonden tussen het Al- en Fe-gehalte van het mestproduct enerzijds en de P-werking anderzijds. Toch is het raadzaam de P-werking op te volgen in mestbewerkingsproducten waarbij tijdens het verwerkingsproces Ca-, Al- of Fe-houdende producten toegevoegd worden.

Het protocol dat bij deze proef gebruikt wordt, kan verder geoptimaliseerd worden:

- Minerale N meten in de bodem op het einde van de proef om een N-gebrek uit te sluiten.
- Het voorzien van extra N trappen (120N en evt. 240N) in de proefopzet om een N-gebrek uit te sluiten.
- Indien financieel mogelijk en er voldoende biomassa beschikbaar is: elke snede afzonderlijk analyseren voor nutriënteninhoud.

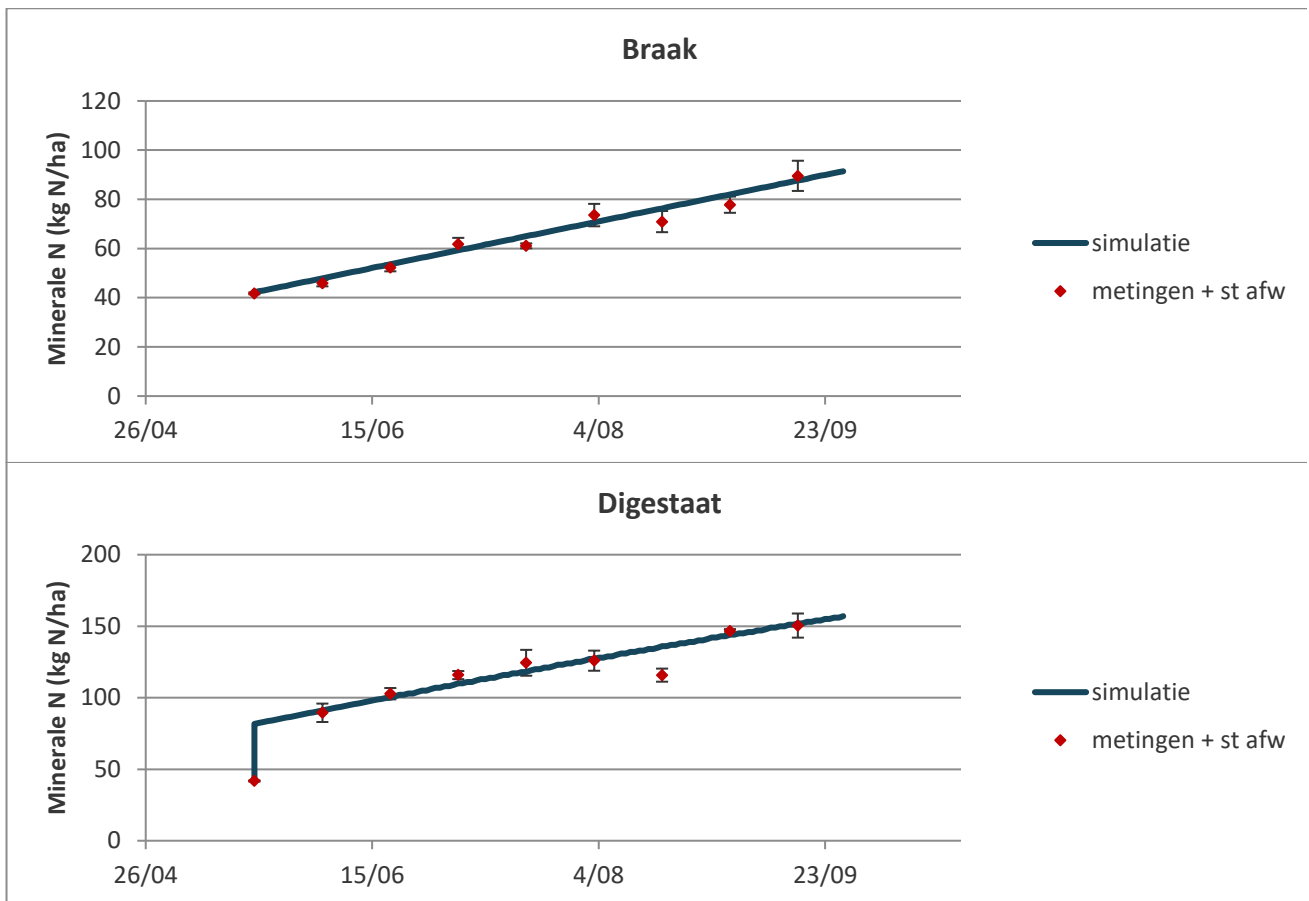
Indien de projectplanning dit toelaat: eerst de N-incubatieproef uitvoeren vooraleer de potproef opgestart wordt, om met de werkelijke N-mineralisatie rekening te kunnen houden.

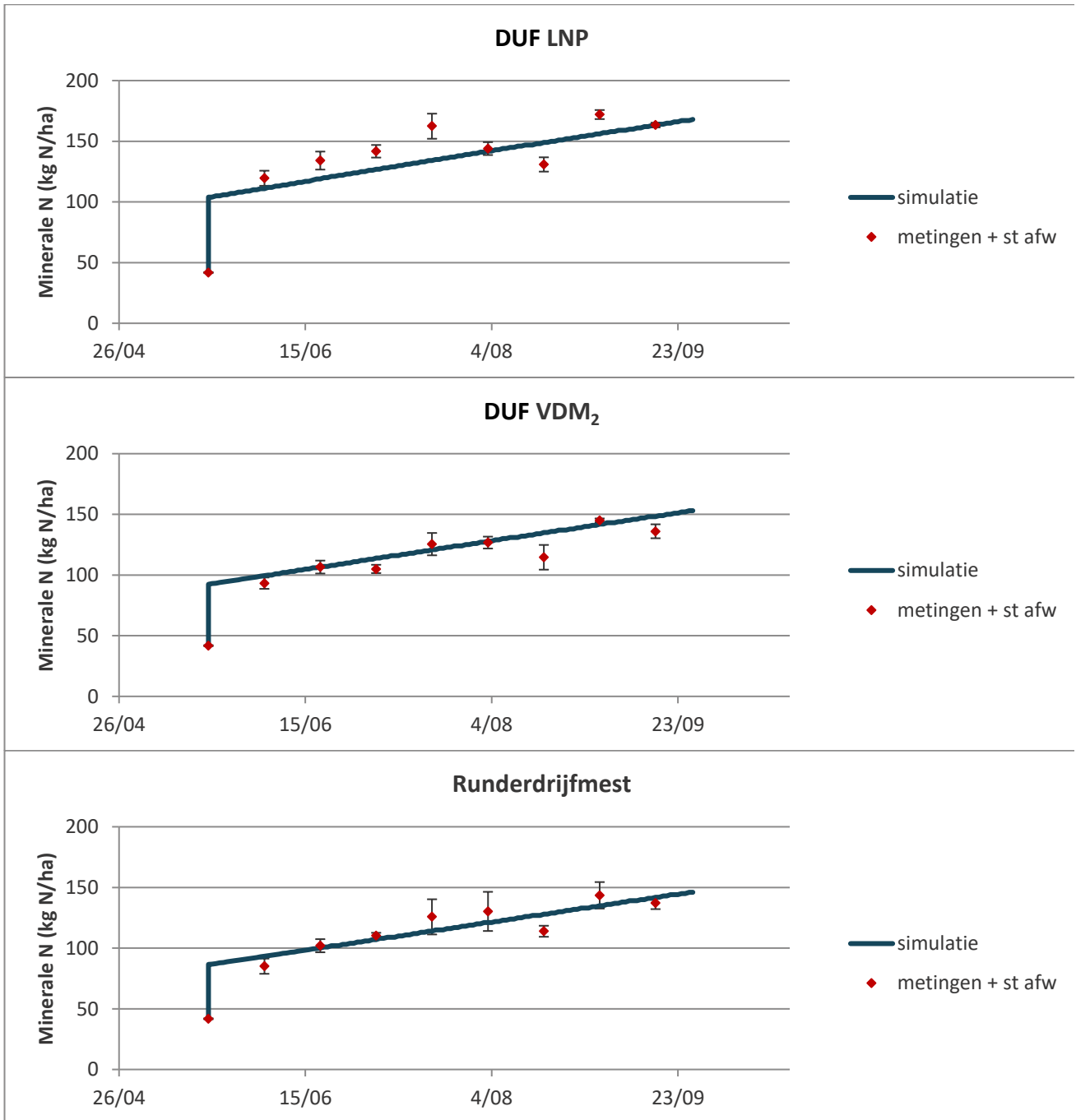
8 SIMULATIES VAN DE STIKSTOF- EN KOOLSTOFDYNAMIEK

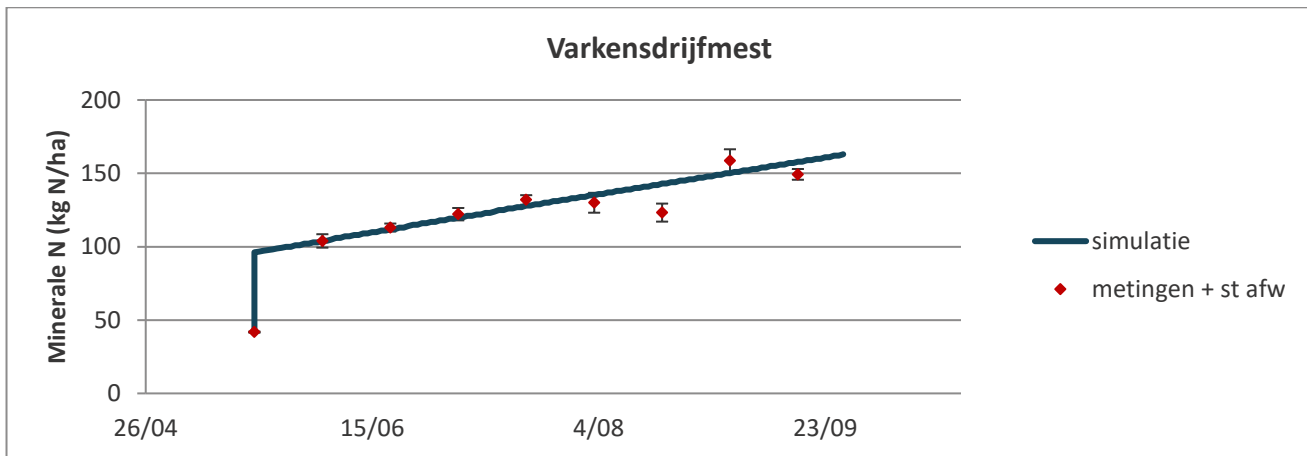
8.1 INCUBATIEPROEF

Het EU-rotate_N model gaat er voor de mineralisatie van organische stof van uit dat elke vorm van organische stof bestaat uit een snelle en traag afbreekbare fractie. Beide fracties worden gemineraliseerd volgens een 1^e-orde model.

Resultaten uit de incubatieproef aan de UGent worden gebruikt om de vrijstelling van minerale N (N_{min}) uit de mestproducten te simuleren. Hierbij wordt uitgegaan van de precieze samenstelling van de mestproducten, maar wordt een kalibratie uitgevoerd om de grootte, C:N-verhouding en mineralisatieconstanten (k) van beide organische fracties te bepalen. Voor de braakbehandeling worden initieel de standaard modelparameters voor mineralisatie uit bodemorganische stof toegepast, die een goed resultaat gaven (Figuur 68).







Figuur 68. Metingen en simulaties van minerale N voor de incubatieproeven.

Op basis van deze simulaties van de incubatieproeven kunnen ook de N-werkingscoëfficiënten van de producten berekend worden. De N-werkingscoëfficiënt geeft weer welk percentage van de totale N-inhoud van het product wordt teruggevonden als minerale N in de bodem na een zekere periode (Hierbij wordt een temperatuur van 15°C aangehouden.)

Tabel 99. N-werkingscoëfficiënt (%) van de verschillende mestproducten na incubatie over een bepaalde periode.

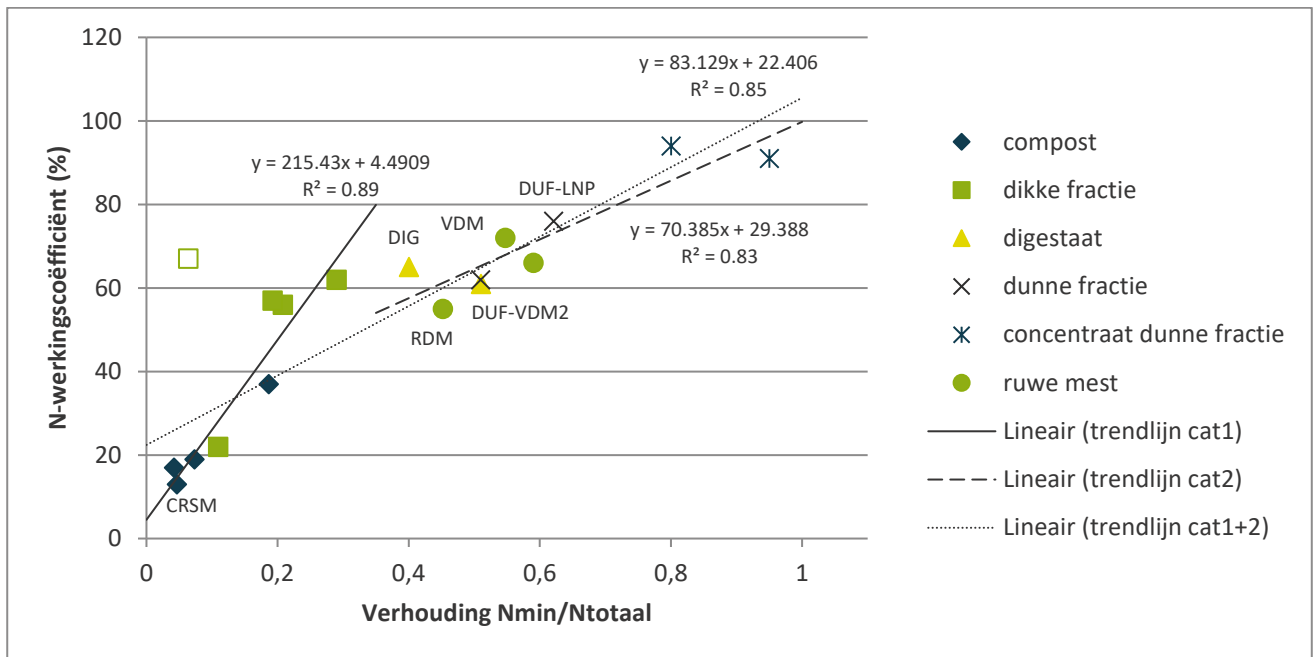
Tijd na inwerken	DIG RDM	DUF-LNP	DUF-VDM2	RDM	VDM
dag 90	59	73	59	52	68
dag 120	65	76	62	55	72
dag 150	68	79	63	56	74
dag 180	73	82	67	60	78
dag 365	86	91	77	72	88

Uit Tabel 99 blijkt dat de hoogste N-werkingscoëfficiënt gevonden wordt voor DUF-LNP en de laagste voor RDM. De N-werkingscoëfficiënt van mestproducten is lineair gecorreleerd met de verhouding N_{\min}/N_{tot} (Figuur 69) en de gevonden resultaten liggen in de lijn met wat in andere studies gevonden wordt (Sigurnjak et al., 2017; Viaene et al., 2016; Cavalli et al., 2016; Fangueiro et al., 2015). Voor CRSM wordt de N-werkingscoëfficiënt berekend op basis van de resultaten uit de incubatieproef aangezien geen kalibratie/simulatie wordt uitgevoerd. Hoewel het op het eerste zicht verrassend lijkt dat de N-werkingscoëfficiënt voor DUF-VDM₂ lager ligt dan voor VDM, is dit louter een gevolg van een verschil in samenstelling. Normaliter zou de verhouding N_{\min}/N_{tot} en dus ook de N-werkingscoëfficiënt hoger moeten liggen voor DUF-VDM dan voor VDM, maar door herbemonstering behoren DUF-VDM₂ en VDM niet tot dezelfde batch (zie hoofdstuk 3.1). DIG RDM vertoont eveneens een hogere verhouding N_{\min}/N_{tot} , hoewel deze monsters wél tot eenzelfde batch behoorden (bemonsterd voor en na vergisting). Dit is moeilijk te verklaren, aangezien bij anaërobe vergisting meestal vrijstelling van organische N onder vorm van ammonium plaatsvindt. Toch ligt, ondanks de lagere verhouding N_{\min}/N_{tot} , de werkingscoëfficiënt voor DIG RDM wel hoger dan voor RDM. Deze hogere werkingscoëfficiënt van DIG RDM kan wellicht toegeschreven worden aan een snellere N-mineralisatie als gevolg van een betere toegankelijkheid van de organische N door toedoen van de voorafgaande anaërobe afbraakprocessen. Dit wordt ook gestaafd door Fangueiro et al. (2012), die aantoonde dat het vooral de kleinste deeltjes zijn die bijdragen tot een grotere vrijstelling van minerale N.

Bij het zoeken naar een relatie tussen N_{\min}/N_{tot} en de N-werkingscoëfficiënt is het belangrijk rekening te houden met de stabiliteit van de mestproducten. Bepaling van de verhouding N_{\min}/N_{tot} van onstabiele mestproducten kan leiden tot een verkeerde inschatting van de werkingscoëfficiënt. Een herhaling van de



bepaling van de verhouding N_{\min}/N_{tot} na een zeker tijdsinterval zou bijvoorbeeld kunnen aantonen of het mestproduct reeds voldoende gestabiliseerd is.



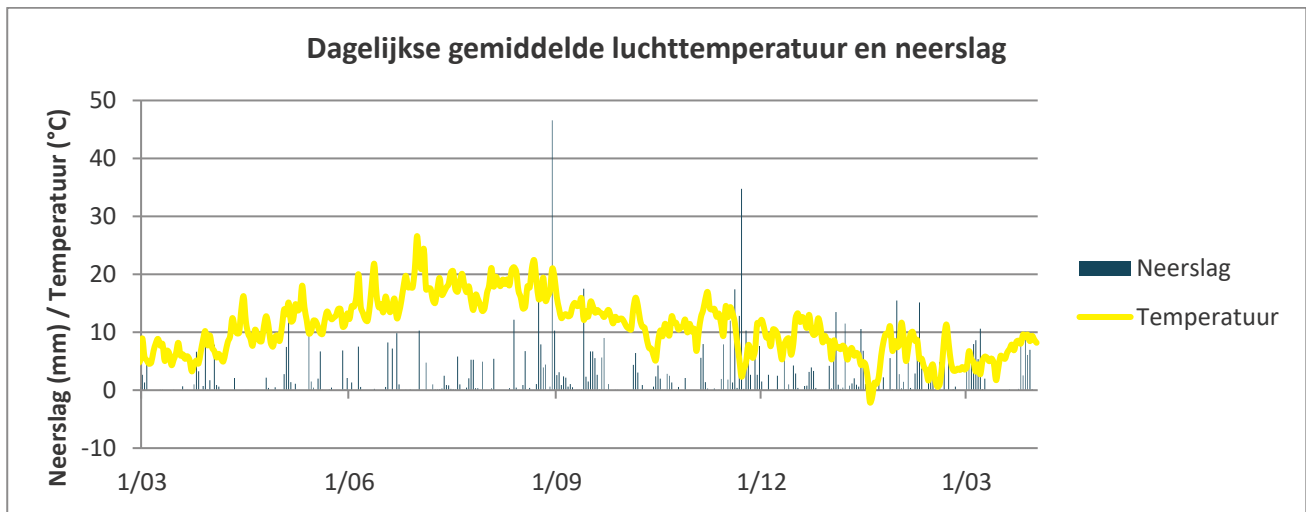
Figuur 69: Lineair verband tussen de N-werkingscoëfficiënt (% N vrijgesteld na 120 dagen) en de verhouding N_{\min}/N_{tot} voor elk van de in de simulaties betrokken mestproducten en voor alle andere producten uit deze studie en enkele mestproducten uit andere Vlaamse incubatiestudies (Sigurnjak et al., 2017; Viaene et al., 2016). De lineaire relaties worden weergegeven voor alle producten samen en voor de aparte categorieën 1 en 2, met respectievelijk lagere en hogere N_{\min}/N_{tot} . Eén punt wordt niet meegenomen voor het bepalen van de lineaire vergelijkingen (weergegeven door niet-gevulde symbool).

8.2 VELDPROEF

Aangezien de mestproducten die gebruikt worden in de veldproef te Roeselare niet exact dezelfde samenstelling hadden als de mestproducten gebruikt in de mineralisatieproef, worden de k-waarden en de C:N-verhoudingen behouden, maar wordt de verdeling over beide fracties herzien. DUF-P in de veldproef komt overeen met DUF-VDM₂ gebruikt in de incubatieproef. Omdat er in de incubatieproef aan de UGent geen gecomposteerde runderstalmest (CRSM) wordt meegenomen (geen opvallende grotere afwijking in de simulaties van behandeling 5, waardoor de gevolgde benadering voldoende goed geacht wordt), worden de standaard mineralisatieparameters van het model voor runderstalmest gebruikt, maar wordt de C:N-verhouding aangepast zodat de gesimuleerde samenstelling van de mest overeenstemde met de werkelijke samenstelling ingeschat op basis van de analysesresultaten.

De veldsimulaties worden zoveel mogelijk uitgevoerd met de gegevens verkregen voor het veld te Roeselare. Textuurparameters worden ingeschat op basis van de bodemkaart (gemiddelde samenstelling voor Belgische zandleembodem). De dichtheid van de bouwvoor (0-30 cm) kreeg een waarde toegekend van 1,45 g/cm³ en van 30 tot 90 cm is dat 1,50 g/cm³. Het organische koolstofgehalte wordt bepaald en bedroeg 1,1 %. De C:N-verhouding van de bodemorganische stof wordt berekend voor de incubatieproef en bedroeg 14. Vochtgehalten bij veldcapaciteit en verwelkingspunt worden bepaald a.d.h.v. pedotransferfuncties (Vereecken et al., 1989). De biomassa en N-inhoud van de oogstresten van snijmaïs, ingewerkt voor het poten van de aardappelen, worden ingeschat op respectievelijk 2400 kg droge stof per hectare en 1,0% N, welke gemiddelde cijfers zijn voor oogstresten van snijmaïs bij de oogst in Vlaanderen (D'Haene et al., 2014). De in de veldproef opgemeten aardappelopbrengsten worden voor elke behandeling apart als doelopbrengst

ingegeven. De weersgegevens die gebruikt worden voor de simulatie (waaronder temperatuur en neerslag, Figuur 70) zijn die van het meest nabije weerstation, dat van Zarren.



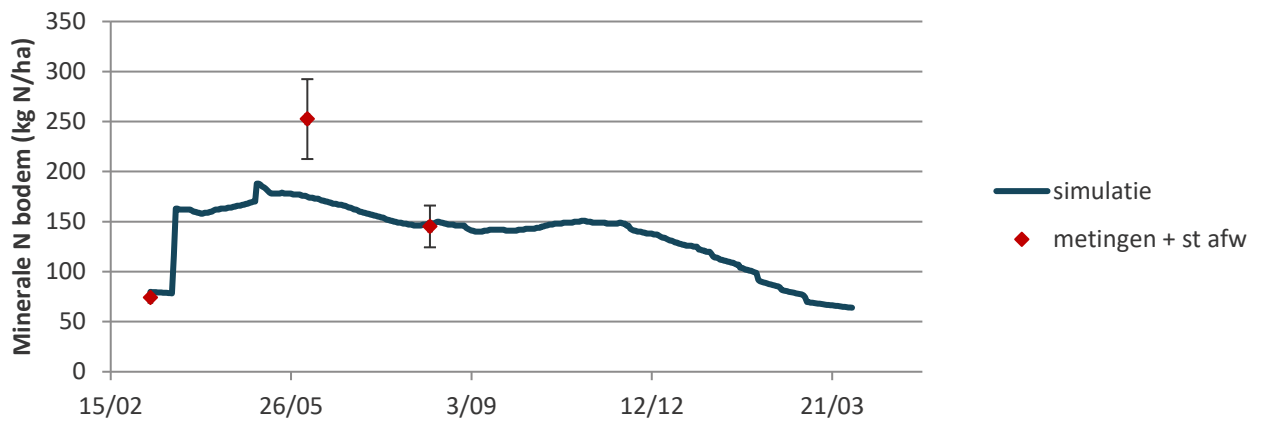
Figuur 70. Gemiddelde dagelijkse luchttemperatuur en dagelijkse neerslag te Zarren in 2015 en 20016 (www.waterinfo.be).

In eerste instantie leidden de simulaties tot een sterke algemene onderschatting van N_{\min} in het voorjaar. Er wordt waargenomen dat de oogstresten van snijmaïs een te sterk immobiliserend effect veroorzaakten. Aangezien de oogstresten toch ongeveer 6 maanden op het land liggen, is het echter waarschijnlijk dat de hoeveelheid ervan reeds sterk afgenomen is, met name voor de ondergrondse delen. Bovendien is het aannemelijk dat er een zekere hoeveelheid natuurlijke onkruiden op het veld aanwezig is (2500 kg onkruiden per ha met een N-inhoud van 2,5% N). Door deze aannames mee op te nemen in de simulaties, worden duidelijk betere simulaties bekomen (Figuur 71). Ondanks deze aanpassing zijn er nog verschillen tussen de resultaten voor de simulaties en de metingen in het veld. Voor behandeling 1, 4, 5 en 6 lag de gesimuleerde N_{\min} in het voorjaar meer dan 50 kg N ha^{-1} lager dan de gemeten waarden. Aangezien in 3 van deze 4 behandelingen varkensdrijfmest (VDM) wordt opgenomen, is het mogelijk dat de werkelijke N-inhoud van de VDM hoger lag dan ingegeven in het model op basis van de analyseresultaten, maar het is tevens aannemelijk dat de grotere mineralisatie uit bodemorganische stof, veroorzaakt door een toename in microbiële activiteit na toediening van organische mest, voor deze behandelingen niet voldoende accuraat gesimuleerd wordt.

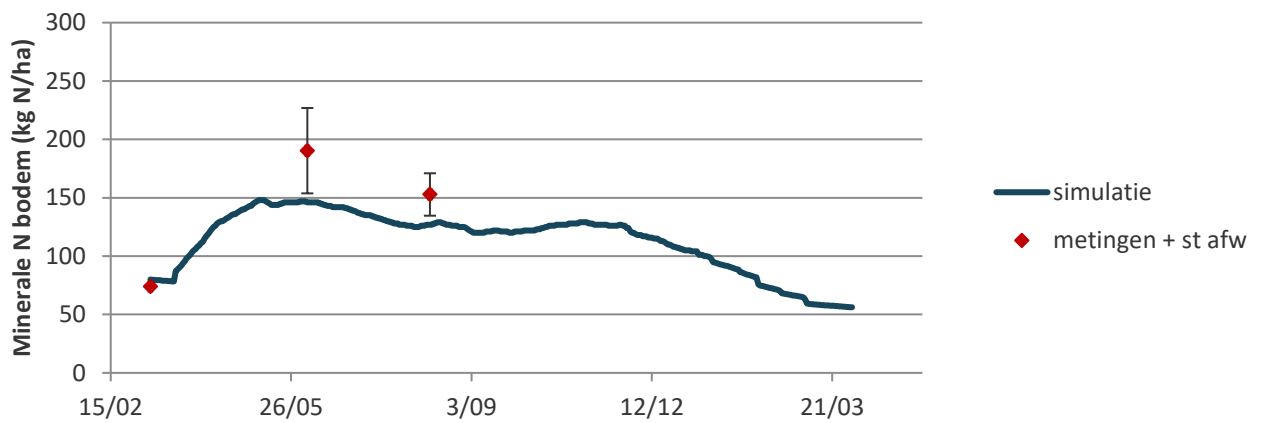
Kort na de oogst lagen de gesimuleerde N_{\min} dicht bij de gemeten gehalten in het veld. Waar een afwijking buiten de standaard afwijking op de gemiddelde gemeten waarde wordt vastgesteld (behandeling 2, 4 en 8), is er steeds sprake van een onderschatting door de simulatie (Figuur 71). Dit houdt in dat voor die gevallen de werkelijke N-verliezen waarschijnlijk ook enigszins onderschat worden door de simulatieresultaten.



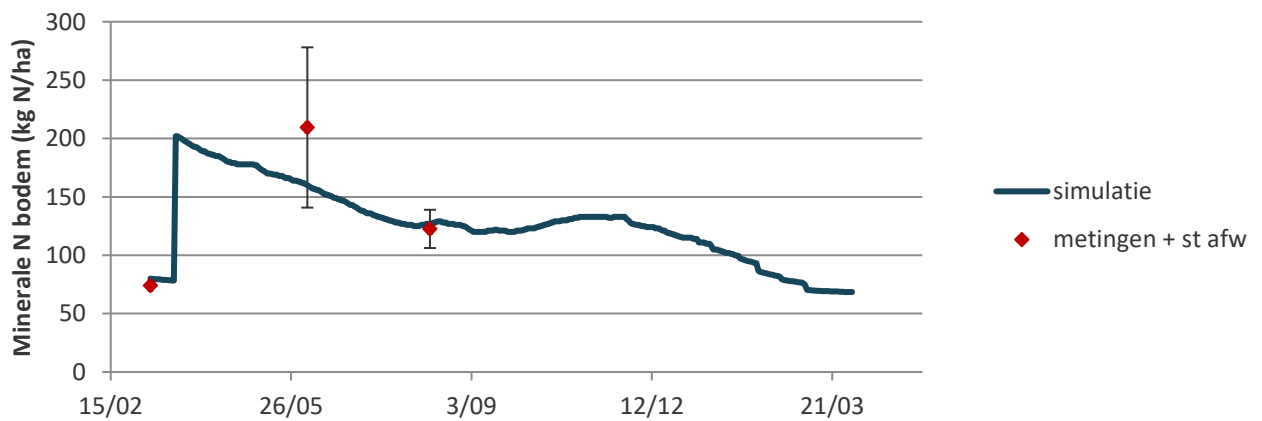
1. VDM + RDM + MIN N



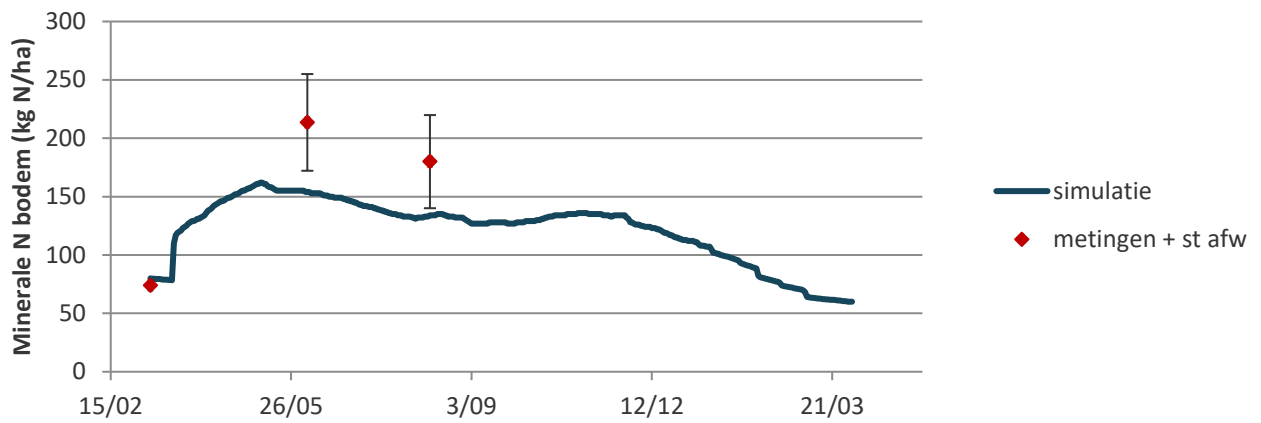
2. DUF-P



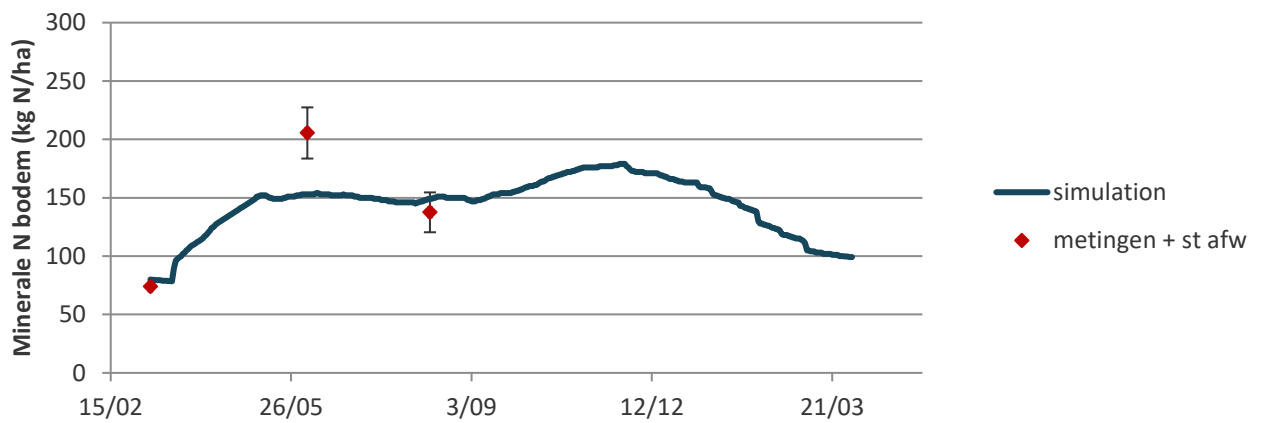
3. DIG



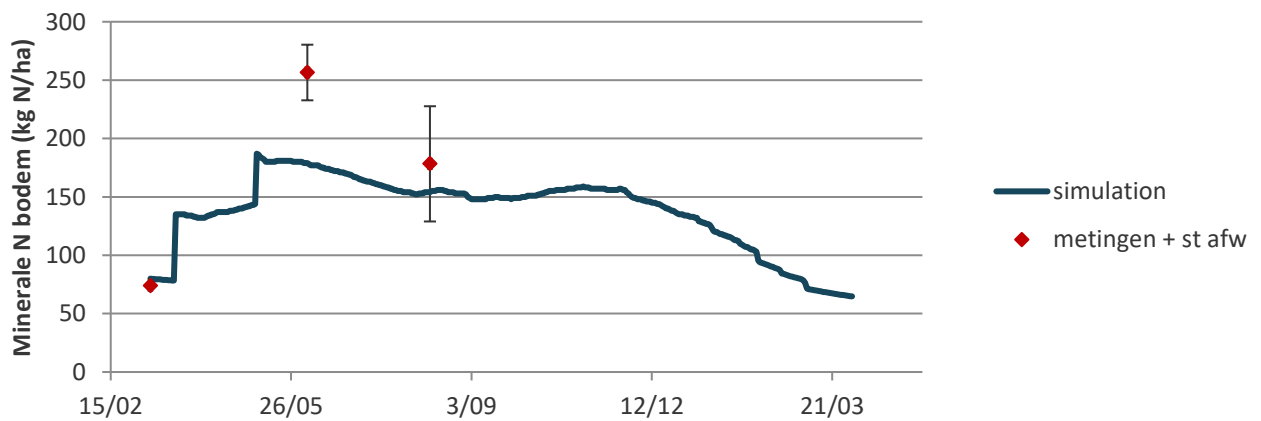
4. VDM + DUF-P

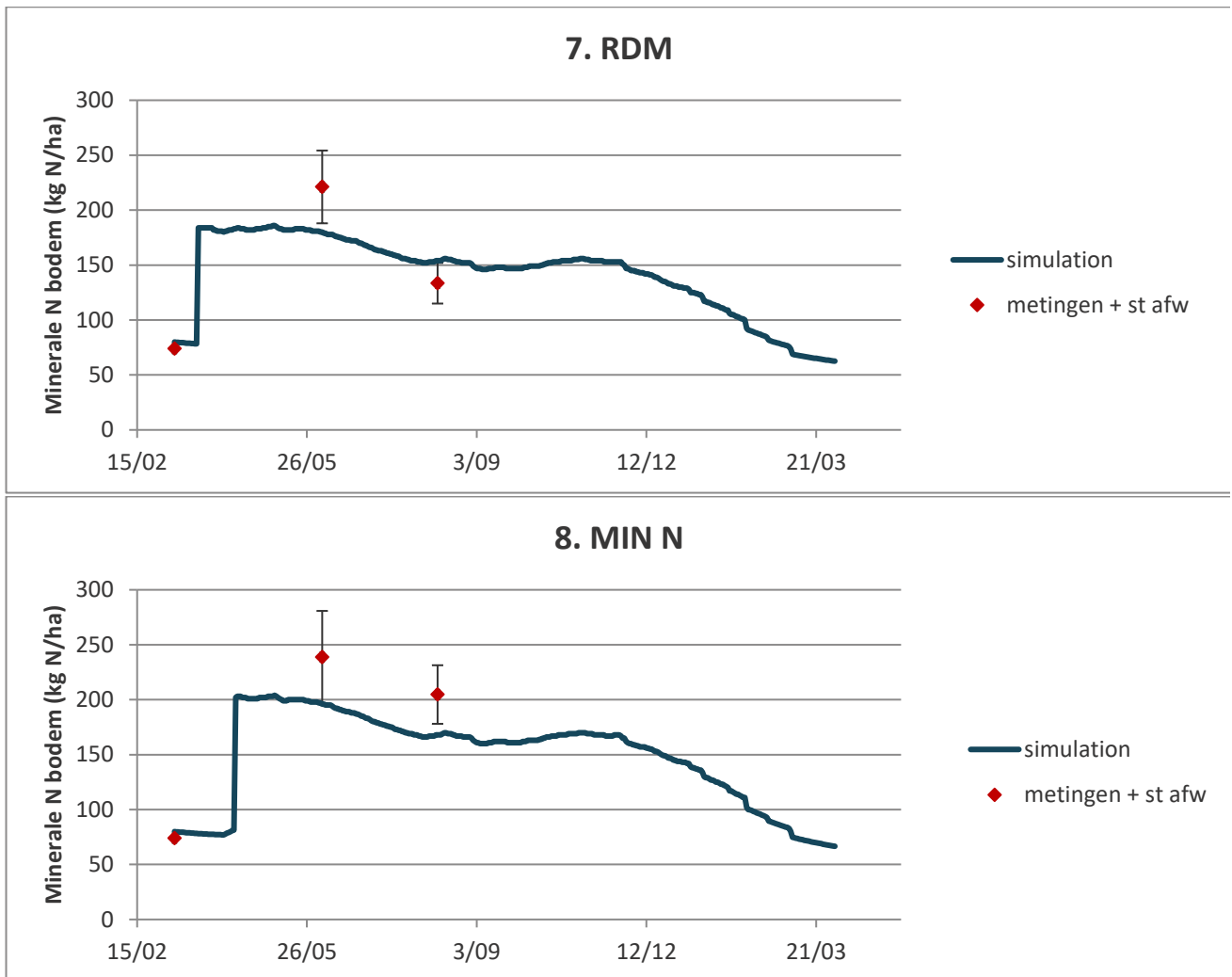


5. DUF-P + CRSM



6. VDM + MIN N





Figuur 71. Metingen en simulaties van minerale N voor de veldproef in Roeselare in 2015 en 2016.

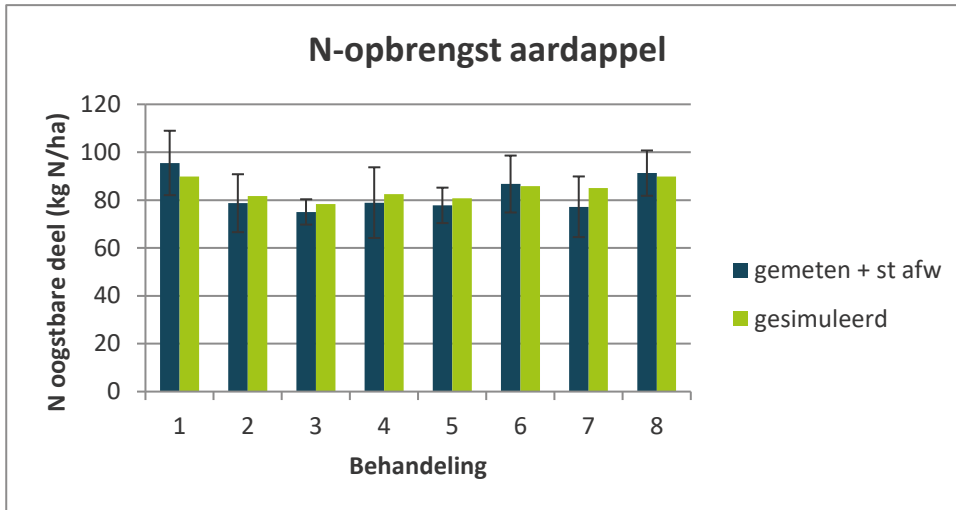
De gesimuleerde maximale hoeveelheid residuele N_{min} (som van NO_3^- -N en NH_4^+ -N) in de bodem tussen 1 oktober en 15 november lag tussen 129 (behandeling 2) en 177 $kg\ N\ ha^{-1}$ (behandeling 5) (Tabel 100).

Tabel 100. Gesimuleerde maximale hoeveelheid minerale N in de bodem tussen 1 oktober en 15 november 2015.

	Residuele N_{min} ($kg\ N\ ha^{-1}$)
1-VDM-RDM-MIN	151
2-DUF	129
3-DIG	133
4-VDM-DUF	136
5-DUF-CRSM	177
6-VDM-MIN	159
7-RDM	156
8-MIN	170

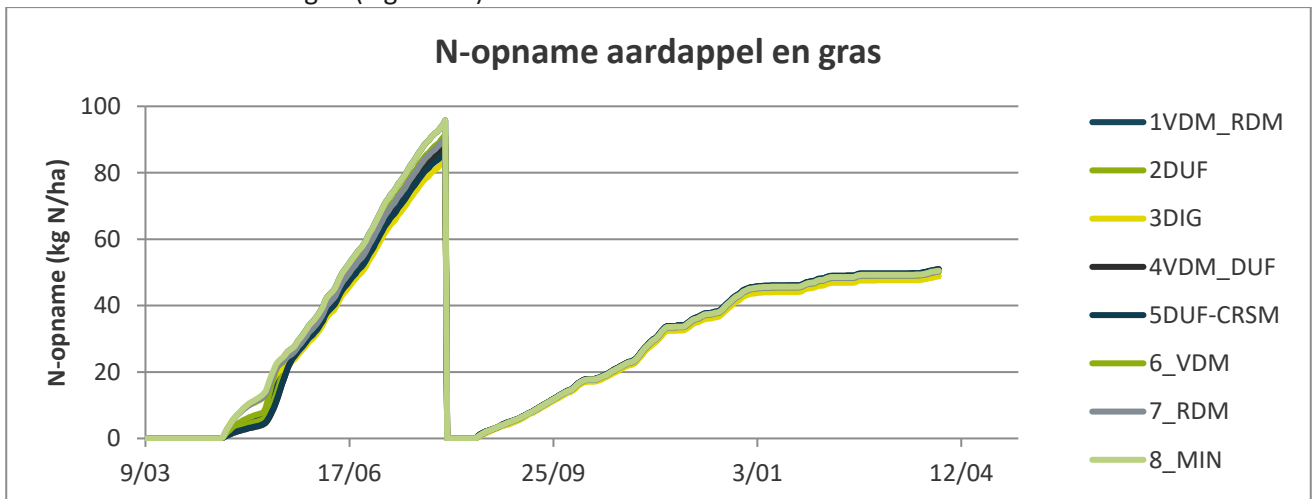
De N-opname van aardappel wordt gesimuleerd door voor elke behandeling de gemeten aardappelopbrengst als doelgewicht in te geven, rekening houdend met een deel oogstresten van 5%. De hoeveelheid N in het oogstbare deel wordt na kalibratie van de opnameparameters goed benaderd door de simulatie (Figuur 72).





Figuur 72. Metingen en resultaten uit de simulaties voor de N-opname van het oogstbare deel van aardappel.

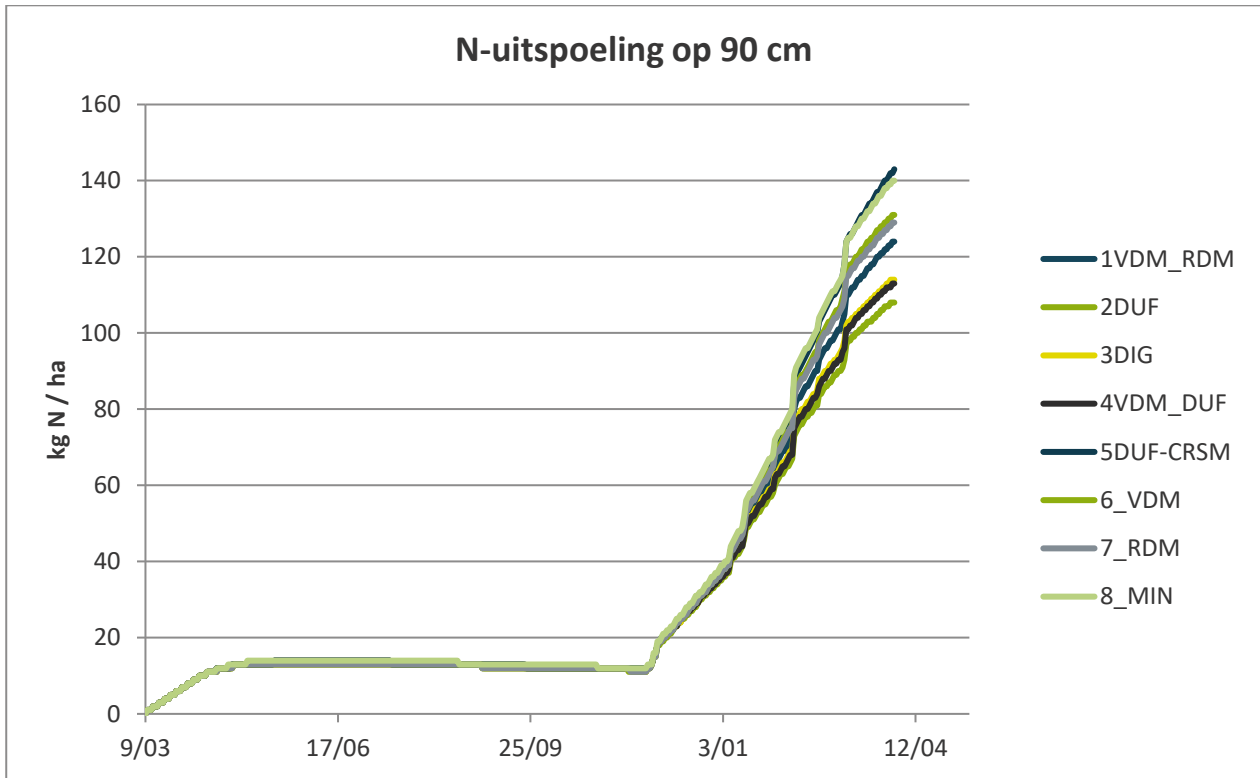
De totale N-opname (som van oogstbare deel en oogstresten) wordt gesimuleerd voor zowel aardappel als voor gras dat na de oogst als vanggewas wordt ingezet. Door de vroege aardappeloogst kan het gras reeds ingezaaid worden op 18/8. Hierdoor kan het gras zich goed ontwikkelen en bereikte het op 1 april een N-opbrengst van ongeveer 50 kg N ha⁻¹. Aangezien de beschikbaarheid van N_{min} voor alle behandelingen voldoende hoog is, worden er geen verschillen waargenomen in N-opbrengsten van het gras tussen de verschillende behandelingen (Figuur 73).



Figuur 73. Gesimuleerde totale N-opname voor aardappel en gras voor de veldproef in Roeselare in 2015-2016.

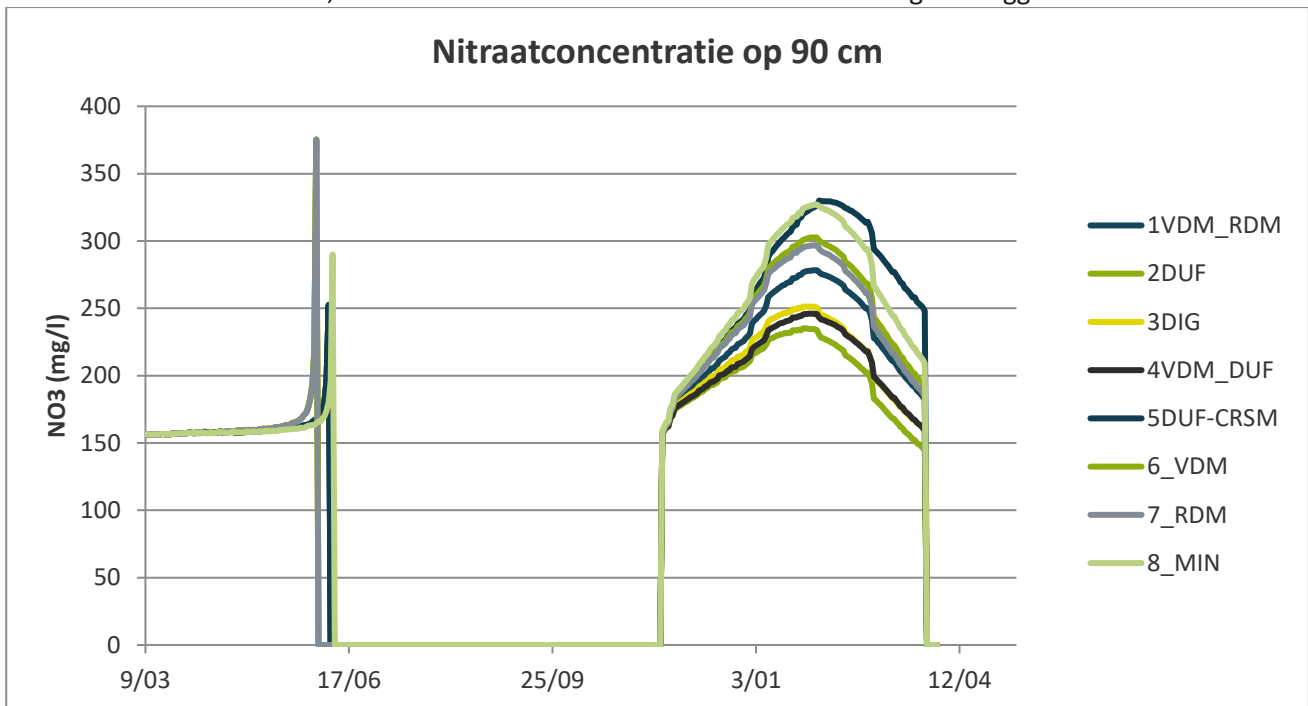
De hoeveelheid uitgespoelde N, gesimuleerd tussen 9 maart 2015 (moment van inwerken) en 1 april 2016, vertoonde slechts kleine verschillen tussen de behandelingen (Figuur 74). Er is een zeer lichte afname van de uitspoeling in de periode augustus-september door een opwaartse waterflux. De laagste uitspoeling wordt gesimuleerd voor behandeling 2 (108 kg N ha⁻¹) en de hoogste uitspoeling voor behandeling 5 (143 kg N ha⁻¹). Dit stemt overeen met de extremen die bekomen worden voor het N-residu. De hogere uitspoeling voor behandeling 5 is ook het resultaat van de grotere fractie trager mineraliseerbare N in de CRSM.





Figuur 74. Gesimuleerde N-uitspoeling voor de veldproef in Roeselare in 2015-2016.

Naast de nitraatvrucht wordt ook de nitraatconcentratie gesimuleerd (Figuur 75). Van zodra er sprake is van een neerwaartse waterflux, bleek de nitraatconcentratie ver boven de 50 mg l⁻¹ te liggen.



Figuur 75. Gesimuleerde NO₃-concentratie in het drainagewater op 90 cm in 2015-2016. Enkel de concentratie bij een neerwaartse flux is getoond.

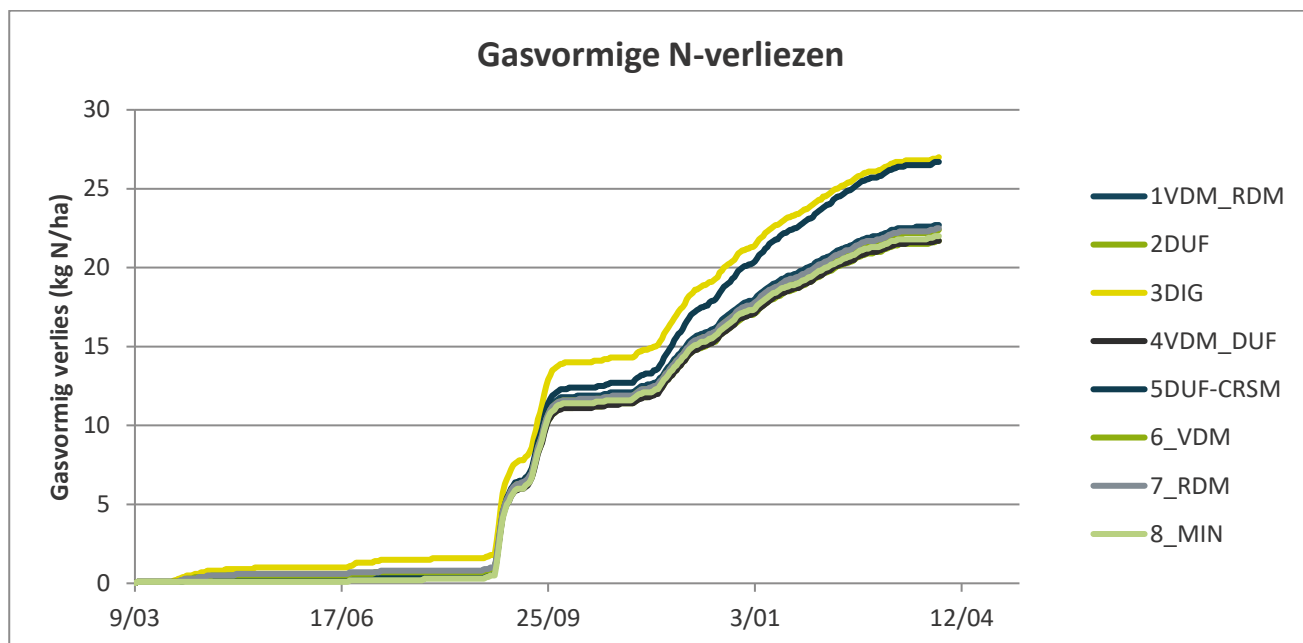
De gewogen gemiddelde nitraatconcentraties lagen tussen 191 mg l⁻¹ (behandeling 2) en 252 mg l⁻¹ (behandeling 5) (Tabel 101).



Tabel 101. Gewogen gemiddelde NO₃-concentratie in het drainagewater op 90 cm over de simulatieperiode (9/3/15 - 1/4/16).

	NO ₃ -concentratie (mg l ⁻¹)
1-VDM+RDM	219
2-DUF VDM	191
3-DIG RDM	201
4-VDM + DUF VDM	199
5-CRSM + DUF VDM	252
6-VDM	232
7-RDM	228
8-KM	245

De gasvormige N-verliezen omvatten de verliezen door zowel ammoniakale vervluchtiging als door denitrificatie. Opnieuw zijn de verschillen tussen de behandelingen beperkt (Figuur 76). De laagste hoeveelheid gasvormige N-verliezen wordt gesimuleerd voor behandeling 2 en 8 (22 kg N ha⁻¹) en de hoogste hoeveelheid voor behandeling 3 en 5 (27 kg N ha⁻¹). Dit zijn algemeen relatief hoge hoeveelheden, toe te schrijven aan de hoge gehalten aan N_{min} en de beschikbaarheid van organische koolstof door de aanwezigheid van het gras.



Figuur 76. Gesimuleerde gasvormige N-verliezen voor de veldproef in Roeselare in 2015-2016.



8.3 SIMULATIES BIJ EENZELFDE HOEEVEELHEID TOEGEDIENDE WERKZAME N

In de veldproef te Roeselare wordt de bemestingsdosis bepaald op basis van een voorafgaande mestanalyse. Bij toediening wordt opnieuw een staal genomen en uit de analyse bleek dat de N-inhoud en samenstelling verschilde van die uit de voorafgaande analyse. Bovendien wordt in enkele behandelingen ook een aandeel minerale mest mee toegediend. Hierdoor worden tussen de behandelingen relatief grote verschillen in toegediende hoeveelheden totale N en werkzame N bekomen. Om een idee te krijgen van het effect op aardappelopbrengst en de N-verliezen bij toediening van een gelijke hoeveelheid werkzame N, worden simulaties uitgevoerd met aangepaste bemestingsdossissen.

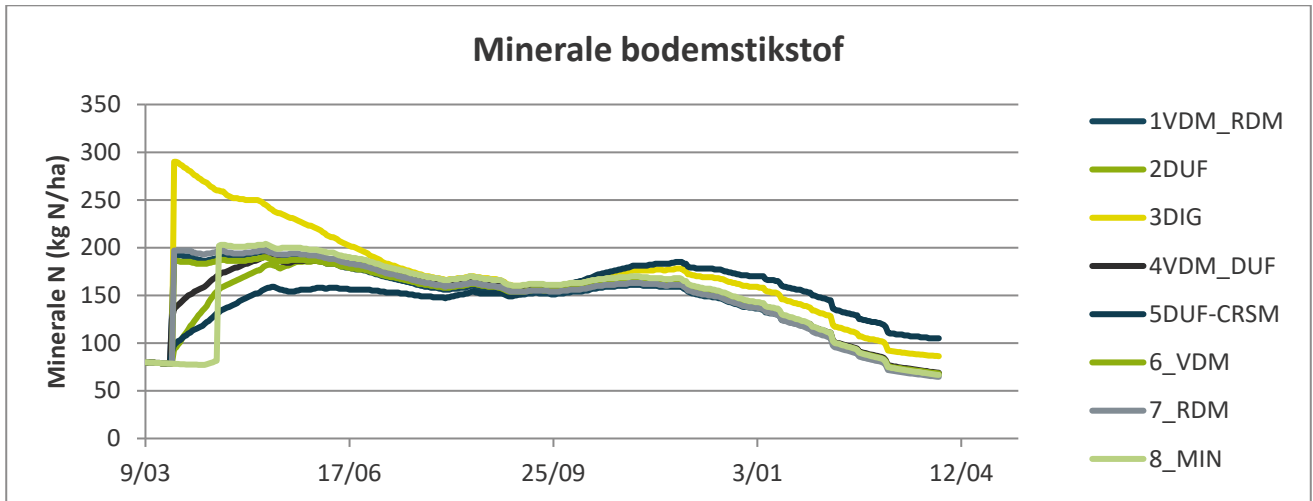
Aangezien de samenstelling van de mestproducten verschilde tussen de incubatieproef en de veldproef, wordt de procentuele N-vrijstelling berekend op basis van de veldproefsimulaties.

Vervolgens wordt de bemesting in een nieuwe reeks simulaties aangepast voor de verschillende behandelingen zodat er voor elke behandeling 120 kg werkzame N wordt toegediend (Tabel 102). Hierbij wordt de verhouding tussen de mengsels van mestproducten binnen eenzelfde behandeling behouden zoals in de veldproef maar wordt de aanvulling met minerale mest (behandeling 1 en 6) niet weerhouden. In dit hypothetische scenario wordt geen rekening gehouden met een overschrijding van de norm voor totale N. Aangezien de hoeveelheid werkzame N vergelijkbaar is, wordt het doelgewicht van de aardappelen voor alle behandelingen ingesteld op de maximale opbrengst uit het veld (behandeling 1 en 8). Op die manier kan ook de invloed van de bemesting op de aardappelopbrengst beter beoordeeld worden.

Tabel 102. Berekening van de toegediende hoeveelheden van de verschillende mestproducten om voor elke behandeling een dosis werkzame N van 120 kg N ha⁻¹ te bekomen.

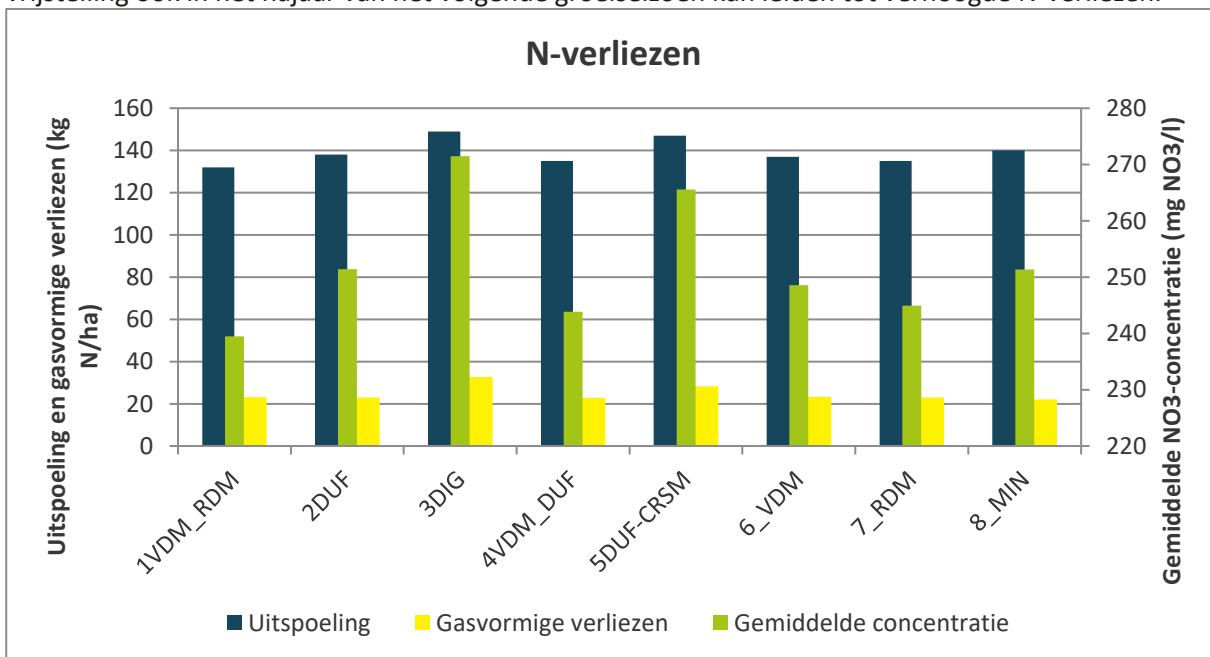
Behandeling	Product	Toegediende hoeveelheid (kg/ha)	werkzame N (kg/ha)	totale N (kg/ha)
1	VDM	16.140	57	62
1	RDM	24.209	63	113
2	DUF VDM	61.827	120	128
3	DIG RDM	101.039	120	414
4	VDM	14.671	52	56
4	DUF VDM	35.210	68	73
5	CRSM	30.367	72	267
5	DUF VDM	24.744	48	51
6	VDM	34.078	120	130
7	RDM	45.991	120	214
8	KM	120	120	120

Simulatie van de veldproef met gelijke hoeveelheden toegediende werkzame N resulteerde in gelijke aardappelopbrengsten. Er is dus voor geen enkele behandeling een tekort aan minerale N voor een optimale groei van het aardappelgewas. Dit resulteerde in het najaar in min of meer gelijke hoeveelheden N_{min} (Figuur 77). Als we de simulaties van N_{min} onderling vergelijken, zien we dat er initieel een sterke invloed is van de samenstelling van de mestproducten. Producten met een hoge NH₄⁺-inhoud dragen onmiddellijk bij tot het N_{min}-gehalte in de bodem, terwijl producten met een lage NH₄⁺-inhoud vrij snel N vrijstellen door mineralisatie. Bij inwerken van digestaat (DIG) wordt tijdens het groeiseizoen N geïmmobiliseerd, maar in de winter wordt, net als voor gecomposteerde runderstalmest (CRSM) in behandeling 5, meer N vrijgesteld dan voor de andere behandelingen. Bij digestaat is dit voor een deel te wijten aan de vrijstelling van de eerder geïmmobiliseerde N.



Figuur 77. Gesimuleerde hoeveelheid minerale bodemstikstof voor de veldproef in Roeselare bij een toegediende dosis werkzame N van 120 kg N ha⁻¹ in 2015-2016.

De N-verliezen zijn erg vergelijkbaar voor de verschillende behandelingen (Figuur 78), maar enigszins hoger voor de behandelingen waarin mestproducten worden toegediend met lage werkingscoëfficiënt (DIG en CRSM) omwille van de mineralisatie die doorgaat na het groeiseizoen. Het is niet uitgesloten dat deze N-vrijstelling ook in het najaar van het volgende groeiseizoen kan leiden tot verhoogde N-verliezen.



Figuur 78. Gesimuleerde N-uitspoeling, gasvormige N-verliezen en de gewogen gemiddelde nitraatconcentratie in het uitspoelende water op 90 cm voor de veldproef in Roeselare bij een toegediende dosis werkzame N van 120 kg N ha⁻¹.

8.4 SIMULATIES BIJ ANDERE WEERSOMSTANDIGHEDEN

De grootte van de N-verliezen zijn ook sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Om effecten van andere weersomstandigheden te simuleren wordt gefocust op verschillen in het najaar, aangezien de N-verliezen met name dan het grootst zijn. De herfst van 2015 kende een gemiddelde temperatuur van 11°C en een neerslaghoeveelheid van 204 mm en is daarmee normaal. De winter van 2015-2016 is eerder warm en nat, met een gemiddelde temperatuur van 6,4°C en een neerslaghoeveelheid van 301 mm (KMI, 2017).



Op basis van gegevens van het KMI (KMI, 2013) worden weersgegevens van verschillende jaren vergeleken en worden de jaren met de meest extreme waarden in het najaar (herfst + winter) voor één specifieke parameter (neerslag of temperatuur) geselecteerd. Met behulp van de totale set parameters worden vervolgens de simulaties uitgevoerd voor de veldproef in Roeselare, bij een toegediende dosis werkzame N van 120 kg N ha⁻¹.

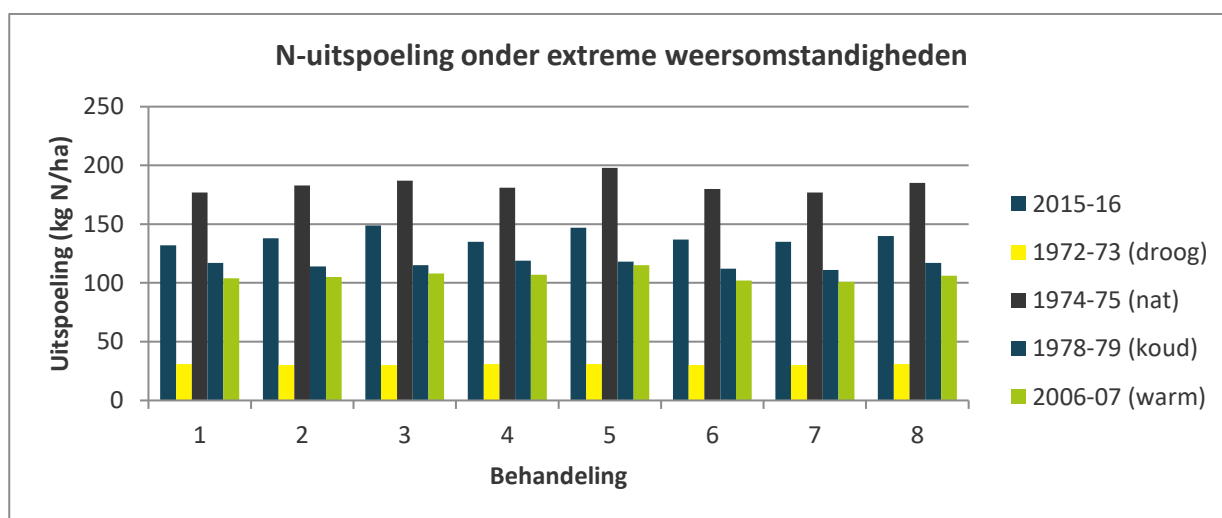
8.4.1 Effect van de neerslag

De resultaten van de simulaties voor 1972-73 (extreem droog) en 1974-75 (extreem nat) tonen duidelijk aan dat de hoeveelheid neerslag een grote invloed heeft op de uitgespoelde hoeveelheid N (Figuur 79). In het najaar 1972-73 is er nagenoeg geen neerwaartse waterflux, waardoor uitspoeling enkel optrad tijdens het groeiseizoen. Door het verdunningseffect is het verschil in de gemiddelde nitraatconcentratie tussen beide jaren veel minder groot (Figuur 80). De verschillen in uitspoeling tussen de 8 behandelingen zijn verwaarloosbaar klein in een droog najaar. In een nat najaar wordt enkel voor behandeling 5 (met CRSM) een ietwat hogere uitspoeling en nitraatconcentratie gesimuleerd.

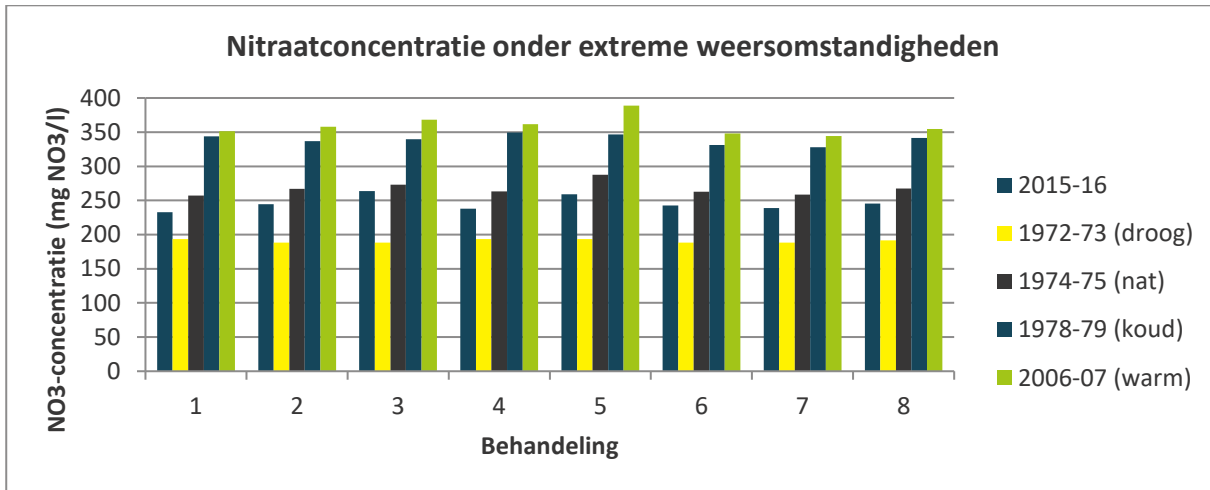
De hoeveelheid gasvormige N-verliezen wordt eveneens positief beïnvloed door de neerslag: hoewel het grootste aandeel minerale N uitspoelt, zullen de omstandigheden voor denitrificatie toch veel gunstiger zijn in een nat dan in een droog najaar (Figuur 81). Zowel onder droge als natte omstandigheden zijn de gasvormige N-verliezen het grootst voor behandeling 3, gevolgd door behandeling 5. Wellicht is de beschikbaarheid van organische koolstof door mineralisatie van de traag afbreekbare fractie daar de grootste factor.

8.4.2 Effect van de temperatuur

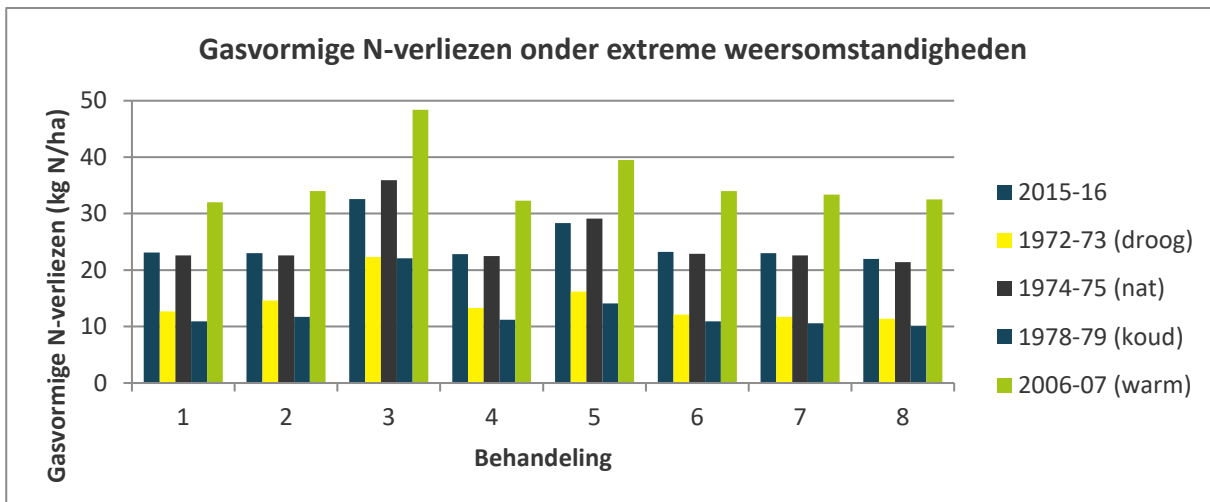
De verschillen in nitraatuitspoeling en nitraatconcentratie lijken weinig uitgesproken tussen 1978-79 (extreem koud) en 2006-07 (extreem warm). Dit is het gevolg van 2 processen die elkaar opheffen: de mineralisatie en de opname door het vanggewas. In warme omstandigheden wordt er meer N vrijgesteld, maar is de N-opname door het vanggewas ook groter. Zowel onder koude als warme omstandigheden zijn de verschillen in uitspoeling tussen de 8 behandelingen erg klein. Enkel in 2006-07 is voor behandeling 5 de gesimuleerde uitspoeling en concentratie iets hoger dan voor de andere (Figuur 79 en Figuur 80). Het temperatuurseffect op de gasvormige N-verliezen is zeer uitgesproken (Figuur 81). De denitrificatieprocessen gaan veel sneller door bij hogere temperaturen. Opnieuw zijn de gasvormige N-verliezen het grootst voor behandeling 3, gevolgd door behandeling 5, zowel in koude als warme omstandigheden.



Figuur 79. Gesimuleerde N-uitspoeling voor de veldproef in Roeselare bij een toegediende dosis werkzame N van 120 kg N ha⁻¹ voor het proefjaar 2015-16 en 4 jaren met extreme weersomstandigheden in het najaar.



Figuur 80. Gesimuleerde gewogen gemiddelde nitraatconcentratie in het drainagewater op 90 cm voor de veldproef in Roeselare bij een toegediende dosis werkzame N van 120 kg N ha⁻¹ voor het proefjaar 2015-16 en 4 jaren met extreme weersomstandigheden in het najaar.

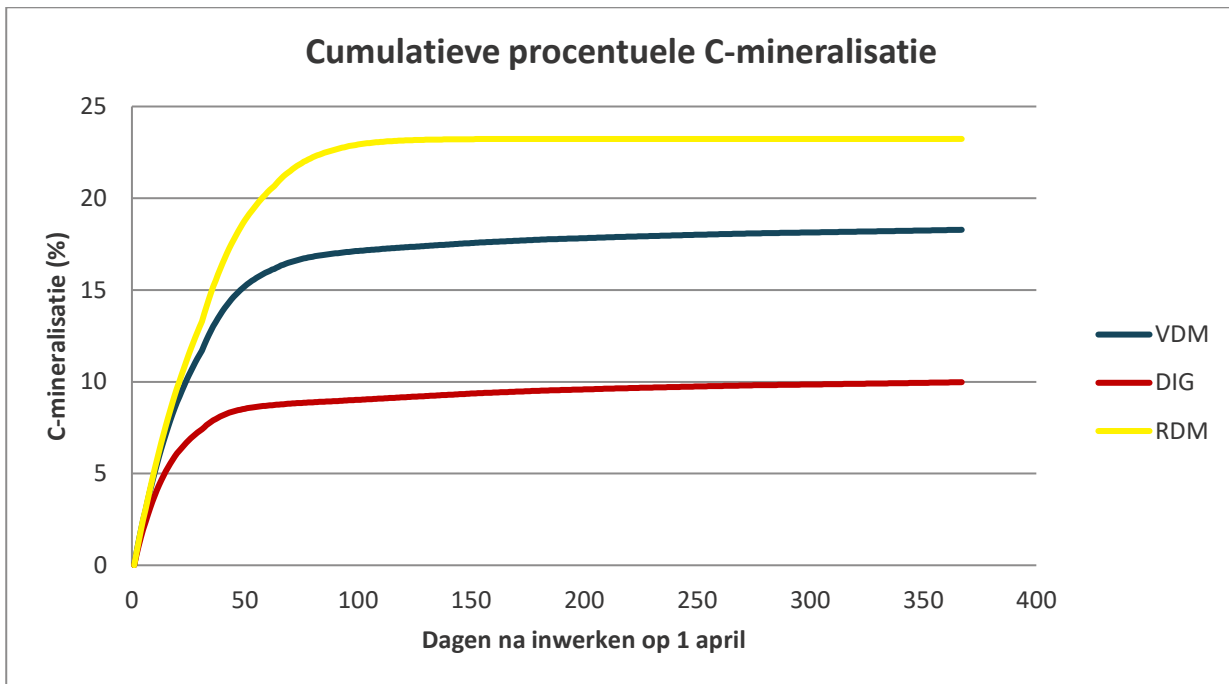


Figuur 81. Gesimuleerde gasvormige N-verliezen voor de veldproef in Roeselare bij een toegediende dosis werkzame N van 120 kg N ha⁻¹ voor het proefjaar 2015-16 en 4 jaren met extreme weersomstandigheden in het najaar.

8.5 SIMULATIES VAN DE KOOLSTOFDYNAMIEK

Om de bijdrage van de mestproducten tot de opbouw van bodemorganische stof te bepalen, worden simulaties uitgevoerd met de Demetertool, ontwikkeld door de VLM, het NMI en de vakgroep Bodembeheer van de UGent. In eerste instantie is het de bedoeling de humificatiecoëfficiënten van de mestproducten te bepalen op basis van de incubatieproeven die uitgevoerd worden aan de UGent. Daartoe wordt een 1^e + 0^e orde model gefit aan de resultaten uit de incubatieproeven. Hierbij verloopt de mineralisatie van de traag afbreekbare fractie volgens een lineaire vergelijking, terwijl de afbraak van de snel afbreekbare fractie volgens een exponentiële vergelijking verloopt (Sleutel et al., 2005). Aangezien de incubatieproef wordt uitgevoerd bij kamertemperatuur, worden de mineralisatieparameters maandelijks herrekend op basis van de gemiddelde bodemtemperatuur a.d.h.v. de vergelijking voorgesteld door De Neve et al. (1996). Zo kan de jaarlijkse hoeveelheid gemineraliseerde C berekend worden (Figuur 82), waaruit de procentuele niet-gemineraliseerde fractie bepaald kan worden, welke overeenkomt met de humificatiecoëfficiënt.





Figuur 82. Cumulatieve procentuele mineralisatie van enkele mestproducten berekend op basis van incubatieproeven uitgevoerd aan de UGent.

De humificatiecoëfficiënten (77-90%) die op deze manier bekomen worden voor enkele van de mestproducten, zijn hoog in vergelijking met cijfers uit de literatuur (40-50%, met uitzondering van compost: 90%). Op basis daarvan besloten wij niet met deze berekende humificatiecoëfficiënten verder te werken, maar wordt er gekozen om de standaard humificatiecoëfficiënten van de mestproducten (of vergelijkbare producten) in de Demetertool toe te passen. Deze zijn immers gebaseerd op diverse onderzoeksresultaten uit binnenlandse en buitenlandse studies. In het andere geval zou de bijdrage van de mestproducten naar organische stofopbouw toe wellicht overschat worden.

In de Demetertool wordt een standaard akkerbouwrotatie gesimuleerd over een periode van 30 jaar. De rotatie is vierjarig en bestaat uit een opeenvolging van aardappel, wintergerst, suikerbiet en wintertarwe. Het stro van de wintergranen wordt afgevoerd en er worden geen groenbemesters ingezaaid. Dit met opzet om voor het basisscenario onder behandeling 8, dus zonder toediening van organische mestproducten, een status quo van het koolstofgehalte in de bodem te verkrijgen over een periode van 30 jaar.

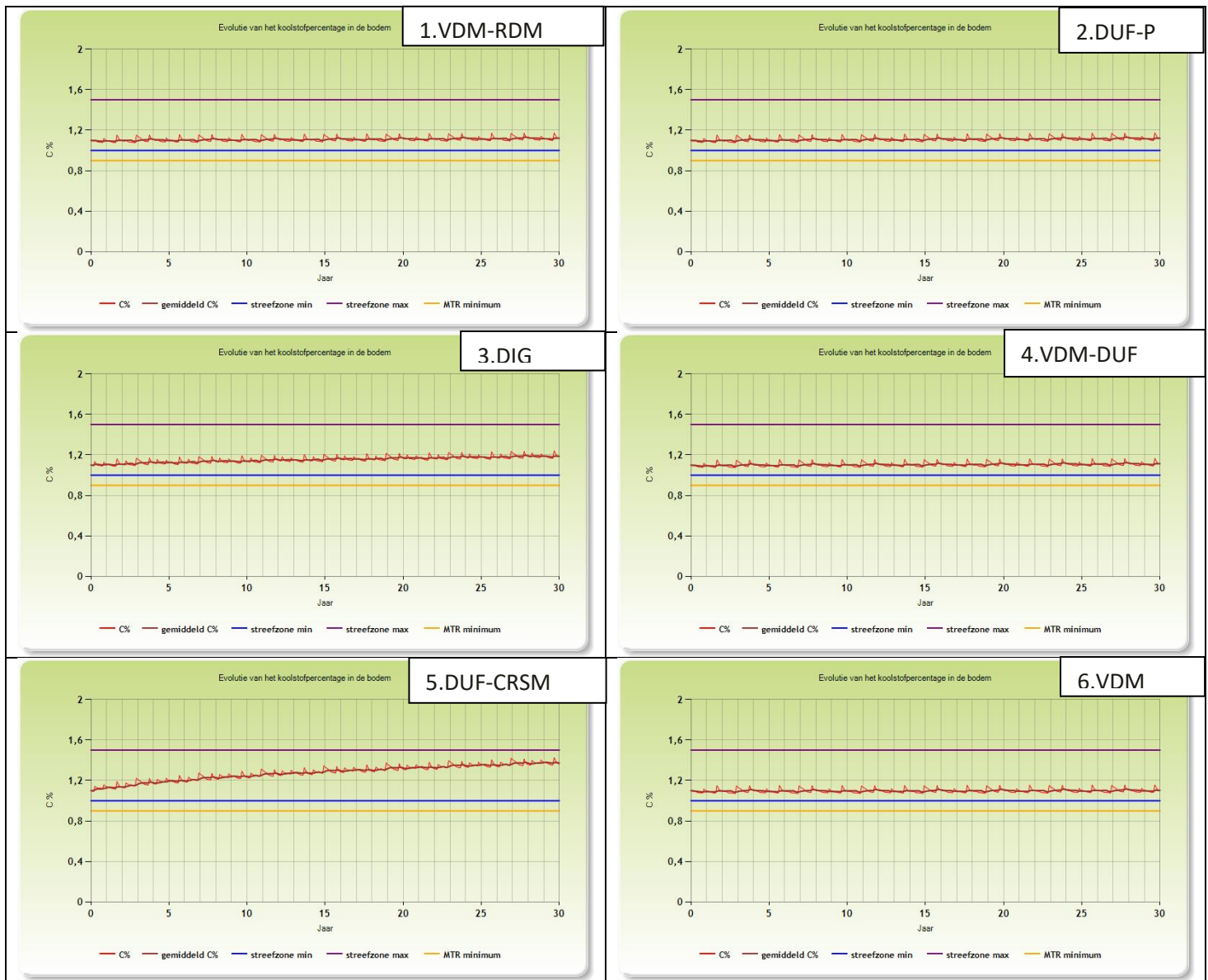
Mestproducten worden tweemaal per rotatie toegediend, met name voor het poten van de aardappelen en voor inzaai van de suikerbieten. Bemestingsdosissen worden afgestemd op eenzelfde hoeveelheid werkzame N, gebaseerd op de resultaten uit de veldproef. Hierbij wordt de dosis werkzame N uit de veldproef verlaagd van 120 naar 50 kg N ha⁻¹ per behandeling om de norm aan totale N uit dierlijke mest van 170 kg ha⁻¹ (bij benadering) niet te overschrijden (Tabel 103).

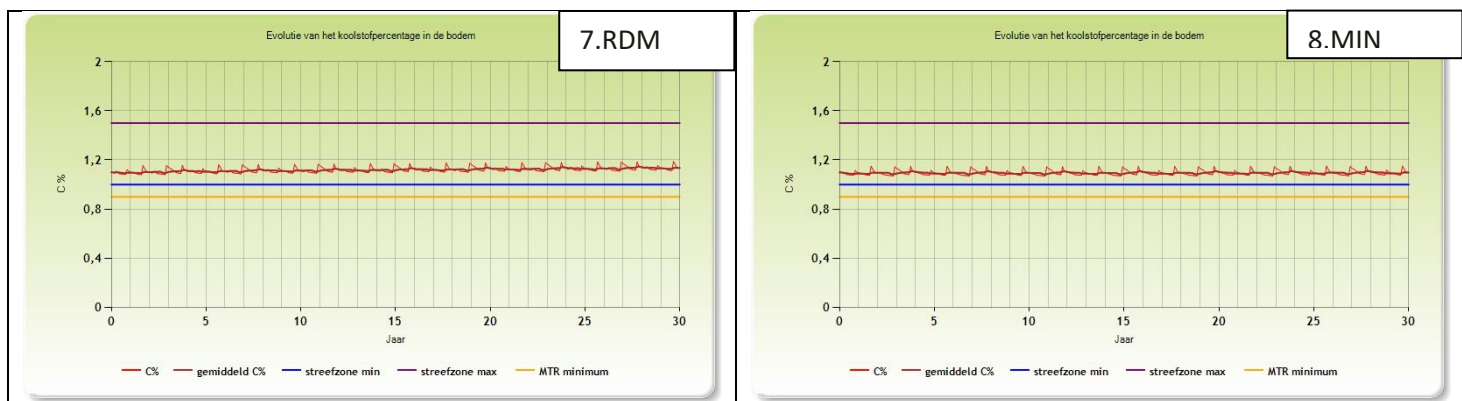
Tabel 103. Berekening van de toegediende hoeveelheden van de verschillende mestproducten om voor elke behandeling een dosis werkzame N van 50 kg N ha⁻¹ te bekomen.

Behandeling	Product	Toegediende hoeveelheid (ton/ha)	werkzame N (kg/ha)	totale N (kg/ha)
1	VDM	7	25	27
1	RDM	10	26	47
2	DUF P	25	49	52
3	DIG	42	50	172
4	VDM	6	21	23

4	DUF-P	14	27	29
5	RSM	12	28	105
5	DUF-P	10	19	21
6	VDM	14	49	54
7	RDM	19	50	89
8	MIN	0,05	50	50

De resultaten van de simulaties vertonen enkel voor behandeling 3, 5 en 7 een duidelijke toename van het koolstofgehalte in de bodem (Figuur 83). Voor alle andere behandelingen wordt net als voor behandeling 8 een status quo van het koolstofgehalte behouden. De grootste toename (0,3% C) in koolstofgehalte wordt bekomen voor behandeling 5, met als reden de toediening van gecomposteerde runderstalmest. Ook het tweejaarlijks toepassen van digestaat (behandeling 3), resulteert in een relatief grote toename (0,1% C) van het koolstofgehalte, hetgeen vooral een gevolg is van de grotere hoeveelheid product die kan worden toegediend naar aanleiding van de geobserveerde immobilisatie in het veld. Behandeling 7 (met RDM) geeft slechts een beperkt positief effect op de organische stofopbouw.





Figuur 83. Simulatie van het organisch koolstofgehalte in de bodem voor een rotatie aardappel-wintergerst-suikerbiet-wintertarwe over een periode van 30 jaar, met toepassing van de verschillende behandelingen op basis van een werkzame N dosis van 50 kg N ha⁻¹.

Voor elk product afzonderlijk wordt eveneens de hoeveelheid effectieve organische koolstof (EOC) berekend op basis van de standaard humificatiecoëfficiënten in Demeter, waarbij rekening gehouden wordt met gemiddelde OC-inhouden van deze producten (Tabel 104, zie ook tabellen productfiches in samenvatting). De hoogste hoeveelheid EOC per ton VM wordt aangebracht door CRSM, omwille van zijn hoge OC-gehalte en hoge humificatiecoëfficiënt. Humificatiecoëfficiënten voor de andere producten zijn min of meer gelijk, waardoor de voornaamste onderscheidende parameter de OC-inhoud is. Indien we de EOC uitdrukken per kg aangebrachte totale of werkzame N (met N-werkingscoëfficiënt op basis van 4 maanden incubatie), kunnen we vaststellen dat na CRSM, RDM het meest aangewezen product is om het organisch stofgehalte van de bodem te verhogen. Dit in tegenstelling tot de resultaten op basis van de veldproef in Roeselare (Figuur 83), waar DIG na CRSM het meest aangewezen product bleek te zijn. In Roeselare wordt immers een veel lagere N-werkingscoëfficiënt aan DIG toegeschreven, op basis van de waargenomen N-immobilisatie in het veld.

Tabel 104: Gemiddeld organisch koolstofgehalte (OC) en effectief organische koolstof (EOC) per ton verse mest (VM) en per kg werkzame N, 4 maanden na toediening (N_{wz}).

	kg OC / ton VM	kg EOC / ton VM	kg EOC / kg N _{tot}	kg EOC / kg N _{wz}
VDM	35	14	2,2	3,1
DUF VDM	12	5	1,0	1,7
RDM	36	14	3,5	6,4
DIG RDM	24	10	2,6	3,9
CRSM	188	171	20,1	154,6

8.6 BESLUIT

Op basis van resultaten uit de incubatieproef en de veldproef te Roeselare worden parameters voor de N-mineralisatie van verschillende mestproducten gekalibreerd. De werkingscoëfficiënten van de producten worden bepaald. Er wordt een simulatie uitgevoerd van de veldproef waarbij gelijke dosissen werkzame N van 120 kg N ha⁻¹ worden toegediend om de behandelingen onderling beter te kunnen vergelijken. De toegediende dosissen gaven aanleiding tot optimale aardappelopbrengsten, maar de gesimuleerde resultaten voor nitraatuitspoeling gaven aan dat de bemestingsdosis in de veldproef veel te hoog lag, ondanks de aanwezigheid van een vanggewas. Zowel de Vlaamse limietwaarde voor het nitraatresidu in het najaar als de Europese norm van 50 mg NO₃⁻ l⁻¹ in het drainagewater worden overschreden. Dit geldt niet enkel voor het proefjaar 2015-16, maar ook onder extreme weersomstandigheden. Belangrijkste vaststelling is dat de producten met de laagste werkingscoëfficiënt leiden tot grotere N-verliezen in het najaar, door de trage mineralisatie van de organische N of door hermineralisatie van de geïmmobiliseerde minerale N.

//

Simulaties met de Demetertool wezen er dan weer op dat juist deze producten (met name gecomposteerde runderstalmest) de hoogste bijdrage leveren naar organische stofopbouw toe. Bij het inzetten van deze producten ter verhoging van het bodemorganische stofgehalte is het dus cruciaal een beperkte dosis toe te dienen resulterend in een minimaal N-residu bij oogst, aangezien er nog bijkomende mineralisatie zal optreden in het najaar. Een bijkomende aanbeveling is om maximaal permanente bodembedekking na te streven: niet alleen onder de vorm van een vanggewas in het najaar, maar ook als een (doorlevend vang)gewas in het vroege voorjaar.

Stikstof werkingscoëfficiënt

De stikstofwerkingscoëfficiënt (of effectieve N) is de hoeveelheid N in het toegediende bemestingsproduct dat beschikbaar is voor plantopname gedurende het groeiseizoen van toediening (Webb et al., 2013). De beschikbaarheid van N uit mestproducten zal onder meer (en grotendeels) afhankelijk zijn van de beschikbare N (d.i. minerale N) die initieel aanwezig is in het product, wat significant kan variëren. In onze waarnemingen binnen het huidig project zien we dat incubatieproeven de beste schatting geven van wat daar bovenop kan worden vrijgesteld door afbraak van organische N in het product.

De officieel getabelleerde werkingscoëfficiënten uit EU wetgeving vormen echter een zeer slechte basis om effectieve N in te schatten. Deze zijn de resultante van bilaterale onderhandelingen tussen lidstaten en de EU op afzonderlijke basis en reflecteren dan ook eerder politiek vastgelegde waarden eerder dan technisch onderbouwde waarden. Zo kan men bijvoorbeeld waarnemen dat de N Werkingscoëfficiënt voor rundvee drijfmest varieert van 20% (Bulgarije, Griekenland, VK) tot 75% (Polen).

Deze waarden vormen dus een slechte basis om N werkzaamheid in te schatten. Zoals hierboven aangegeven, vormen incubatieproeven onder gecontroleerde omstandigheden de beste basis.



Tabel 105. Gerapporteerde waarden van plantbeschikbare N-totaal (%). Deze waarden worden gebruikt door de EU-lidstaten (bron: Webb et al., 2013).

MS	Koe		Varken		Legkip		kuiken	schaap
	drijfmest	Vaste mest	drijfmest	Vaste mest	drijfmest	Vaste mest		
AT	50	5/15	65	5/15	60	30	30	NR
BE (Flan)	60	30	60	30	60	30	30	30
BE (Wall)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
BG	20-35	20	40-45	20	40-50	40-50	40-50	NR
CY	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
CZ	60	40	60	40	60	40	40	40
DK ^a	70	65 ^b	75	65 ^b	70	65	65 ^b	65 ^b
EE	50	25	50	25	50	25	25	25
FI	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
FR ^c	laag C/N	hoog C/N	laag C/N	hoog C/N	laag C/N	laag C/N	laag C/N	hoog C/N
DE	50	25-30	60	25-30	60	30	60	NR
GR	20-35	10	25-45	10	20-30	20-30	20-30	10
HU	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
IE	40	30	50	50	50	50	50	NR
IT ^d	24-62	24-62	28-73	28-73	32-84	32-84	32-84	NR
LV	50	25	50	25	30	25	25	NR
LT		35 ^e		35 ^e			35 ^e	35 ^e
LU	25-50	30-50	30-60	30-50	NR	50	50	NR
MT	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
NL	60	40	60-70	55	60/70	55	55	NR
PL	50-60	30	50-60	30	50-60	30	30	30
PT	55-75	30-60	50-80	40-60	50_70	40-60	40-60	40-60
RO ^f	50	30	50	30	NR	30	50	NR
SK	50	30	50	30	30	50	50	NR
SI	50	30	50	30	30	50	50	NR
ES ^g	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
SE	40-50 ^h	36-41 ^h	57	47	NR	48	47/75 ⁱ	38
GB	20/35 ^j	10	25/50 ^j	10	NR	20/35 ^j	20/30 ^j	10
GB NI		30	50	30			30	

NR, niet gerapporteerd.

^a Bevat ook de N-residu's in de Jaren volgend op de toediening

^b 45% voor mest uit potstal

^c In de AP van Frankrijk is de N-beschikbaarheid in mest niet uitgedrukt i.f.v. de N-inhoud, maar tevens met rekening houdend met koolstof/stikstof (C/N) verhouding in de mest.

^d Beschikbaarheid is voorgesteld als een matrix volgens bodemtype en toedieningstijdstip.

^e Enkel eerste jaar. Totaal voor 3 jaar = 70%.

^f Er zijn geen cijfers beschikbaar die aangeven hoe de N-opname uit mest verandert bij wijzigende factoren gezien de berekeningen zijn uitgevoerd met actuele bodemdata en weersomstandigheden voor alle bodempolygonen in de NVZs.

^g Verschillende waarden worden gebruikt in diverse regio's.

^h Hangt af van de klasse dieren.

ⁱ Potstal/andere.

^j Najaar/voorjaar toediening.

9 KOOLSTOF / FOSFOR ONTKOPPELING UIT DIKKE FRACTIE VAN GESCHEIDEN MEST EN DIGESTAAT

9.1 INLEIDING

Om de waterkwaliteit te waarborgen, wordt een alomvattend kader van de EU-wetgeving geschapen (ex. Nitraatrichtlijn 91/676 / EG en de Kaderrichtlijn water 2000/60 / EU) en vervolgens vertaald naar actieplannen op lidstaat niveau. In Vlaanderen worden beperkingen opgelegd aan zowel stikstof (N) als fosfor (P) uit dierlijke mest, waarbij de maximum toegestane stikstof 170 kg N / ha / jaar bedraagt. De toegelaten dosering voor P ligt beduidend lager, variërend van 40 tot 70-115 kg P₂O₅ / ha / jaar. Gelet op de toegelaten bemestingsdosissen voor (dierlijke) N en P en gelet op de verhouding aan deze nutriënten in ruwe mest, wordt de toelaatbare dosis aan dierlijke mest in de praktijk bepaald door P als limiterend element. Om de N/P verhouding te wijzigen teneinde meer N te kunnen uitrijden, wordt dierlijke mest in Vlaanderen vaak mechanisch gescheiden (al dan niet voorafgegaan door anaërobe vergisting). De mechanische scheiding van dierlijke mest en digestaat leidt tot een P-rijke vaste fractie en een P-arme vloeistoffractie rijk aan N en K. De P-rijke vaste fractie wordt gewoonlijk geëxporteerd naar P-behoevende (buur)regio's. Samen met het geëxporteerde P, wordt hierbij echter ook waardevolle organische stof afgevoerd. Om deze organische stof in Vlaanderen te houden moeten we dus de P loskoppelen van de organische stof. Deze studie focust op aanzuring van dikke fractie met als doel een P-arm(er) organisch product te bekomen dat in Vlaanderen afgezet kan worden, en waarbij de (geëxtraheerde) P zelf kan worden geëxporteerd.

9.2 PRODUCT KARAKTERISATIE

Dikke fractie van mest wordt ingezameld bij een varkenshouder en dikke fractie van digestaat bij een biogasinstallatie. Beide producten worden bekomen na scheiding via centrifuge, bemonsterd in 5l polyethyle emmers en opgeslagen bij 4°C voor verdere fysico-chemische karakterisatie. Stalen hieruit worden gedroogd bij 70°C gedurende >48h in een droogoven voor drogestofbepaling (DS). Substalen van deze gedroogde stalen worden gemalen voor verdere bepaling van organische koolstof / organisch materiaal. Organische koolstof wordt bepaald via een CNS Analyzer (Variomax CNS Elementar, Hanau, Germany). Organisch materiaal wordt verder ook bepaald a.d.h.v. gloeiverlies (4h, 550°C in moffeloven). Veraste stalen uit de organische materiaal bepaling worden vervolgens zuur gedestruerd (5 ml 6N HNO₃ and 5 ml 3N HNO₃), waaruit vervolgens totale P inhoud wordt bepaald m.b.v. de colorimetrische method van Scheel (Van Ranst et al., 1999) en totale K, Ca, Mg en Na via ICP-OES (Inductively coupled plasma optical emission spectrometry; Varian Vista MPX, USA). Totale N wordt bepaald m.b.v. de Kjeldahl methode (Van Ranst et al., 1999). Wateroplosbare P wordt bepaald met water extractie bij een Liquid-Solid ratio van 20:1. Dezelfde ratio wordt gehanteerd voor pH bepaling, en de pH wordt gemeten met een Orion-520A (Orion Research Inc, USA) pH-meter.



Tabel 106. Product karakterisatie van dikke fractie mest en digestaat (n=2) uitgedrukt op basis van droge stof (DS) (met uitzondering van pH die verband houdt met het nieuwe gewicht van het product)

Parameters	DIF Mest	DIF Digestaat
DS (%)	31 ± 0.7	30 ± 0.1
Organisch materiaal (% on DS)	68 ± 0	67 ± 0
Organische koolstof (% on DS)	34 ± 0.4	35 ± 0.3
pH	8.5 ± 0.0	9.0 ± 0.0
N _{tot} (g kg ⁻¹)	40.4 ± 1.0	31.8 ± 0.8
P _{tot} (g kg ⁻¹)	35.6 ± 0.9	21.5 ± 1.8
P-wateroplosbaar (g kg ⁻¹)	1.40 ± 0.03	2.00 ± 0.20
C/P _{tot}	3.0	4.9
C/(P _{tot} - P _{wateroplosbaar})	3.1	5.4
K (g kg ⁻¹ DS)	11 ± 0	13 ± 0
Ca (g kg ⁻¹ DS)	49 ± 1	16 ± 1
Mg (g kg ⁻¹ DS)	30 ± 1	12 ± 1
Na (g kg ⁻¹ DS)	3.1 ± 0.1	21 ± 1
Al (mg kg ⁻¹ DS)	861 ± 7	5255 ± 27
Cr (mg kg ⁻¹ DS)	5 ± 0	9 ± 2
Cu (mg kg ⁻¹ DS)	306 ± 2	31 ± 1
Fe (mg kg ⁻¹ DS)	2153 ± 20	8651 ± 13
Mn (mg kg ⁻¹ DS)	876 ± 1	243 ± 0
Ni (mg kg ⁻¹ DS)	< 4	34 ± 2
Pb (mg kg ⁻¹ DS)	6 ± 1	25 ± 3
Zn (mg kg ⁻¹ DS)	551 ± 6	69 ± 1

De producten zijn zeer gelijkaardig wat betreft drogestof, organisch materiaal, organische koolstof en pH. Inzake hoofdelementen worden hogere concentraties aan N_{tot}, P_{tot}, Ca, Mg gevonden in de dikke fractie van mest. Ondanks een lager P_{tot} is de aanwezige water-oplosbare fractie aan P hoger in digestaat dan in mest.

9.3 TITRATIE EXPERIMENT

Dit titratie experiment wordt uitgevoerd met zwavelzuur (H₂SO₄), bijgevolg wordt er veel S toegevoegd. Dat betekent niet dat je in de praktijk ook zoveel moet toevoegen, maar er wordt in dit experiment gekeken naar pH-respons ten opzichte van titratie met zwavelzuur. Het titratie experiment had als doel effect op P-vrijstelling bij systematische aanzuring na te gaan. Hiervoor wordt ± 2.5 g product (verse stof) overgebracht naar een beker en gemengd met 20ml gedistilleerd water. Het mengsel wordt continu in suspensie gehouden met een mengmagneet, en aan de suspensie wordt 1M H₂SO₄ titrimetrisch gedoseerd met een Metrohm titratie toestel waarbij pH wordt opgevolgd met een Orion-520A (Orion Research Inc, USA) pH-meter. Data wordt gelogd en verwerkt via het "Termite software" pakket. Eens de gewenste instel-pH bereikt wordt, worden stalen overgebracht naar centrifuge buizen en aangevuld tot 50 ml volume met gedistilleerd water. Centrifuge vond vervolgens plaats met een labo-centrifuge gedurende 30 min aan 3000 tpm, waarna de bekomen bovenstaande oplossing gefilterd wordt en wateroplosbare P bepaald wordt met ICP-OES.

Titratie curves voor beide producten (Figuur 84 en Figuur 85) worden bepaald met 5 verschillende pH's : 6.5, 6.0, 5.5, 5.0 en 4.5. Het zuurverbruik om deze respectievelijke pH's te bereiken (met 1M H₂SO₄) wordt uitgedrukt in meq H⁺/kg DS. P-vrijstelling wordt als volgt berekend :

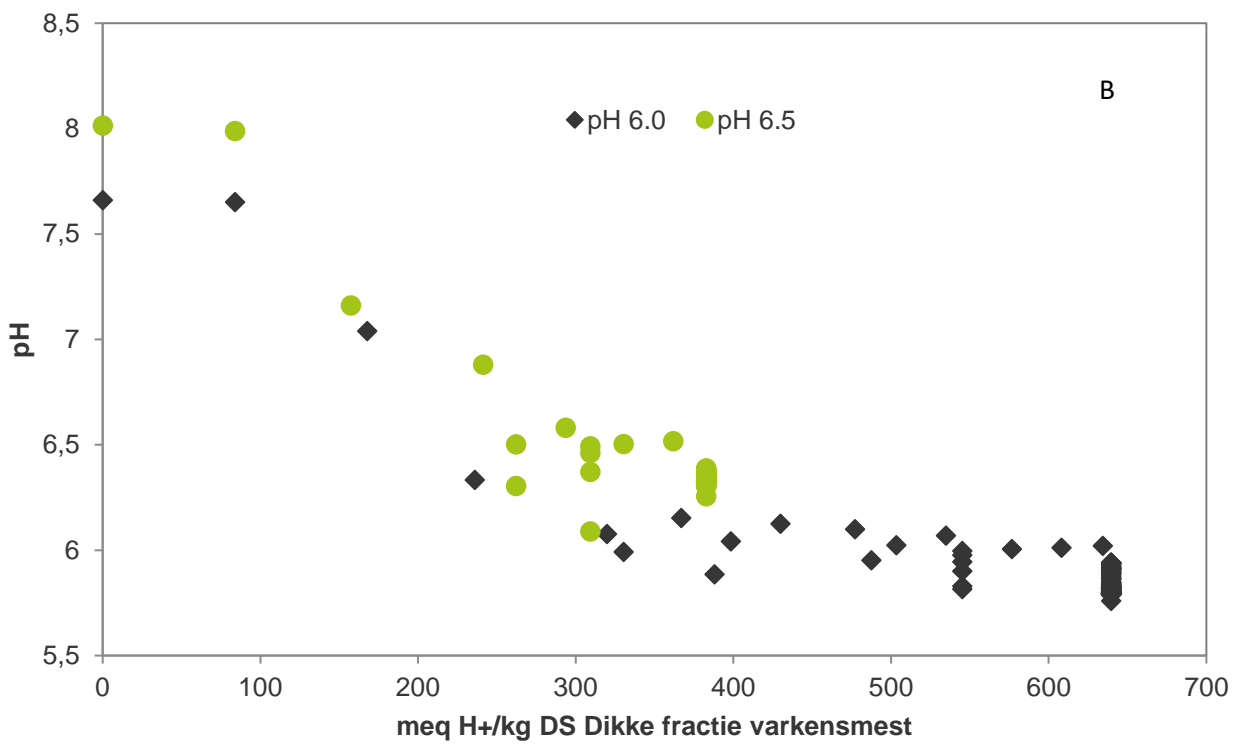
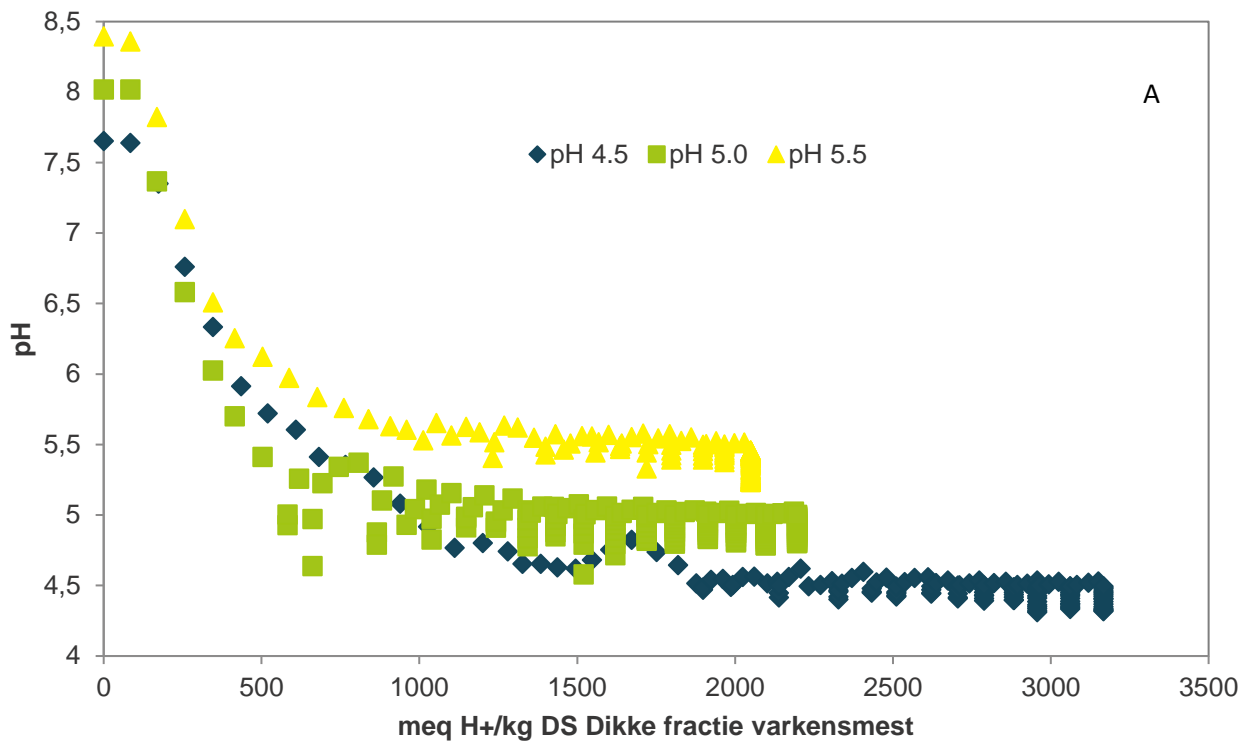
$$P \text{ vrijstelling (\%)} = (\text{water oplosbare P}_{\text{na aanzuring}} - \text{water oplosbare P}_{\text{voor aanzuring}}) / P_{\text{tot}}$$

Tabel 107. P vrijstelling (%) bij verschillende pH niveaus na titratie met 1M H₂SO₄ voor dikke fractie van varkensmest (A) en digestaat (B)

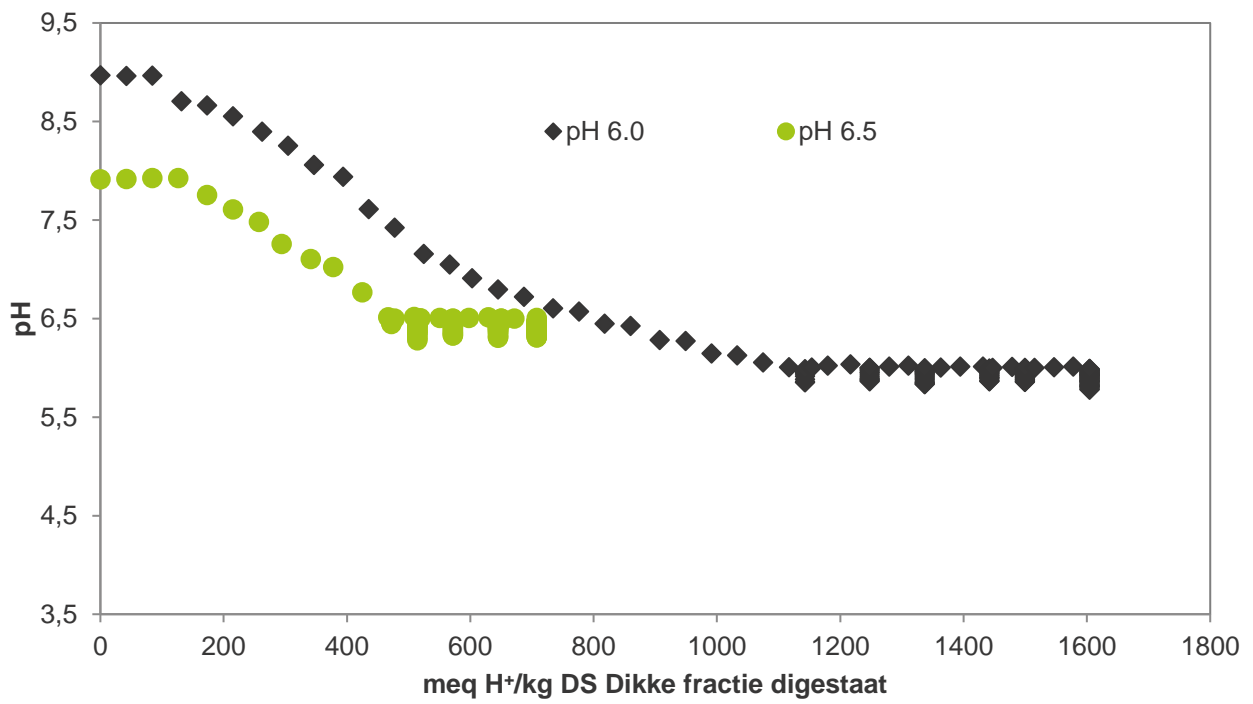
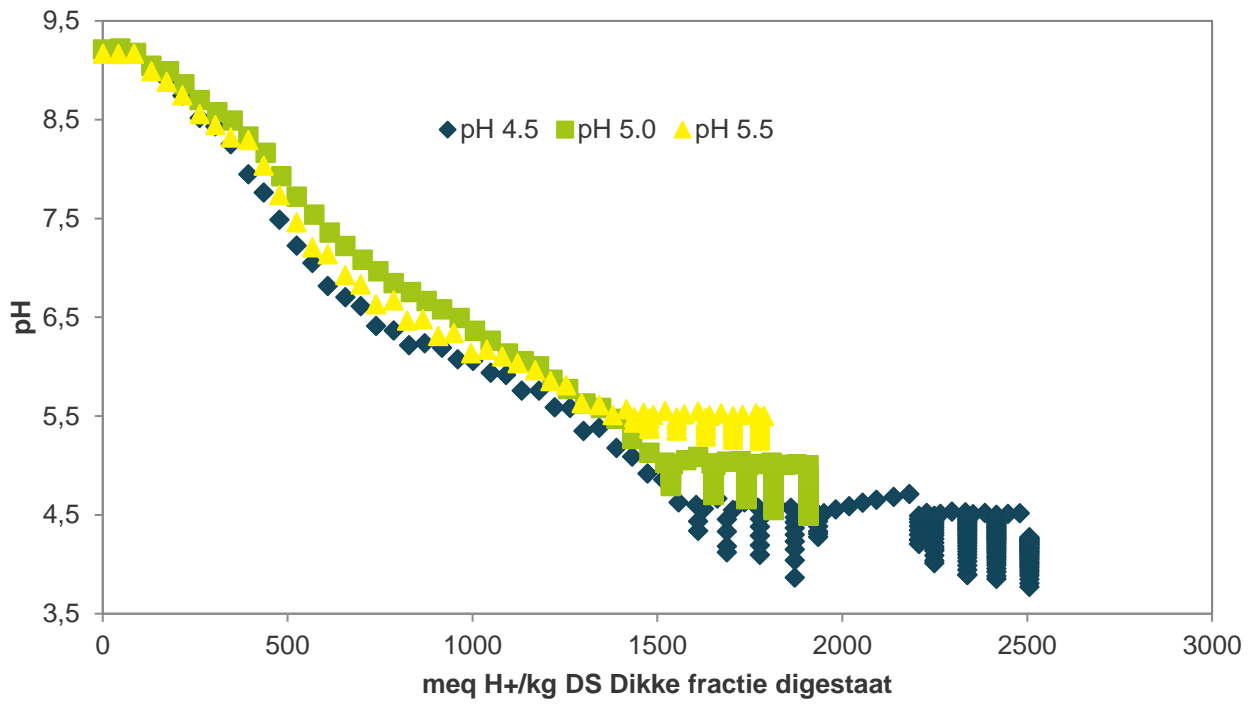
<i>(A) DIF mest</i>						
Richt-pH	Bereikt pH niveau	1M H ₂ SO ₄ (ml)	meq H ⁺ /kg DM	Water oplosbare P (g/kg DS)	P vrijstelling (%)	C/(P _{tot} -P _{wateroplosbaar})
Initial pH =	8.5	-	-	1.4	-	3.1
6.5	6.3	0.146	383	5.2	11	3.5
6.0	5.8	0.244	639	8.4	20	3.9
5.5	5.2	0.782	2049	25.5	68	10.4
5.0	5.0	0.838	2196	27.1	73	12.4
4.5	4.5	1.208	3166	31.3	85	24.5
<i>(B) DIF digestaat</i>						
Richt-pH	Bereikt pH niveau	1M H ₂ SO ₄ (ml)	meq H ⁺ /kg DM	Water oplosbare P (g/kg FW)	P vrijstelling (%)	C/(P _{tot} -P _{wateroplosbaar})
Initial pH =	9.0	-	-	2.0	-	5.4
6.5	6.5	0.270	708	7.3	25	7.4
6.0	6.0	0.612	1604	13.0	51	12.4
5.5	5.5	0.682	1787	13.7	54	13.4
5.0	4.9	0.728	1908	14.3	57	14.7
4.5	4.3	0.956	2506	16.0	65	19.1

De varkensmest blijkt sterk gebufferd te zijn rond pH 5.5-6.0: de initiële zuurbehoefte om tot pH 6.0 te komen is 639 meq H⁺/kg DS, terwijl 3x meer zuur nodig is om tot pH 5.5 te komen. Ook de P-vrijstelling lag 3x hoger bij pH 5.5 in vergelijking met pH 6.0 (Tabel 40). Bij digestaat is resp. 708 meq H⁺/kg DS nodig om pH 6.5 te bereiken en is er 2x zuur nodig om tot pH 6.0 te dalen. Ook bij digestaat vertaalde zich dat in verdubbeling van vrijgestelde P.





Figuur 84. Titratie curves voor dikke fractie varkensmest voor instel-pH waarden 4.5, 5.0, 5.5 (A) en 6.0, 6.5 (B)



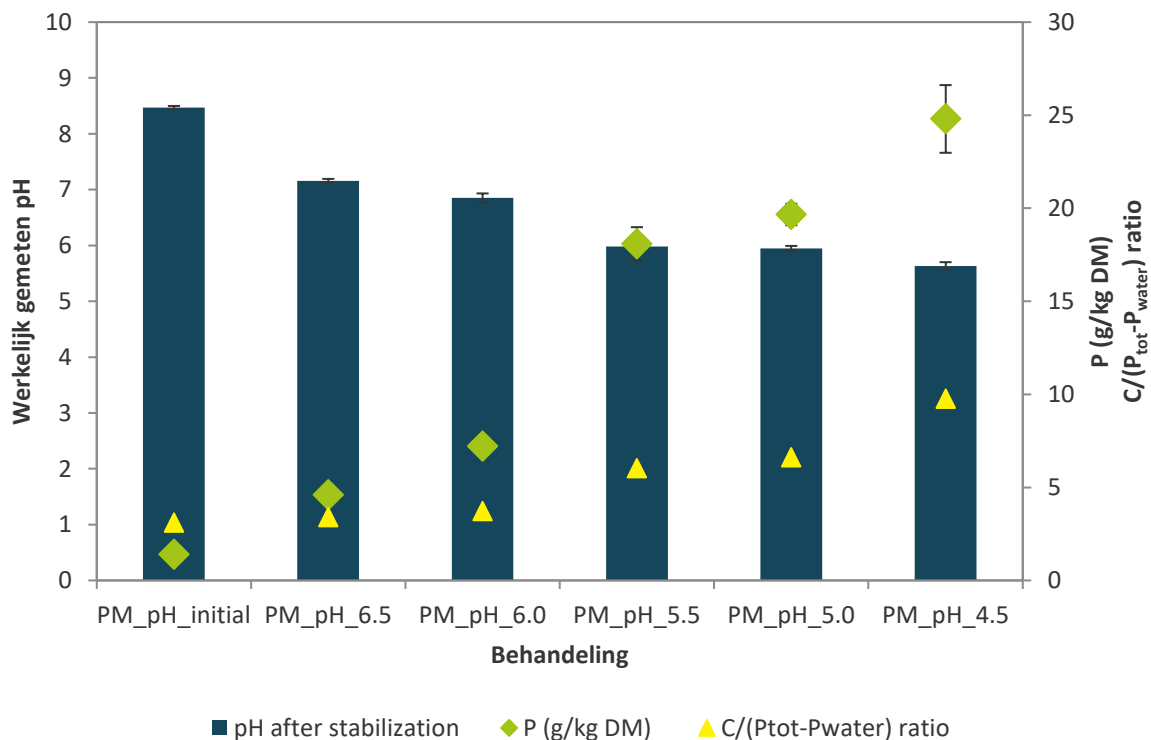
Figuur 85. Titratie curves voor dikke fractie digestaat voor instel-pH waarden 4.5, 5.0, 5.5 (A) en 6.0, 6.5 (B)



9.4 BIJKOMEND EQUILIBRATIE EXPERIMENT

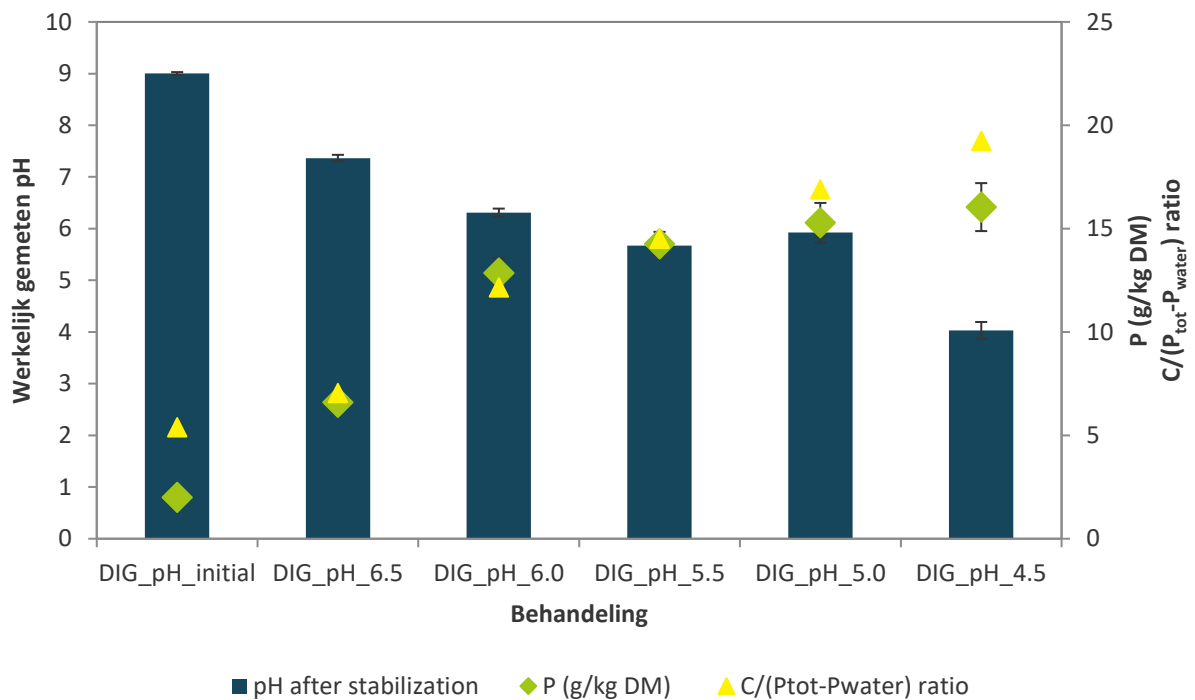
Door de sterke buffer capaciteit in beide producten, wordt besloten bijkomende experimenten uit te voeren met langere equilibratie tijd (overnacht). Immers bij korte equilibratie tijden wordt een pH correctie naar boven toe waargenomen (ook merkbaar in bovenstaande figuren). Voor elke pH wordt hierbij gewerkt met 4 herhalingen. Dezelfde procedure van staalbereiding en gehanteerde zuuroplossing wordt gevolgd als bij het voorgaande titratie experiment. Evenwel wordt in deze opzet geen titratie uitgevoerd, maar wordt de vereiste zuur-dosis om een bepaalde instel-pH te bereiken afgeleid uit de reeds beschikbare titratiecurves (Tabel 107) en wordt manueel toegediend via pipet. Na zuurtoediening wordt de suspensie enkele seconden manueel geroerd waarna ze onaangeroerd stond overheen de nacht om een stabiele eind pH te bekomen. Alvorens over te gaan tot pH meting wordt de suspensie nogmaals manueel geroerd. Na pH bepaling worden stalen genomen, gecentrifugeerd, gefilterd en wordt wateroplosbare P bepaald.

Voor beide producten (Figuur 86 en Figuur 87) leverde de langere equilibratie tijd een verhoging van de pH op met 0.5-1.1 eenheden ten aanzien van de waarden bekomen bij het titratie experiment. Het grootste verschil is waargenomen bij instel-pH waarde 4.5 voor de Dikke fractie van varkensmest waar de finale pH aldus 1.1 punten hoger lag dan de instelwaarde. Omgekeerd lag voor de zelfde pH instelwaarde de gemeten pH bij Dikke fractie van digestaat bijna 0.5 eenheden lager dan vooropgesteld.



Figuur 86. Wateroplosbare P (g/kg DS) uit Dikke fractie varkensmest in functie van pH na aanzuring en equilibratie overnacht ('after stabilization'). Geen aanzuring wordt voorzien in de behandeling "PM_pH_initial"

De P vrijstellingspercentages (%) bij pH's 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 en 6.5 bedroegen resp. 66, 52, 47, 17 en 9% voor Dikke fractie varkensmest en 66, 62, 57, 51 en 22% voor Dikke fractie digestaat. Digestaat leek stabielere dan varkensmest bij aanzuring: voor varkensmest is een langere equilibratietijd nodig om de effectieve P vrijstelling (%) te achterhalen.



Figuur 87. Wateroplosbare P (g/kg DS) uit Dikke fractie digestaat in functie van pH na aanzuring en equilibratie overnacht ('after stabilization')

9.5 INZET VAN GEËXTRAHEERDE P IN DE TUINBOUW

Heden ten dage wordt in de tuinbouw monokaliumfosfaat en monoammoniumfosfaat gebruikt als wateroplosbare P meststof (persoonlijke communicatie PCG, 2017). De concentratie aan P in deze meststoffen ligt tussen 20-25%. Ondanks de hoge P recuperatie uit de dierlijke mest, ligt de concentratie aan wateroplosbare P na aanzuring toch nog lager (Tabel 106) dan de vereiste concentraties voor vermarkting. Aldus wordt een strategie vooropgesteld om de fosfor vervolgens terug neer te slaan in een neerslag met hogere P concentratie (zie 9.5.1.).

Om benutbaar te zijn in de tuinbouw zou aan meerdere voorwaarden moeten voldaan zijn, waarbij o.a. de P concentratie gelijkaardig zou moeten zijn aan die in de huidige beschikbare producten. Behalve de P concentratie, is het ook belangrijk na te gaan welke andere elementen in de aangezuurde oplossing terechtkomen. Dit is vitaal voor tuinbouw onder glas met hydrocultuur waar recirculatie gangbaar is en de zuiverheid/samenstelling van de meststoffen dus cruciaal is. Omgekeerd is het mogelijk dat andere (sporen)elementen in deze aangezuurde oplossing een extra waarde kunnen betekenen bij aanmaak van multi-nutriënt oplossingen voor glastuinbouw of tuinbouw in open lucht.

Tabel 108. P concentratie (mg/L) in supernatant na aanzuring in het equilibratie experiment. Concentraties o.b.v. 1:20 dilutie (2.5g staal in 50mL H₂O)

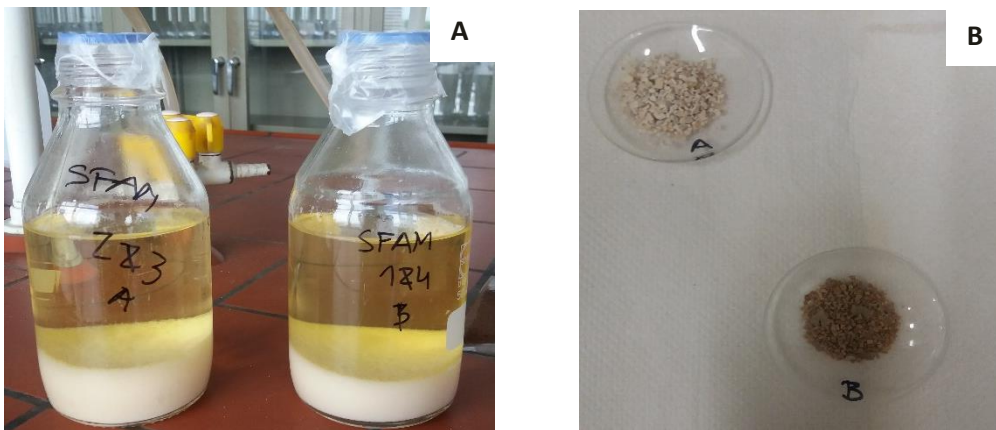
P concentratie (mg P/L)	Initial pH	pH 6.5	pH 6.0	pH 5.5	pH 5.0	pH 4.5
SF_AM	22 ± 1	100 ± 4	148 ± 9	308 ± 2	316 ± 8	382 ± 5
SF_DIG	31 ± 3	99 ± 6	196 ± 8	217 ± 10	229 ± 11	242 ± 15

SF_AM : dikke fractie mest, SF_DIG : dikke fractie digestaat

9.5.1 Re-precipitatie vrijgestelde P

Ongeacht lage P-concentratie, kan opgeloste P opnieuw worden neergeslagen om aldus te recupereren in P-rijke precipitatie. Er is een toenemende interesse uit de meststoffenindustrie om Ca-fosfaat te gebruiken. In de volgende sectie wordt re-precipitatie van Ca-fosfaat bestudeerd na toevoeging van $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Door de lage P concentraties waargenomen in het supernatant van beide dikke fracties, wordt gewerkt met hoogst mogelijke opgeloste P-concentratie, en dat is deze waargenomen bij pH 4,5. Voor het precipitatie experiment, wordt het aanzuringsexperiment herhaald met hogere stal- en waswatervolumes: 12,5g met 250 ml aangezuurd gedemineraliseerd water (zuurdosis wordt gebruikt als deze waargenomen bij het titratie experiment). Net als bij het equilibratie experiment worden behandelingen op elk van de producten (dikke fractie varkensmest, dikke fractie digestaat) uitgevoerd in vier herhalingen. Na overnachting wordt pH gemeten en elk herhaling wordt gefilterd. Herhalingen worden 2 aan 2 opgemengd tot volumes van 500 ml elk om voldoende uitgangsmateriaal te hebben voor de neerslagsreactie. In deze mengstalen wordt pH en P-concentratie gemeten alvorens $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wordt toegevoegd (zie onderstaande figuur). Een 3,4 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oplossing wordt titrimetrisch toegevoegd tot een doel-pH van 9,5-10,5. Voor dikke fractie varkensmest is hiervoor 3 ml loog nodig, voor dikke fractie digestaat 2 ml. De hier gekozen pH range situeert zich in de range zoals vooropgesteld door Schoumans et al. (2014).



Figuur 88. Precipitatie in oplossing na toevoeging van $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (A) and precipitate (Ca-P) after drying (B)

Na neerslag daalde de P concentratie in het supernatans van initiële 477 ± 33 en 230 ± 2 mg/l P voor dikke fractie varkensmest en digestaat resp. tot onder de detectie limiet (< 1 mg/l) voor beide producten. De precipitaten worden gerecupereerd (± 2 g) en ovengedroogd bij 70°C gedurende 48h. Vervolgens worden ze onderworpen aan as-destructie en mineralisatie om de Ca en P inhoud te bepalen. Samen met de producten dikke fractie van varkensmest en digestaat wordt een derde staal geanalyseerd, namelijk analoog Ca-fosfaat precipitaat bekomen bij het pilootproces bij Groot Zevert (Nederland; hierna Ca-P WUR genoemd) volgens analoge processtappen als hier weergegeven (aanzuring dikke fractie gevolgd door precipitatie uit waswater met $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Het proces maakt deel uit van een piloot / demo-installatie uit het H2020 project SYSTEMIC onder opvolging van de Wageningen Universiteit (WUR). Het proces schema is hieronder weergegeven:

Tabel 110. Concentratie aan zware metalen (mg/kg droge stof) in gerecupereerde precipitaten; SF_AM : dikke fractie mest, SF_DIG : dikke fractie digestaat; Ca-P WUR precipitaat bekomen uit behandeling van digestaat uit Groot Zevert (H2020 SYSTEMIC)

Zware metalen	SF_AM	SF_DIG	Ca-P WUR ^a
Al	30 ± 2	144 ± 73	922 ± 35
Cd	<dl	<dl	0.31 ± 0.04
Co	<dl	<dl	<dl
Cr	1.9 ± 0.0	2.7 ± 0.2	12 ± 1
Cu	6.9 ± 1.5	<dl	196 ± 3
Fe	55 ± 4	750 ± 201	2554 ± 52
Mn	991 ± 21	648 ± 33	1074 ± 24
Ni	<dl	6.5 ± 0.7	40 ± 2
Zn	292 ± 10	166 ± 10	580 ± 11

<dl: onder detectie limiet (Cd 0.00625 ppm; Co 0.0625 ppm; Cu 0.15625 ppm; Ni 0.0625 ppm)

9.5.2 Conclusie

Aanzuring van de dikke fractie van varkensmest of digestaat verhoogt de wateroplosbare P concentratie van deze producten tot 66% van aanwezige P. Aldus blijkt aanzuring succesvol in het maken van een P-verarmde dikke fractie met meer optimale C/P verhouding voor lokale afzet als bodemverbeterend middel.

De gerecupereerde P oplossing via het waswater vertoont evenwel een te lage P concentratie om gebruikt te worden in glastuinbouw.

Een alternatieve strategie die hier wordt getest is de vrijgestelde P vast te leggen in een zuiverdere Ca-fosfaat neerslag. Behandeling met $\text{Ca}(\text{OH})_2$ resulteert in een nagenoeg volledige neerslag van opgeloste P en geeft aanleiding tot een neerslagproduct met 4-5% P op drogestofbasis. Indien er interesse is om voorwaarts te gaan met recuperatie van P uit mest en digestaat, dient de economische haalbaarheid te worden gevalideerd. Dit is ondermeer de doelstelling in het H2020-SYSTEMIC project. Andere bestanddelen die aanwezig kunnen zijn in gerecupereerd Ca-P zijn geen focus van deze studie. De volledige karakterisatie van precipitaten zouden voorafgaand moeten uitgevoerd worden voor hun gebruik als nutriënt voor gewasproductie.

10 CONCLUSIE LUIK 2

10.1 INCUBATIEPROEVEN

Met CRSM, DIF VDM LNP, DIF VDM, DIF DIG, RDM, DIG RDM, VDM, DUF VDM en DUF VDM LNP worden incubatieproeven opgezet, zowel naar organische stof als naar stikstofwerking toe.

10.1.1 Bepaling van de stabiele organische stof

Via incubatieproeven wordt de N-mineralisatie en de hoeveelheid stabiele of effectieve organische koolstof (EOC) bepaald van gecomposteerde runderstalmest, dikke fractie (DIF) van VDM uit de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP), dikke fractie van varkensdrijfmest (DIF VDM), dikke fractie van aangezuurde varkensdrijfmest van het Fraunhofer procedé (DIF VDM Fraunhofer), dikke fractie van digestaat (DIF DIG) en dikke fractie van aangezuurde digestaat voor het Fraunhofer procedé (DIF DIG Fraunhofer). DIF VDM en DIF VDM Fraunhofer enerzijds en DIF DIG en DIF DIG Fraunhofer anderzijds, worden respectievelijk geproduceerd uitgaande van dezelfde ruwe varkensdrijfmest en digestaat. Uit de incubatieproeven bleek dat de N- en C-mineralisatie per product gelijklopend is. DIF VDM LNP wordt het snelst afgebroken in de bodem, en bevat het laagste EOC% (89% van de totale OC). Dit resulteert ook in N-immobilisatie. Gecomposteerde stalmest heeft een duidelijk hoger EOC% (91%) en stelt geleidelijk aan $\pm 14\%$ van de totale N vrij via N-mineralisatie. Dit is dus een stabiele organische meststof die een beperkte hoeveelheid N kan aanleveren aan het gewas. DIF VDM en DIF VDM Fraunhofer hebben eveneens een EOC% van 91%. DIF DIG en DIF DIG Fraunhofer hebben een EOC% dat met 93% nog een stukje hoger ligt. Deze EOC bepaald uit de incubatieproeven liggen zeer hoog, en de resultaten kunnen dan ook enkel relatief geïnterpreteerd worden. De producten zijn m.a.w. op logische wijze gerangschikt, maar de absolute EOC waarden zijn niet representatief voor wat onder veldomstandigheden kan worden verwacht. Het afleiden van realistische EOC vereist lange termijn veldproeven waaruit humificatiecoëfficiënten kunnen worden afgeleid. Dat DIF VDM, DIF VDM Fraunhofer, DIF DIG en DIF DIG Fraunhofer erg stabiel zijn, blijkt ook uit de N-incubatieproef. Ondanks dat $\pm 50\%$ van de totale N onmiddellijk na toedienen beschikbaar is onder minerale N, vindt er geen of bijna geen verdere N-mineralisatie meer plaats in de bodem.

10.1.2 N-werking van de mestproducten

Van de volgende mestproducten wordt de C en N dynamiek bepaald: runderdrijfmest 'RDM', digestaat afkomstig van pocket vergisting 'DIG RDM', ruwe varkensmest 'VDM', vloeibare fractie van varkensmest na centrifuge 'DUF VDM' en de dunne fractie van varkensmest na Low Nutrient Press scheiding 'DUF VDM LNP'. Om zoveel mogelijk de werking als organische bemesting te simuleren wordt de hoeveelheid organische mest bepaald op basis van het gehalte werkzame N. De omvang van het aandeel van de gemiddelde N mineralisatie doorheen de incubatie is in de orde: DUF VDM LNP > VDM > DUF VDM \geq RDM \geq RDM DIG. Deze resultaten worden beïnvloed door de $\text{NH}_4^+ \text{-N} / \text{N}_{\text{tot}}$ verhouding, waarbij producten met hogere $\text{NH}_4^+ \text{-N} / \text{N}_{\text{tot}}$ verhouding resulteerde in hogere N vrijstelling. In de C-incubatieproef is de organische koolstof toediening afhankelijk van het bemestingsadvies van $119 \text{ kg werkzame N ha}^{-1}$ en $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ en de concentratie aan organische koolstof in de mestproducten. Dit leidde tot een situatie waarin producten met een laag gehalte aan droge stof resulteerde in een lage bijdrage van organisch materiaal. Omwille daarvan vertoont de C mineralisatie van 'DUF VDM LNP' en 'DUF VDM' een hoge variabiliteit /onzekerheid waardoor er moeilijk conclusies kunnen getrokken worden. Voor de producten met een hogere C/N-verhouding zoals DIG RDM, VDM en RDM verkreeg men stabielere resultaten. De omvang van de cumulatieve C gemineraliseerd ($\text{mg CO}_2\text{-C/g droge grond}$) is in de orde: RDM > VDM > RDM DIG.



10.2VELDPROEVEN

De veldproeven illustreren de dagelijkse praktische problemen waarmee een landbouwer geconfronteerd wordt, nl. dat niet bij elke mestgift een analyse van de mest/digestaat/dunne fractie beschikbaar is. Dit houdt risico's in voor zowel onderbemesting als overbemesting. Dit bemoeilijkt vanzelfsprekend ook de vergelijking van het effect van de verschillende types mest en afgeleide producten. Het is de bedoeling om de verschillende materialen te vergelijken op basis van de efficiëntie van de N, uitgaande van een gelijke N toediening. In de praktijk blijkt dit niet haalbaar, en daardoor is ook voorbehoud te maken bij de interpretatie van nitraatgehaltes in de bodem en effecten op opbrengst. Bij de veldproeven worden verschillende mestsoorten gemengd in die verhouding om maximaal de gewasbehoefte in te vullen voor stikstof en zo nauw als mogelijk het fosforadvies in te vullen. Daarnaast is de klemtoon van het project ook om maximaal koolstofrijke producten ook mee op te nemen. In de technische productfiches wordt aangegeven welke combinaties interessant zijn. De uitgeteste bewerkte mestproducten (t.o.v. de opgenomen referenties VDM, RDM en KM) geven aan dat zij perfect inzetbaar zijn als nutriëntenleverancier om de gewasbehoefte in te vullen voor een optimale productie aan kwaliteitsniveau, zonder dat ze een groter risico zouden inhouden voor nitraatresidu. Ook voor biologische landbouw kunnen alle producten die van biologische bedrijven afkomstig zijn of de vaste mesten, doorgaan als biologisch product.

10.2.1 Vergelijking met vooropgestelde werkingscoëfficiënten in veldproeven en werkingscoëfficiënten bepaald uit de incubatieproeven

De vooropgestelde werkingscoëfficiënten werden in 2015 voor VDM, RDM en CRSM gelijkgesteld aan de cijfers uit het Mestdecreet, terwijl ze voor DUF VDM en DIG RDM gelijkgesteld werden aan de gemiddelde verhouding tussen $\text{NH}_4^+\text{-N}$ en totale N (analyses labo Inagro). In 2015 komt de coëfficiënt uit de veldproeven enkel voor VDM en DUF VDM relatief goed overeen met de vooropgestelde coëfficiënt (Tabel 111). Voor de andere producten ligt de coëfficiënt uit de veldproeven lager.

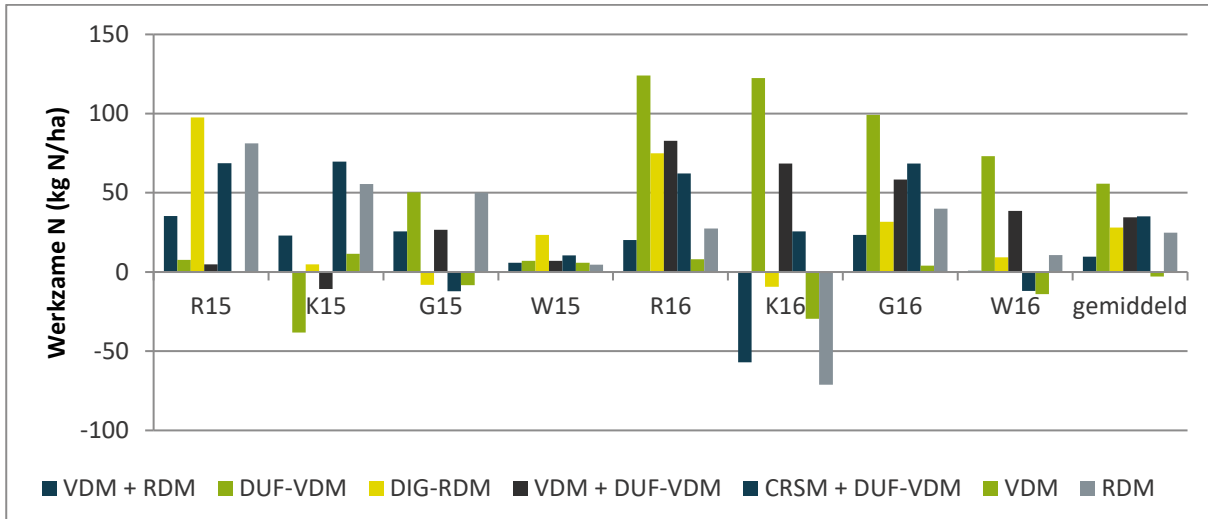
In 2016 werden de vooropgestelde coëfficiënten vastgelegd door de stuurgroep. Er bleek een relatief goede overeenkomst met WCveld voor alle mestproducten, met uitzondering van DUF VDM, waarvoor de coëfficiënt uit de veldproeven veel lager bleek dan vooropgesteld. De DUF VDM vertoonde in 2016 wel op 3 van de 4 proefvelden een afwijkende samenstelling van wat normaal te verwachten valt. In vergelijking met de werkingscoëfficiënt bepaald uit de incubatieproeven was de gemiddelde WCveld voor 2015-2016 vergelijkbaar voor DIG RDM, lager voor VDM, DUF VDM en RDM en hoger voor CRSM. Uiteraard mogen we hier geen perfecte overeenkomst verwachten, aangezien de samenstelling van de producten verschilde, maar we zien wel in grote mate dezelfde relatieve verhoudingen. De gemiddelde WCveld voor DUF VDM lag in 2016 veel lager dan die voor VDM, wat in strijd was met de verwachtingen. In de incubatieproeven werd dit ook zo aangetoond, maar daar werd dit toegeschreven aan een herbemonstering, waardoor VDM en DUF VDM niet uit eenzelfde batch kwamen. Voor DIG RDM lag de gemiddelde werkingscoëfficiënt wel hoger dan voor RDM, net zoals in de incubatieproef.

Tabel 111: Vergelijking van de vooropgestelde werkingscoëfficiënten en de werkingscoëfficiënten bekomen uit veldproeven en bij incubatie aan 15°C gedurende een periode van 120 dagen (in %).

	vooropgestelde coëfficiënt 2015	coëfficiënt veldproeven 2015	vooropgestelde coëfficiënt 2016	coëfficiënt veldproeven 2016	coëfficiënt veldproeven 2015-2016	coëfficiënt incubaties
VDM	60	57	60	64	60	72
DUF-VDM	68	61	80-100	46	53	62
RDM	60	31	60	60	46	55
DIG-RDM	64	48	80-100	76	62	65
CRSM	30	19	30	42	30	13

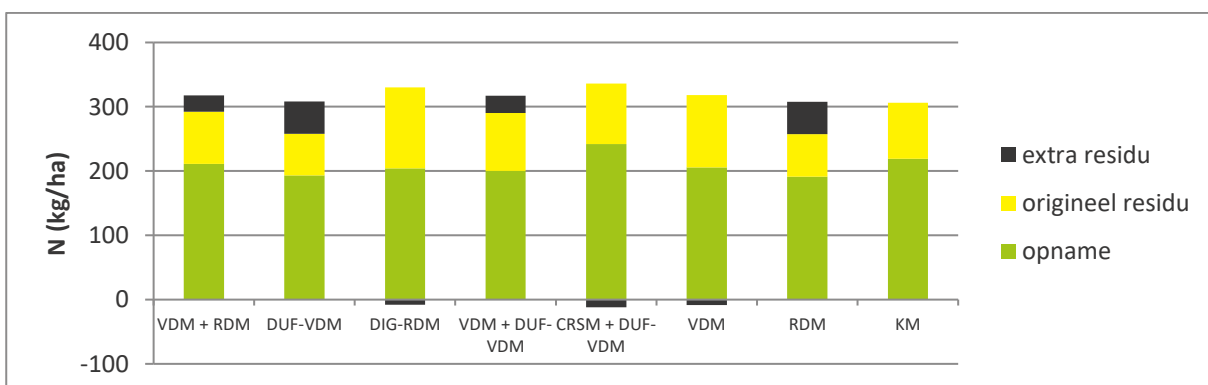
10.2.2 Herberekening van de toegediende hoeveelheid werkzame N

Op basis van WCveld bepaald per individueel proefveld met een gemiddelde teeltduur van 4,5 maand kan nu berekend worden hoeveel werkzame N werkelijk wordt toegediend. Als die vergeleken wordt t.o.v. de oorspronkelijke inschatting op basis van de vooropgestelde coëfficiënten, is de hoeveelheid toegediende werkzame N gemiddeld genomen overschat voor alle behandelingen met uitzondering van VDM (Figuur 90).



Figuur 90: Verschil in de hoeveelheid werkzame N toegediend via de mestproducten berekend op basis van de vooropgestelde werkingscoëfficiënten en op basis van de werkingscoëfficiënten bepaald uit de individuele veldproeven. (R = Roeselare, K = Kortemark, G = Gistel, W = Westerlo; 15 = 2015, 16 = 2016).

Dit houdt in dat er in werkelijkheid meestal minder werkzame N wordt toegediend dan oorspronkelijk bepaald, waardoor de hoeveelheid werkzame N tussen de behandelingen niet steeds vergelijkbaar is. Dit impliceert ook dat de som van het N-residu en de N-opname moet vermeerderd worden met het verschil in werkzame N uit Figuur 90 indien de toe te dienen dosissen mestproduct (hypothetisch) berekend zouden zijn op basis van de individuele WCveld. Dit houdt uiteraard in dat, indien er wordt van uitgegaan dat de N-opname niet wijzigt (aangezien geen sprake is van N-limiterende omstandigheden), de verschillen in het N-residu tussen de behandelingen veel kleiner worden na correctie, zoals geïllustreerd voor de veldproef te Gistel in 2015 (Figuur 91).



Figuur 91: N-opname en N-residu in de veldproef te Gistel in 2015, met het extra residu (merk op: positief of negatief) als resultaat van een herberekening van de bemestingsdosissen op basis van de werkingscoëfficiënten berekend uit de veldproef.

10.3 POTPROEVEN

De mestproducten worden in een potproef met Westerwolds raigras getest op hun P-werking op basis van de gewasopbrengst en de P-export door het gewas. Het doel van deze proef is in de eerste plaats om na te gaan of mestbewerkingsproducten een P-werking hebben die gelijkwaardig is aan minerale P-meststoffen.



Alle mestproducten hadden op basis van de drogestof-opbrengst van het raaigras ofwel geen significant verschillende ofwel een significant hogere P-werking dan de referentie triple superfosfaat. Hoewel de P-werking, berekend op basis van de P-export significant lager is voor RDM en dikke fractie van varkensdrijfmest op basis van de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP), is de P-export op zichzelf slechts beperkt lager (niet significant) dan bij de referentie minerale P.

De dunne fractie van varkensdrijfmest DUF VDM1 had significant lagere P-werking zowel op basis van de drogestof-opbrengst als P-export. Op basis van het N-gehalte van het gras bij dit type mest, kan een fout bij de opzet van de proef **niet** uitgesloten worden. **Voor DUF VDM1 wordt er in deze studie geen uitspraak gedaan over de P-werking.** Bovendien had de dunne fractie van varkensdrijfmest op basis van de Low Nutrient Press (DUF VDM LNP), die dus afkomstig is van een andere installatie, een P-werking die hoger lag dan deze van triple superfosfaat.

Ca-, Mg- en Na-gehalten van het raaigras zijn grotendeels bepaald door de samenstelling van deze nutriënten in de meststoffen. Ze bepalen mee de voederkwaliteit van het raaigras, maar er is geen aanwijzing dat ze in de uitgevoerde potproef een invloed hebben op de gewasopbrengst.

Als besluit voor de praktijk kunnen we stellen dat P uit de verschillende geteste mestproducten een gelijkwaardig alternatief zijn voor P uit minerale meststoffen. De P-beschikbaarheid in de potproef met een P-arme bodem (MAP V fosfaatklasse I) is bij sommige van deze mestproducten hoger dan deze van triple superfosfaat. Runderdrijfmest (RDM) en de dikke fractie van varkensdrijfmest van de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP) hadden de laagste P-werking. In de meeste Vlaamse landbouwbodems die een P-AL gehalte in de streefzone of hoger hebben (MAP V fosfaatklasse III of IV), zal het gewaseffect van een hogere of lagere P-beschikbaarheid wellicht minimaal zijn.

Eerdere potproeven met organische meststoffen wijzen er op dat de P-werking lager kan zijn, indien Fe-, Al- of Ca-gehalten van de meststof hoger liggen. Mogelijk bindt P aan Al, Fe en/of Ca in de organische meststof zelf, met een lagere P-werking tot gevolg. Het product met de laagste P-werking, dikke fractie van varkensdrijfmest van de Low Nutrient Press (DIF VDM LNP), had inderdaad een duidelijk hoger Ca-gehalte dan de andere mestproducten. De P-werking is echter niet significant verschillend van triple superfosfaat. Er worden verder geen verbanden gevonden tussen het Al- en Fe-gehalte van het mestproduct enerzijds en de P-werking anderzijds.

10.4 PRODUCTFICHES

De technische samenvattingen van de producten worden gebundeld in een fiche van de voornaamste producten. De overige factoren (o.a. N-werkingscoëfficiënt) worden opgenomen in de productfiches die te raadplegen zijn in de samenvatting van het onderzoek.

11 REFERENTIES

- Agbenin, J.O., Igbokwe, S.O., 2006. Effect of soil-dung manure incubation on the solubility and retention of applied phosphate by a weathered tropical semi-arid soil. *Geoderma* 133, 191-203.
- Andries, A., Carlier, L., 1971. Scheikundige samenstelling van weidegras. Mededeling R.V.P. n° 362, Ministerie van Landbouw, Rijksstation voor Plantenveredeling, Merelbeke, 29p.
- Cavalli, D., Cabassi, G., Borrelli, L., Geromel, G., Bechini, L., Degano, L., Gallina, P.M., 2016. Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates. *European Journal of Agronomy*, 73, 34-41.
- Coppens, G, 2009, Overzicht van 15 jaar mestanalyse door de Bodemkundige Dienst van België, EPPO guideline mbt aanleg GEP proeven (PP 1/152 (4)): <http://pp1.eppo.int/getnorme.php?id=154>
- Fangueiro, D., Coutinho, J., Borges, L., Cabral, F., Vasconcelos, E., 2012. Nitrogen and carbon availability of liquid and solid fractions of pig slurry obtained using different separation technologies. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 333-341.
- Fangueiro, D., Coutinho, J., Borges, L., Vasconcelos, E., 2015. Recovery efficiency of nitrogen from liquid and solid fractions of pig slurry obtained using different separation technologies. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178, 229-236.
- Hinsinger, P., 2001, Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review, *Plant Soil*, 237, 175-195,
- Jiao, Y., Whalen, J.K., Hendershot, W.H., 2007. Phosphate sorption and release in a sandy-loam soil as influenced by fertilizer sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 118-124.
- Johnston, A.E., 2000. Soil and plant phosphate. International Fertilizer Industry Association, Paris, France, pp. 46.
- Kuzyakov, Y., Friedel, J.K., Stahr, K., 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 1485-1498.
- Maes, S., Elsen, A., Tits, M., Boon, W., Deckers, S., Bries, J., Vogels, N., Vandendriessche, H. 2012. Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw- en weilandpercelen (2008-2011). Bodemkundige Dienst van België
- Mengel, K., Kirby, A., 1982. Principles of plant nutrition, third ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Nelissen, V., Viaene, J., Reubens, B., Vandecasteele, B., Willekens, K., 2015. Optimaliseren van de opslag en bewerking van runderstalmest op de kopakker. ILVO, 50 blzn.
- Petersen, J. 2003. Nitrogen fertilizer replacement value of sewage sludge, composted household waste and farmyard manure. *Journal of Agricultural Science* (2003), 140, 169–182.
- Pizzeghello, D., Berti, A., Nardi, S., Morari, F., 2011. Phosphorus forms and P-sorption properties in three alkaline soils after long-term mineral and manure applications in north-eastern Italy, *Agr. Ecosyst. Environ.* 141, 58-66.
- Saveyn, H., and Eder, P., 2014. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies, 1-312. Edificio Expo. c/Inca Garcilaso, 3. E-41092 Seville (Spain), pp. 1-312.
- Schröder J.J., Aarts, H.F.M., van Middelkoop, J.C., Velthof, G.L., Reijs, J.W., Fraters, B. 2009. Nitrates Directive requires limited inputs of manure and mineral fertilizer in dairy farming systems.
- Siddique, M.T., Robinson, J.S., 2003. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 32, 1114-1121.
- Sigurnjak, I., De Waele, J., Michels, E., Tack, F., Meers, E., 2017. Nitrogen release and mineralization potential of derivatives from nutrient recovery processes as substitutes for fossil fuel-based nitrogen fertilizers. *Soil Use and Management*. DOI 10.1111/sum.12366.
- Van Dam A.M., Ehlert, P.A.I., 2008. Beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen: Een studie voor bollenteelt in het westelijk zandgebied. WageningenUR, Praktijkonderzoek Plant & omgeving, productschap tuinbouw, PPO n° 3236029100, 68P.

////////////////////////////////////

- Vandecasteele, B., Sinicco, T., D'Hose, T., Vanden Nest, T., Mondini, C. 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses but not P plant uptake. *Journal of Environmental Management*, 168, 200-209.
- Vanden Nest, T., Ruysschaert, G., Vandecasteele, B., Houot, S., Baken, S., Smolders, E., Cougnon, M., Reheul, D., Merckx, R., 2016. The long term use of farmyard manure and compost: Effects on P availability, orthophosphate sorption strength and P leaching. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216, 23-33.
- VCM & STIM. 2004. Mestverwerking op het landbouwbedrijf: mogelijkheden en kostprijs.
- Viaene, J., Nelissen, V., Reubens, B., Willekens, K., Driehuis, F., De Neve, S., Vandecasteele, B., 2016. Improving the product stability and fertilizer value of cattle slurry solid fraction through co-composting or co-ensiling.
- Vlaco, 2015. Karakterisatie eindproducten biologische verwerking. Oktober 2015. www.vlaco.be, 18 blzn.



12 BIJLAGES

Tabel 112. Gemeten nitraathoeveelheden (kg N/ha) in de bodem op 25/07/2016 te Kortemark

Obj	NO ₃ -N (kg/ha)							
	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		0-90 cm	
1	213	ab	124	bc	82	a	418	a
2	217	a	131	bc	80	a	428	a
3	153	c	102	cd	72	a	327	b
4	211	ab	171	a	77	a	459	a
5	186	abc	144	ab	68	a	398	a
6	173	abc	96	cd	51	a	320	b
7	165	bc	77	d	49	a	291	b
8	179	abc	145	ab	74	a	399	a
Gemiddelde	187		124		69		380	
VC (%)	15,61		19,16		30,37		11,40	
p-waarde	0,037		0,000		0,257		0,000	

Waarden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend bij p = 0.05 (Duncan)

Tabel 113. Gemeten ammoniumhoeveelheden (kg N/ha) in de bodem op 25/07/2016 te Kortemark

Obj	NH ₄ -N (kg N/ha)							
	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		0-90 cm	
1	26	a	28	a	29	a	82	ab
2	27	a	38	a	27	a	92	a
3	18	a	29	a	24	a	71	ab
4	16	a	36	a	23	a	75	ab
5	21	a	36	a	19	a	77	ab
6	14	a	22	a	14	a	50	ab
7	11	a	14	a	9	a	33	b
8	22	a	38	a	19	a	80	ab
Gemiddelde	20		30		21		70	
VC (%)	59,58		52,59		58,68		44,00	
p-waarde	0,466		0,339		0,323		0,201	

Waarden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend bij p = 0.05 (Duncan)

Tabel 114. Gemeten nitraatconcentraties (kg N/ha) in de bodem op 8/11/2016 te Kortemark

Obj	NO ₃ -N (kg/ha)							
	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		0-90 cm	
1	38	a	67	a	55	ab	161	a
2	27	a	60	a	38	abc	125	a
3	41	a	49	a	30	bc	120	a
4	44	a	105	a	59	a	208	a
5	53	a	73	a	44	abc	169	a
6	55	a	69	a	25	c	149	a
7	49	a	78	a	32	abc	158	a
8	33	a	68	a	50	abc	151	a
Gemiddelde	42		71		42		155	
VC (%)	61,65		47,30		40,53		42,93	
p-waarde	0,804		0,503		0,087		0,699	

Waarden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend bij p = 0.05 (Duncan)

////////////////////////////////////

Tabel 115. Gemeten ammoniumconcentraties (kg N/ha) in de bodem op 8/11/2016 te Kortemark

Obj	NH ₄ -N							
	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		0-90 cm	
1	26	a	28	a	29	a	82	ab
2	27	a	38	a	27	a	92	a
3	18	a	29	a	24	a	71	ab
4	16	a	36	a	23	a	75	ab
5	21	a	36	a	19	a	77	ab
6	14	a	22	a	14	a	50	ab
7	11	a	14	a	9	a	33	b
8	22	a	38	a	19	a	80	ab
Gemiddelde	20		30		21		70	
VC (%)	59,58		52,95		58,68		44,00	
p-waarde	0,466		0,337		0,323		0,201	

Waarden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend bij $p = 0.05$ (Duncan)



Tabel 116. Kwaliteitsparameters bij oogst en sortering in kwaliteitsklassen van prei 2016 te Kortemark

Object		kwaliteitsparameters (1=slechts 9=best)			FI < 2 cm		FI 2-3 cm		FI 3-4 cm		FI > 4 cm	
Nr.	beschrijving	gewasstand	bladkleur	uniformiteit	% op kg	% in stuks	% op kg	% in stuks	% op kg	% in stuks	% op kg	% in stuks
1	VDM+RDM	8,0	6,0	8,0	0,2	0,5	6,5	12,9	25,2	30,4	67,8	55,5
2	DUF VDM	8,0	6,5	8,0	0,2	1,0	7,5	14,3	33,6	38,0	58,6	46,7
3	DIG RDM	8,0	6,0	8,0	0,1	0,5	6,3	12,4	24,4	28,5	69,2	58,5
4	VDM + DUF VDM	8,0	6,5	8,0	0,3	1,2	9,6	14,1	42,0	36,1	48,1	48,6
5	CRSM + DUF VDM	8,0	6,3	8,0	0,3	1,5	7,0	13,2	32,5	37,4	60,2	47,9
6	VDM	8,0	6,0	8,0	0,2	0,5	7,7	15,4	27,7	33,4	64,4	50,7
7	RDM	8,1	6,0	8,0	0,0	0,2	5,6	11,3	22,6	27,3	71,6	61,2
8	kunstmest	8,0	6,0	8,0	0,3	1,3	4,7	10,1	27,6	33,1	67,2	55,2
Gemiddelde		8,0	6,2	8,0	0,2	0,8	6,9	13,0	29,5	33,0	63,4	53,0



Tabel 117. Opbrengstgegevens en gewasanalyse prei (N, P en K op bruto) te Kortemark 2016

Object		Opbrengst (ton VS/ha)			DS%	Opbrengst (ton DS/ha)	N	K	P
Nr.	beschrijving	bruto	tarra	netto		bruto	(kg/ton DS)		
1	VDM+RDM	135,2a	53,4a	81,8a	8,5	11,5a	26,3	30,6	3,3
2	DUF VDM	123,4a	47,3a	76,1a	9,5	11,8a	24,5	28,4	2,9
3	DIG RDM	121,7a	44,7a	76,9a	9,0	11,0a	25,9	26,5	3,1
4	VDM + DUF VDM	123,7a	55,6a	68,1a	9,1	11,2a	26,1	28,0	3,0
5	CRSM + DUF VDM	123,2a	47,4a	75,8a	9,3	11,5a	24,7	30,5	3,0
6	VDM	122,7a	43,5a	79,2a	8,4	10,3a	24,8	28,0	2,8
7	RDM	125,8a	48,4a	77,4a	8,4	10,5a	27,8	31,4	3,3
8	kunstmest	128,1a	48,4a	79,7a	9,2	11,8a	23,3	27,0	2,7
Gemiddelde		125,5	48,6	76,9	8,9	11,2	25,4	28,8	3,0

Tabel 118. Statistische vergelijking van de bekomen opbrengsten te Kortemark

Obj	Opbrengst (kg verse massa /ha)					
	Bruto		Netto		Tarra	
1	135210	a	81797	a	53413	a
2	123363	a	76056	ab	47307	a
3	121666	a	76939	ab	44728	a
4	123652	a	68094	b	55558	a
5	123203	a	75834	ab	47368	a
6	122684	a	79202	ab	43482	a
7	125831	a	77431	ab	48400	a
8	128106	a	79662	ab	48444	a
Gemiddelde	125464		76877		48587	
VC (%)	6,61		9,20		18,07	
p-waarde	0,377		0,285		0,5529	

Waarden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend (Duncan $p = 0.05$)

Tabel 119. Export (in kg/ha) door het gewas van N, P, en K bij de oogst op 4/11/2016 voor kuisen (gemiddelde \pm SD, n=4) te Kortemark

Behandeling		N-export			P-export			K-export		
1	VDM + RDM	301,4	\pm	23,9	37,8	\pm	1,6	349,7	\pm	11,1
2	DUF	286,5	\pm	26,7	34,5	\pm	6,1	332,7	\pm	48,6
3	DIG RDM	282,3	\pm	14,2	33,5	\pm	3,2	290,8	\pm	35,4
4	VDM + DUF VDM	291,2	\pm	38,3	33,7	\pm	2,5	312,7	\pm	23,4
5	CRSM + DUF VDM	283,8	\pm	39,4	34,0	\pm	1,1	351,5	\pm	52,7
6	VDM	250,3	\pm	20,3	27,7	\pm	2,5	282,8	\pm	14,8
7	RDM	292,2	\pm	40,8	34,7	\pm	3,0	330,5	\pm	20,6
8	KM	273,2	\pm	51,6	31,4	\pm	1,9	314,5	\pm	44,4

Tabel 120. Export (in kg/ha) door het gewas van N, P, en K bij de oogst op 4/11/2016 na kuisen (gemiddelde \pm SD, n=4) te Kortemark

Behandeling		N-export			P-export			K-export		
1	VDM + RDM	182,5	\pm	20,8	22,9	\pm	1,6	211,3	\pm	11,5
2	DUF	177,1	\pm	18,8	21,3	\pm	3,2	204,1	\pm	14,9
3	DIG RDM	179,6	\pm	22,5	21,3	\pm	3,0	183,4	\pm	14,7
4	VDM + DUF VDM	162,8	\pm	59,4	18,7	\pm	5,8	171,0	\pm	45,6
5	CRSM + DUF VDM	175,6	\pm	35,9	20,9	\pm	2,2	216,1	\pm	37,8
6	VDM	163,0	\pm	33,5	18,0	\pm	3,5	183,1	\pm	28,3
7	RDM	181,0	\pm	36,0	21,4	\pm	2,7	203,7	\pm	22,9
8	KM	170,0	\pm	32,7	19,5	\pm	1,0	196,2	\pm	33,6

Tabel 121. Opbrengstgegevens en gewasanalyse maïs te Roeselare 2016

Object		Verse opbrengst (ton/ha)		Droge stofopbrengst (ton DS/ha)		% DS
1	VDM +RDM	48,6	b	17.6	ab	36.2
2	DUF VDM	49,0	b	18.1	ab	36.8
3	DIG RDM	39,1	b	14.1	b	36.1
4	VDM + DUF VDM	53,4	ab	19.5	ab	36.6
5	CRSM + DUF VDM	50,3	ab	18.5	ab	37.1
6	VDM	55,1	ab	20.2	a	36.8
7	RDM	46,0	b	16.6	ab	36.0
8	Kunstmest	65,5	a	21.7	a	33.1



Tabel 122. Nutriënteninhoud (N, P & K %DS) maïs te Roeselare 2016

Object	Totale stikstof	Fosfor	Kalium
1 VDM + RDM	0,88 a	0,22 a	1,66 ab
2 DUF VDM	0,90 a	0,22 a	1,70 ab
3 DIG RDM	0,87 a	0,25 a	1,63 b
4 VDM + DUF VDM	0,94 a	0,23 a	1,70 ab
5 CRSM + DUF VDM	0,92 a	0,20 a	1,85 ab
6 VDM	0,94 a	0,22 a	1,77 ab
7 RDM	0,94 a	0,23 a	1,68 ab
8 Kunstmest	0,96 a	0,18 a	1,89 a

Tabel 123. Export (in kg/ha) door het gewas van N, P, en K bij de oogst op 26/9/2016 (gemiddelde ± SD, n=4)

Behandeling	N-export		P-export		K-export	
1 VDM + RDM	154,6 ±	22,4	37,5 ±	1,4	289,2 ±	32,7
2 DUF	164,3 ±	28,4	39,2 ±	4,9	309,1 ±	47,0
3 DIG RDM	121,7 ±	20,2	34,6 ±	1,7	229,4 ±	45,8
4 VDM + DUF VDM	183,3 ±	19,6	44,9 ±	5,0	332,9 ±	51,1
5 CRSM + DUF VDM	171,1 ±	15,0	38,0 ±	6,1	345,1 ±	55,8
6 VDM	190,8 ±	14,2	44,3 ±	4,4	357,6 ±	23,1
7 RDM	156,8 ±	36,9	37,6 ±	7,7	278,3 ±	49,3
8 KM	208,7 ±	17,0	39,0 ±	3,9	409,7 ±	15,9

Tabel 124. Opbrengstgegevens en gewasanalyse per snede gras te Gistel 2016

Object	2 ^e snede		3 ^e snede	
	VM (ton/ha)	DS (ton/ha)	VM (ton/ha)	DS (ton/ha)
1 VDM + RDM	23 b	4,1 b	3,7 ab	1,2 ab
2 DUF VDM	28,4 ab	4,9 ab	4,3 ab	1,3 ab
3 DIG RDM	29,8 ab	5,4 a	2,9 b	1,0 b
4 VDM + DUF VDM	28,6 ab	5,0 ab	4,3 ab	1,3 ab
5 compost + DUF VDM	25,7 b	4,8 ab	4,0 ab	1,2 ab
6 VDM	29,6 ab	5,0 ab	5,5 a	1,7 a
7 RDM	27,1 ab	4,8 ab	3,8 ab	1,2 ab
8 kunstmest	32,8 a	5,8 a	4,6 ab	1,5 ab



Tabel 125. Opbrengstgegevens: Totale opbrengst van de 2e en 3e snede gras samen te Gistel 2016

Object		VM (ton/ha)		DS (ton/ha)	
1	VDM + RDM	26,6	b	5,3	b
2	DUF VDM	32,7	ab	6,2	ab
3	DIG RDM	32,7	ab	6,4	ab
4	VDM + DUF VDM	32,9	ab	6,3	ab
5	compost + DUF VDM	29,7	ab	6	ab
6	VDM	35,1	ab	6,7	ab
7	RDM	30,9	ab	6	ab
8	kunstmest	37,5	a	7,3	a

Tabel 126. Nutriënteninhoud (N, P & K %DS) tweede snede gras te Gistel 2016

Object		Stikstof		Fosfor		Kalium	
1	VDM +RDM	1,69	a	0,35	a	2,78	a
2	DUF VDM	1,66	a	0,33	a	2,74	a
3	DIG RDM	1,67	a	0,31	a	2,71	a
4	VDM + DUF VDM	1,82	a	0,37	a	2,87	a
5	CRSM + DUF VDM	1,68	a	0,31	a	2,91	a
6	VDM	1,91	a	0,35	a	2,97	a
7	RDM	1,84	a	0,33	a	2,73	a
8	Kunstmest	2,09	a	0,33	a	2,89	a

Tabel 127. Nutriënteninhoud (N, P & K %DS) derde snede gras te Gistel 2016

Object		Stikstof		Fosfor		Kalium	
1	VDM +RDM	1,26	a	0,28	a	2,69	a
2	DUF VDM	1,23	a	0,27	a	2,77	a
3	DIG RDM	1,15	a	0,26	a	2,38	a
4	VDM + DUF VDM	1,27	a	0,29	a	2,80	a
5	CRSM + DUF VDM	1,25	a	0,27	a	2,61	a
6	VDM	1,23	a	0,31	a	2,80	a
7	RDM	1,18	a	0,27	a	2,48	a
8	Kunstmest	1,17	a	0,26	a	2,70	a



Tabel 128. Export (in kg/ha) door het gewas van N, P, en K bij de oogst snede 2 gras te Gistel (gemiddelde \pm SD, n=4)

Behandeling		N-export			P-export			K-export		
1	VDM + RDM	69,6	\pm	8,7	14,4	\pm	2,2	114,9	\pm	16,4
2	DUF	80,9	\pm	11,8	16,2	\pm	1,8	133,0	\pm	11,0
3	DIG RDM	90,5	\pm	11,2	16,6	\pm	1,5	147,6	\pm	15,1
4	VDM + DUF VDM	90,1	\pm	20,7	18,2	\pm	1,2	142,7	\pm	7,4
5	CRSM + DUF VDM	79,3	\pm	17,0	14,6	\pm	2,8	140,0	\pm	32,1
6	VDM	96,1	\pm	22,5	17,7	\pm	1,3	148,1	\pm	8,3
7	RDM	87,7	\pm	10,6	15,7	\pm	2,0	130,6	\pm	14,7
8	KM	121,3	\pm	16,0	19,0	\pm	2,1	167,8	\pm	14,9

Tabel 129. Export (in kg/ha) door het gewas van N, P, en K bij de oogst snede 3 gras te Gistel (gemiddelde \pm SD, n=4)

Behandeling		N-export			P-export			K-export		
1	VDM + RDM	15,1	\pm	3,4	3,4	\pm	0,8	33,4	\pm	10,7
2	DUF	16,4	\pm	2,0	3,7	\pm	0,6	37,2	\pm	5,4
3	DIG RDM	11,1	\pm	3,0	2,5	\pm	0,9	23,1	\pm	7,3
4	VDM + DUF VDM	17,2	\pm	4,5	3,9	\pm	1,0	37,5	\pm	8,4
5	CRSM + DUF VDM	15,5	\pm	3,0	3,4	\pm	0,7	32,7	\pm	7,5
6	VDM	20,6	\pm	3,6	5,1	\pm	1,1	46,9	\pm	8,8
7	RDM	14,5	\pm	2,1	3,3	\pm	0,6	30,4	\pm	3,8
8	KM	17,6	\pm	2,9	3,9	\pm	0,6	40,7	\pm	7,6

Tabel 130. Nitraatgehalte (kg nitraat-N/ha) op 5/07/2016 (gemiddelde \pm SE, n=4) in het bodemprofiel tot 90 cm per laag van 30 cm voor proefveld Westerlo. Waarden gevolgd door eenzelfde letter verschillen niet significant op P=0.05 (Duncan test).

Behandeling		0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		0-90 cm	
1	VDM+RDM	3	b	22	a	56	a	81	a
2	DUF	6	b	35	a	53	a	95	a
3	DIG	6	b	13	a	44	a	64	a
4	VDM+DUF	7	b	20	a	88	a	115	a
5	CRSM+DUF	5	b	20	a	58	a	83	a
6	VDM	4	b	13	a	44	a	60	a
7	RDM	8	b	19	a	62	a	88	a
8	KM	25	a	22	a	19	a	65	a



Tabel 131. Opbrengstresultaten en resultaten gewasanalyse maïs - locatie Westerlo, 2016. Waarden gevolgd door eenzelfde letter verschillen niet significant op P=0.05 (Duncan test).

Behandeling	Bijbemesting	Verse opbrengst [ton/ha]		DS-opbrengst [ton/ha]		%DS	%N op DS	%P op DS	%K op DS					
1	VDM + RDM	0 kg N/ha	16,6	b	6,6	c	40%	a	1,18	a	0,58	a	1,91	a
2	DUF	0 kg N/ha	15,1	b	5,5	bc	38%	a	0,96	b	0,51	a	1,86	a
3	DIG RDM	0 kg N/ha	18,9	ab	7,2	bc	39%	a	1,15	ab	0,54	a	2,06	a
4	VDM + DUF VDM	0 kg N/ha	17,1	b	6,6	bc	40%	a	1,12	ab	0,54	a	1,83	a
5	CRSM + DUF VDM	0 kg N/ha	20,4	ab	8,0	abc	39%	a	1,14	ab	0,55	a	2,03	a
6	VDM	0 kg N/ha	22,9	ab	8,9	ab	39%	a	1,20	a	0,55	a	2,09	a
7	RDM	0 kg N/ha	19,9	ab	8,1	abc	41%	a	1,13	ab	0,55	a	1,97	a
8	KM	0 kg N/ha	26,0	a	10,6	a	41%	a	1,19	a	0,53	a	1,86	a
1	VDM + RDM	40 kg N/ha	18,8	b	7,4	b	40%	a						
2	DUF	40 kg N/ha	17,6	b	6,4	b	38%	a						
3	DIG RDM	40 kg N/ha	20,2	ab	7,6	b	39%	a						
4	VDM + DUF VDM	40 kg N/ha	18,7	b	7,2	b	40%	a						
5	CRSM + DUF VDM	40 kg N/ha	21,6	ab	8,2	b	38%	a						
6	VDM	40 kg N/ha	20,6	ab	8,1	b	39%	a						
7	RDM	40 kg N/ha	19,4	b	8,1	b	43%	a						
8	KM	40 kg N/ha	25,9	a	10,7	a	42%	a						

Tabel 132. Nitraatgehalte (kg nitraat-N/ha) op 27/09/2016 (gemiddelde ± SE, n=4) in het bodemprofiel tot 90 cm per laag van 30 cm voor proefveld Westerlo. Waarden gevolgd door eenzelfde letter verschillen niet significant op P=0.05 (Duncan test).

Behandeling	Bijbemesting	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		0-90 cm		
1	VDM+RDM	0 kg N/ha	41	a	27	ab	24	a	92	a
2	DUF	0 kg N/ha	22	a	13	b	18	a	52	a
3	DIG	0 kg N/ha	22	a	14	b	12	a	47	a
4	VDM+DUF	0 kg N/ha	20	a	12	b	16	a	49	a
5	CRSM+DUF	0 kg N/ha	17	a	19	b	19	a	54	a
6	VDM	0 kg N/ha	19	a	47	a	27	a	92	a
7	RDM	0 kg N/ha	21	a	20	b	22	a	62	a
8	KM	0 kg N/ha	62	a	10	b	15	a	86	a
1	VDM+RDM	40 kg N/ha	15	b	22	a	18	a	56	a
2	DUF	40 kg N/ha	17	b	15	a	13	a	44	a
3	DIG	40 kg N/ha	13	b	12	a	13	a	38	a
4	VDM+DUF	40 kg N/ha	20	b	20	a	16	a	56	a
5	CRSM+DUF	40 kg N/ha	27	ab	19	a	18	a	64	a



6	VDM	40 kg N/ha	22	b	33	a	19	a	74	a
7	RDM	40 kg N/ha	17	b	16	a	18	a	50	a
8	KM	40 kg N/ha	55	a	11	a	7	a	72	a

Tabel 133. Export (in kg/ha) door het gewas van N, P, en K bij de oogst op 26/09/2016 (gemiddelde \pm SE, n=4), locatie Westerlo. Waarden gevolgd door eenzelfde letter verschillen niet significant op P=0.05 (Duncan test).

Behandeling	N-export		P-export		K-export	
VDM + RDM	78	bc	38	bcd	126	bc
DUF	50	c	28	d	105	c
DIG RDM	83	bc	38	bcd	151	abc
VDM + DUF VDM	74	bc	35	cd	123	bc
CRSM + DUF VDM	92	b	44	bc	162	abc
VDM	106	ab	49	ab	187	ab
RDM	92	b	42	bc	162	abc
KM	126	a	56	a	196	a

13 BIJLAGE 1: VERLOOP VAN DE N-MINERALISATIEPROEF UGENT

Procedure van N-mineralisatie

Selectie en voorbereiding van de bodem.

Bij het uitvoeren van mineralisatie experimenten speelt de keuze van de bodem een belangrijke rol. Het is algemeen geweten dat verschillende bodems sterk verschillende mineralisatiesnelheden vertonen, zowel voor C als voor N mineralisatie, en dit in functie van bodemparameters als textuur, organische stofgehalte, organische stikstofgehalte, pH. De invloed van de bodemtextuur is hierbij heel belangrijk. Bodems met hogere gehalten aan klei vertonen over het algemeen veel lagere mineralisatiesnelheden dan bodems met een lichtere textuur, bij vergelijkbare gehalten aan organische stof. Dit textuurverschil is te verklaren doordat de kleifraction de organische stof in de bodem fysisch beschermd tegen afbraak door micro-organismen (Van Veen & Kuikman, 1990) (er worden zeer stabiele klei-humuscomplexen gevormd en bovendien is, door de veel kleinere poriën in kleibodems, een deel van de organische stof niet toegankelijk voor de microbiële biomassa). De invloed van de bodemtextuur moet dan ook zeker in rekening gebracht worden wanneer de afbreekbaarheid van organisch materiaal in de bodem wordt geëvalueerd. Door keuze van bodems met verschillende texturen kunnen immers verschillende resultaten worden bekomen. Wanneer echter consequent met eenzelfde bodemtype wordt gewerkt, dan kan de afbreekbaarheid van verschillende soorten organisch materiaal wel steeds onderling met elkaar vergeleken worden. Vandaar dat een relatieve

rangschikking van organisch materiaal naar afbreekbaarheid wel mogelijk is, maar de werkelijke mineralisatiesnelheden opgemeten *in situ* zullen variëren naargelang het type bodem waarin het materiaal in de praktijk wordt ingewerkt.

Een andere belangrijke factor is de voorbehandeling van de bodem. De bodem gebruikt voor de incubaties kan in vochtige toestand en zonder zeven worden gebruikt. Op die manier wordt de microbiële biomassa, de motor van het hele proces, minimaal verstoord en worden wellicht de veldomstandigheden het best benaderd. Probleem hierbij is evenwel de variabiliteit die op deze manier wordt geïntroduceerd, door de aanwezigheid van plantenresten, steentjes, ... Gelet op de relatief kleine hoeveelheden grond die in dergelijke experimenten worden gebruikt kan deze variabiliteit ongewenst hoog oplopen. Het gebruik van bodems die eerst gedroogd en gezeefd worden zal de variabiliteit tussen de verschillende behandelingen en herhalingen sterk reduceren, maar anderzijds treedt een sterke verstoring op van het bodemleven. Deze verstoring manifesteert zich in het begin van een experiment gewoonlijk als een “flush” van mineralisatie, te wijten aan de mineralisatie van de afgestorven microbiële biomassa (te vergelijken met wat men bekomt bij een sterilisatie van de bodem zoals in de fumigatie-incubatie techniek voor het bepalen van de microbiële biomassa, Jenkinson, 1976). Het belang van dit effect is sterk verschillend per situatie en moeilijk op voorhand in te schatten. Het verstoringseffect op de mineralisatie is vooral belangrijk wanneer men de mineralisatie van bodem organische stof bekijkt, maar wanneer vers toegediend organisch materiaal aan de bodem wordt toegediend, kan men redelijkerwijze aannemen dat het effect van de verstoring in alle behandelingen gelijkmatig zal tot uiting komen (geen interactie tussen voorbehandeling en aard van het toegediende organisch materiaal), zodat dit de relatieve rangschikking van de soorten organisch materiaal niet zal beïnvloeden.

Proefomstandigheden

Allerlei omgevingsfactoren hebben een grote invloed op het verloop van de mineralisatie van organisch materiaal. Temperatuur en vochtgehalte zijn hierbij zeker de voornaamste. De proefomstandigheden moeten dikwijls een compromis zijn tussen het zoveel mogelijk benaderen van de werkelijke situatie en het beperken van de duur van de proef. Vandaar dat incubatieproeven meestal bij relatief hoge temperaturen worden uitgevoerd. Dikwijls wordt vereenvoudigend aangenomen dat voor een toename van de temperatuur met 10 °C de mineralisatie van organisch materiaal verdubbelt. Dit betekent uiteraard dat bij onderlinge vergelijkingen van mineralisatie van organisch materiaal de temperatuur dezelfde moet zijn. Het is van cruciaal belang om de omstandigheden van temperatuur en vocht tijdens de incubaties te kunnen herrekenen naar ofwel omstandigheden zoals die in vergelijkbare proeven worden gebruikt, ofwel naar waarden die ook in werkelijkheid worden opgemeten. Voor de omrekening van de temperatuur kan een constante Q₁₀ factor gebruikt worden van bijvoorbeeld 2. Een meer realistische benadering zou evenwel zijn het gebruik van een meer gesofisticeerde temperatuurscorrectie (bv. De Neve et al., 1996), zeker als moet gecorrigeerd worden voor grote temperatuurverschillen. Een vergelijkbare redenering geldt voor het vochtgehalte van de bodem waarmee de incubaties worden uitgevoerd, hoewel er voor vochtgehalte een breder optimum bestaat waarbinnen de mineralisatie slechts weinig wordt beïnvloed.

Ook de bodemdichtheid speelt een rol bij mineralisatie van organisch materiaal, maar deze invloed is veel kleiner dan de invloed van temperatuur of vochtgehalte (De Neve & Hofman, 2000). Enkel extreme variaties in dichtheden bij het uitvoeren van incubaties moeten vermeden worden.



Tenslotte is ook de duur van de incubatie van belang. Een langere incubatie zal toelaten om de stabiliteit van de organische stof meer nauwkeurig in beeld te brengen, maar de incubatie moet praktisch haalbaar blijven. Een minimale duur van 1 maand lijkt afdoende om een duidelijk beeld te krijgen van de stabiliteit van het bestudeerde organisch materiaal.

3.2. Meten van de koolstofmineralisatie

3.2.1. Voorbereiding van de bodem

De bodem wordt uitgespreid in een dunne laag (2-3 cm) en wordt aan de lucht gedroogd. Eventueel kunnen ventilatoren ingezet worden om het droogproces te versnellen. Ovendrogen wordt beter vermeden. Wanneer de bodem luchtdroog is wordt hij indien nodig gemalen (< 2mm), indien malen niet nodig is wordt de bodem enkel gezeefd (< 2mm).

3.2.2. Hoeveelheid in te werken materiaal

In ideale omstandigheden zou een gelijke hoeveelheid C moeten ingewerkt worden voor verschillende soorten stoffen die aan de bodem worden toegediend. Dit is in de praktijk nochtans moeilijk te realiseren omwille van vooral twee redenen. Enerzijds is dikwijls het C gehalte nog niet gekend op het moment dat de incubaties worden opgestart. Anderzijds is het praktisch ook moeilijk haalbaar om voor dergelijke sterk uiteenlopende stoffen (met sterk uiteenlopende droge stofgehaltes en organische stofgehaltes) eenzelfde hoeveelheid organische C in te werken. Er zijn namelijk factoren die grenzen stellen aan de minimale en maximale hoeveelheid van een stof die kunnen ingewerkt worden. De heterogeniteit van het materiaal stelt immers een onderste grens aan de minimale hoeveelheid materiaal die kan ingewerkt worden, terwijl anderzijds het droge stofgehalte een grens stelt aan de maximale hoeveelheid materiaal (bij toedienen van te veel water aan de bodem wordt het vooropgestelde vochtgehalte overschreden). In de praktijk zal vooral dit droge stofgehalte van het product bepalend zijn.

Binnen redelijke grenzen kan nochtans aangenomen worden dat de hoeveelheid toegediende organische C het mineralisatiepatroon niet beduidend zal beïnvloeden.

3.2.3. Opstarten van de incubatie

Het organisch materiaal wordt in verse toestand gebruikt, zoals het in de praktijk ook zal worden toegepast. Het organisch materiaal wordt zo goed als mogelijk gehomogeniseerd en de bodem wordt zeer grondig gemengd met een vooraf bepaalde hoeveelheid van het organisch materiaal. Een goede menging is essentieel voor het bekomen van betrouwbare resultaten. De bodem wordt bevochtigd tot een vochtgehalte van 80 % van veldcapaciteit door toedienen van gedestilleerd water. Indien een meting van het vochtgehalte bij veldcapaciteit niet voorhanden is wordt hiervan een schatting gemaakt op basis van textuur en gehalte aan organisch materiaal. Bij het toevoegen van het water moet rekening worden gehouden met het vochtgehalte dat reeds in het toe te dienen organisch materiaal aanwezig is en met het vochtgehalte van de luchtdroge grond.

Er wordt een deelmonster van het gehomogeniseerde organisch materiaal genomen voor bepaling van droge stof en organisch koolstofgehalte.

Het mengsel bodem-organisch materiaal wordt vervolgens in de incubatiecontainer gebracht. In dit geval zijn dit glazen bokalen die met behulp van een klem en een rubberen ring luchtdicht kunnen afgesloten worden. Vóór het afsluiten worden de bokalen gewogen. In de bokalen wordt een flesje met NaOH 1N geplaatst om de CO₂ die tijdens de incubatie geproduceerd wordt te capteren. De bokalen worden vervolgens afgesloten en bij een constante temperatuur geplaatst, in dit geval 21.5 ± 0.5°C. Naast de bodem met organisch materiaal



wordt ook een blanco (bodem zonder toevoeging van organisch materiaal) geïncubeerd, en een controle (bokaal met enkel een flesje NaOH).

3.2.4. Verloop van de incubatie

Op vooraf bepaalde tijdstippen worden de bokalen geopend en worden de flesjes met NaOH verwijderd. Men sluit de bokalen niet onmiddellijk maar laat ze halfgeopend staan zodat er voldoende verversing van de lucht in de bokalen kan plaatsgrijpen. De flesjes met NaOH worden onmiddellijk afgesloten. Nadat alle flesjes verzameld zijn wordt de overmaat NaOH teruggetitreerd met 1N HCl tot pH 8.3. Hiervoor wordt eerst 2 ml BaCl toegediend om de carbonaten, die bij de titratie interfereren, neer te slaan. In de bokalen worden nieuwe flesjes met NaOH geplaatst en de bokalen worden terug afgesloten. Regelmatig worden de bokalen gewogen om na te gaan of er vochtverlies is opgetreden. Indien nodig wordt er gedestilleerd water toegevoegd om het waterverlies te compenseren. De voorgestelde duur van de incubatie bedraagt 5 tot 6 weken.

3.2.5. Berekeningen

De hoeveelheid CO₂-C wordt als volgt berekend:

$$CO_2-C \text{ (mg)} = (B-S) \times M \times E$$

met:

B: ml HCl voor titratie controle

S: ml HCl voor titratie monster

M: normaliteit van het HCl (=1)

E: equivalentmassa van C in de reactie (=6)

De netto gemineraliseerde C uit het organisch materiaal toegediend aan de bodem wordt berekend door het verschil te maken met de mineralisatie uit de blanco (bodem zonder toevoegingen) en wordt uitgedrukt als percentage van de totaal toegediende hoeveelheid C. De gemineraliseerde C (in % van totaal) wordt vervolgens cumulatief uitgezet i.f.v. de tijd.

De hoeveelheid stabiele organische stof is de fractie van het toegediende organisch materiaal dat in de bodem nog aanwezig is na 1 jaar. Gelet op de duur van het experiment is het dus niet mogelijk om de hoeveelheid EOS direct te bepalen. Aan de cumulatieve C mineralisatie uit een korte termijn experiment kan dikwijls wel het eerste orde kinetiek model gefit worden:

$$OC(t) = OC_A (1 - e^{-kt})$$

met:

OC(t): de hoeveelheid organische koolstof gemineraliseerd op tijd t

OC_A: de hoeveelheid mineraliseerbare koolstof (op korte termijn)

k : de mineralisatiesnelheid

De verschillende soorten organisch materiaal worden dan onderling vergeleken via de grootte $100-OC_A$. Of uit het model kan de C mineralisatie na 5 weken (OC₅) berekend worden en kan de vergelijking gemaakt worden via de grootte $100-OC_5$.

Indien de gegevens bekomen in de incubatieproef van die aard zijn dat er geen eerste orde model kan aan gefit worden, kan gewoon de hoeveelheid (100-gemineraliseerde C na 5 weken) gebruikt worden als vergelijkingsbasis. Indien de mineralisatie na 5 weken echter nog lineair verloopt zal dit slechts een zeer benaderende waarde opleveren voor de hoeveelheid stabiele organische stof. Voor een verdere discussie hierrond verwijzen we naar deel 2 van deze studie (2.3.2).



Kanttekeningen

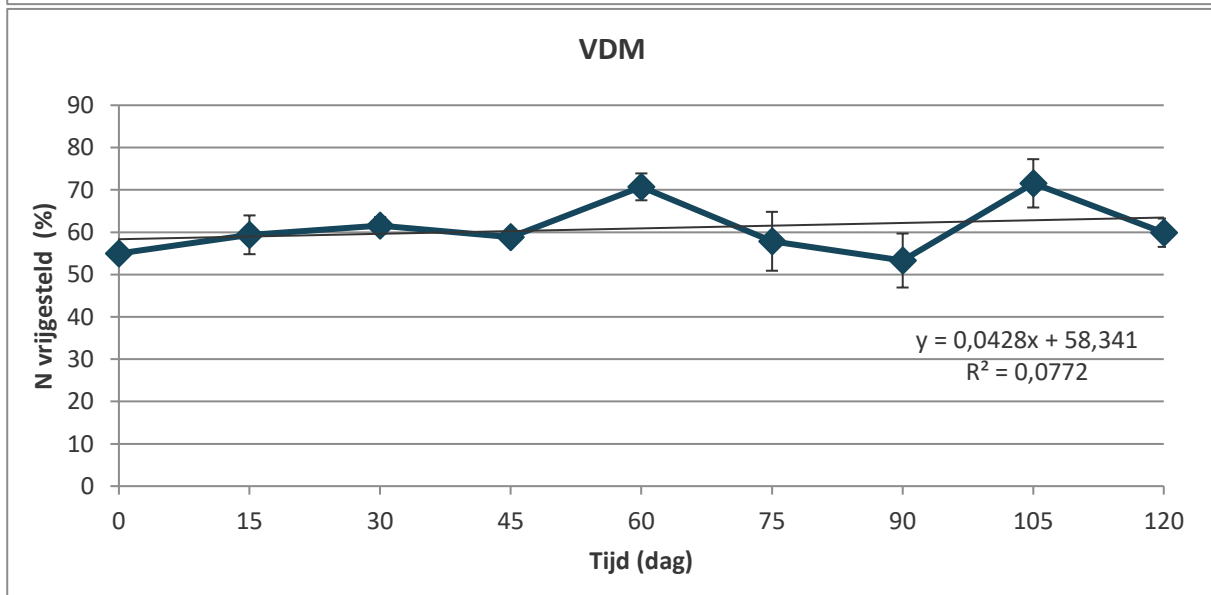
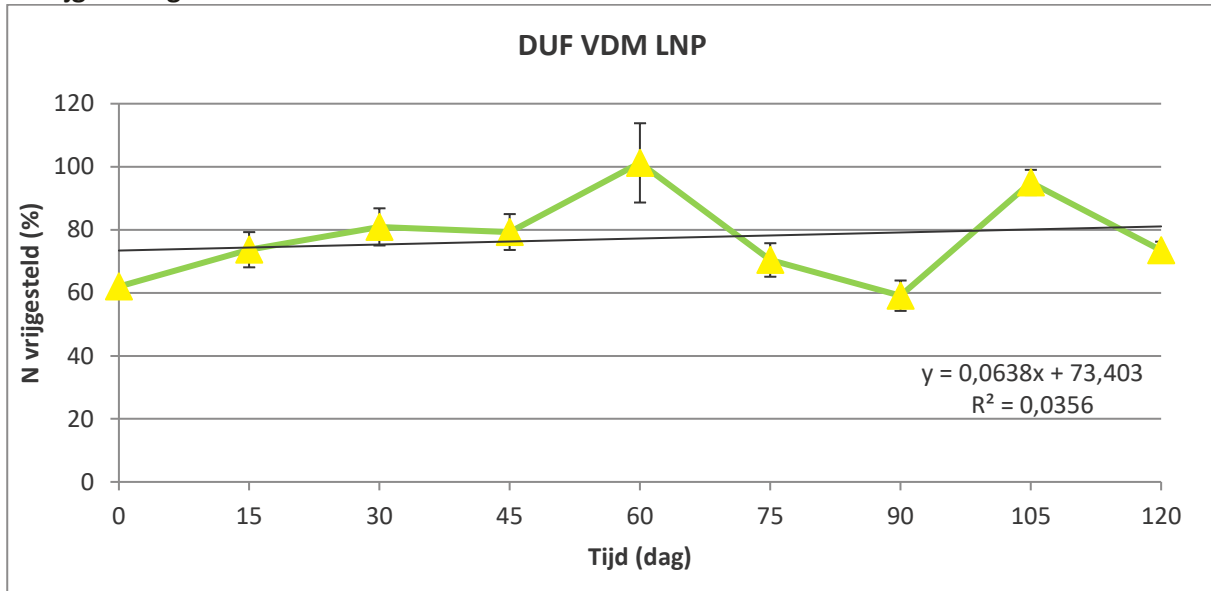
Voor zeer heterogene materialen kan het bijzonder moeilijk zijn om een representatief monster te nemen voor gebruik in de incubaties. Er kan dan ook heel wat variabiliteit op de herhalingen zitten. Dit kan een belangrijke weerslag hebben op de uiteindelijke beoordeling van het materiaal. Ook bij de bepaling van droge stof en organisch koolstofgehalte kunnen hierbij problemen optreden. De hoeveelheden in te werken materiaal in de bodem mogen dan ook niet te klein zijn.

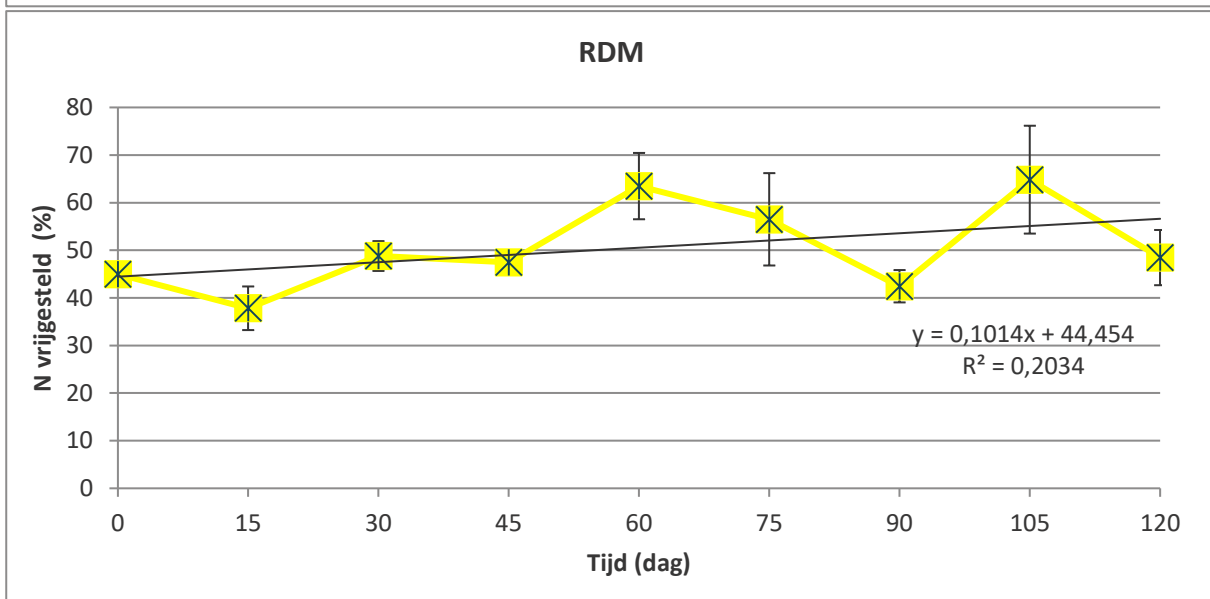
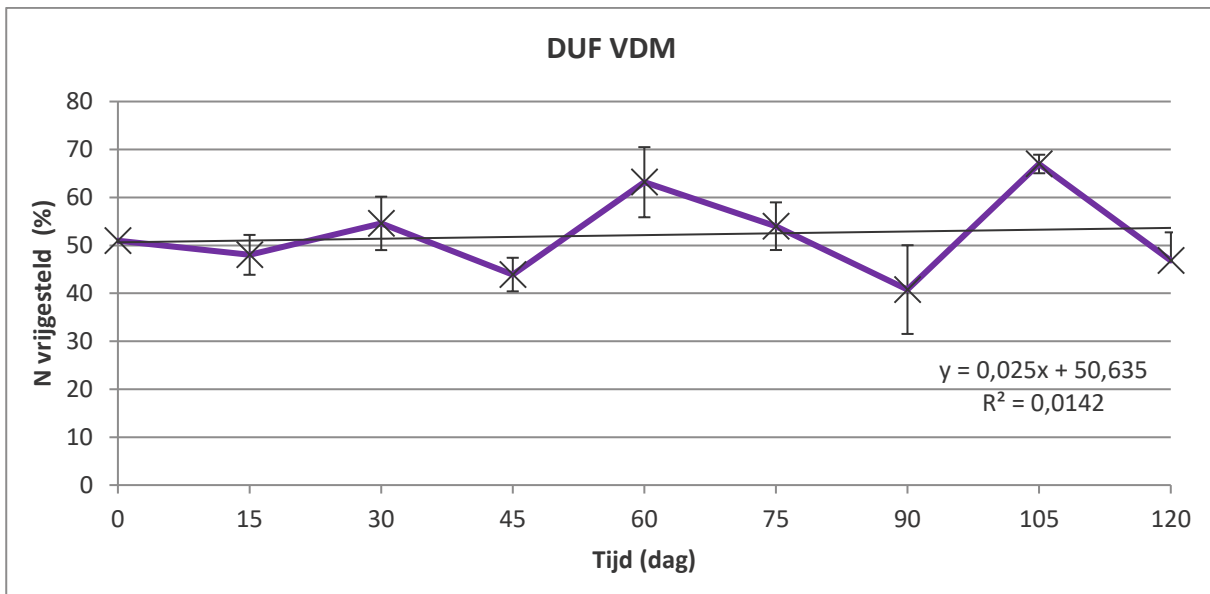
Voor bepalingen bij andere temperaturen moet zoals in de inleiding vermeld een temperatuurscorrectie worden toegepast om de resultaten onderling te kunnen vergelijken. Hiervoor kan een $Q_{10}=2$ worden genomen.

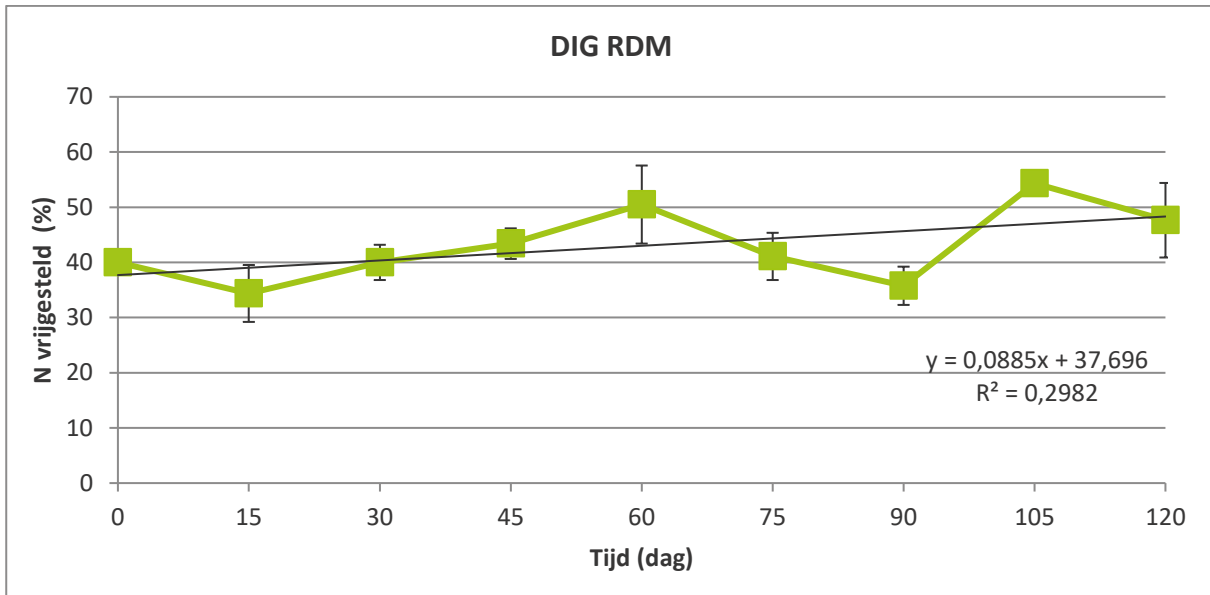
3.3. Referenties

- De Neve S., Pannier J. and Hofman G. 1996. Temperature effects on C and N mineralization from vegetable crop residues. *Plant and Soil*, 181, 25-30.
- De Neve S. and Hofman G. 2000. Influence of soil compaction on C and N mineralization from soil organic matter and crop residues. *Biology and Fertility of Soils* 30, 544-549.
- Jenkinson D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil.VI. The decomposition of fumigated organisms in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 8, 203-208.
- Van Veen J.A. & Kuikman P.J. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. *Biogeochemistry* 11, 213-233.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R., Unwin, R.J. 1999. Heavy metal contents of livestock feed and animal manure in England and Wales. *Bioresource Technology* 70, 23-31.
- Zhang, F., Li, Y., Yang, M., Li, W. 2012. Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in Northeast China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9, 2658-2668.
- Cang, L., Wang, Y., Zhou, D., Dong, Y. 2004. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China. *Journal of Environmental Sciences* 16, 371-374.
- Møller, H.B., Jensen, H.S., Tobiasen, L., Hansen, M.N. 2010. Heavy metal and phosphorus content of fractions from Manure Treatment and Incineration. *Environmental Technology* 28, 1403-1418.
- Webb, J., Sørensen, P., Vetlhof, G., Amon, B., Pinto, M., Rodhe, L., Salomon, E., Hutchings, N., Burczyk, P. 2013. Chapter Seven – An Assessment of the Variation of Manure Nitrogen Efficiency throughout Europe and an Appraisal of Means to Increase Manure N-Efficiency. *Advances in Agronomy*, 119, 371-442.

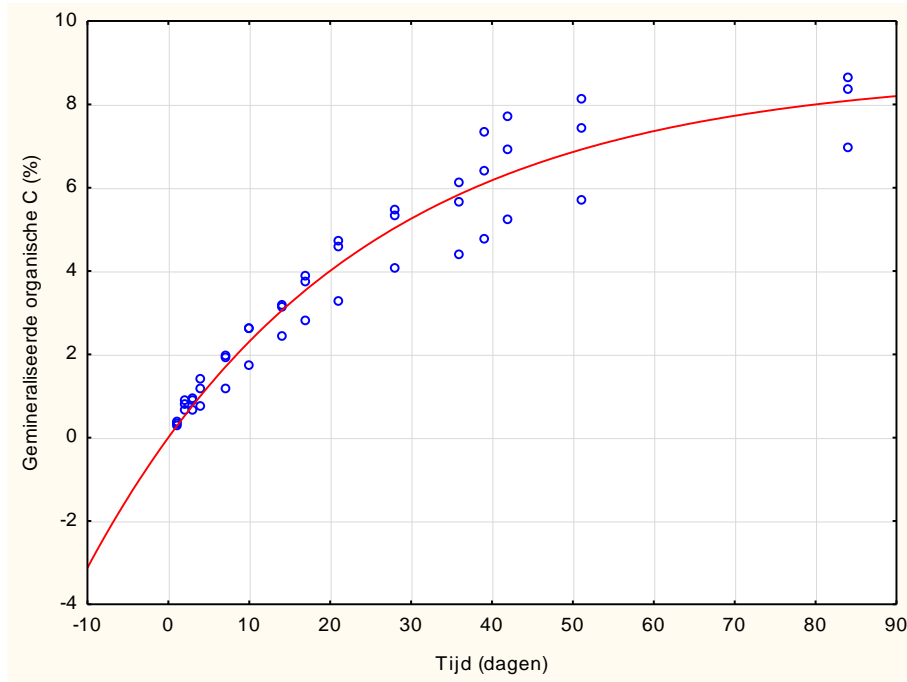
N vrijgesteld grafieken





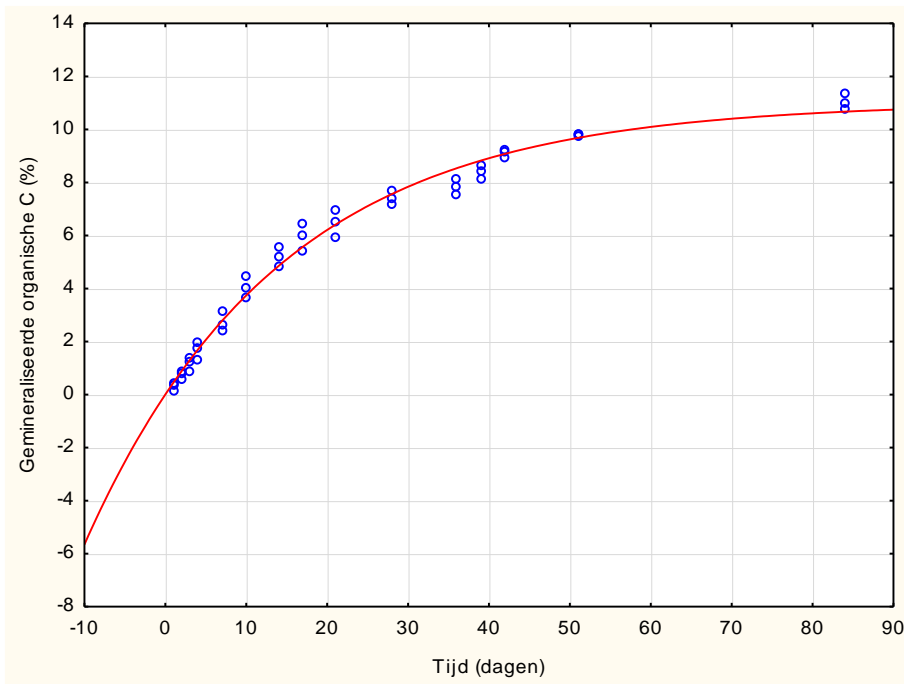


14 BIJLAGE 2: VERLOOP VAN DE C-MINERALISATIEPROEF ILVO

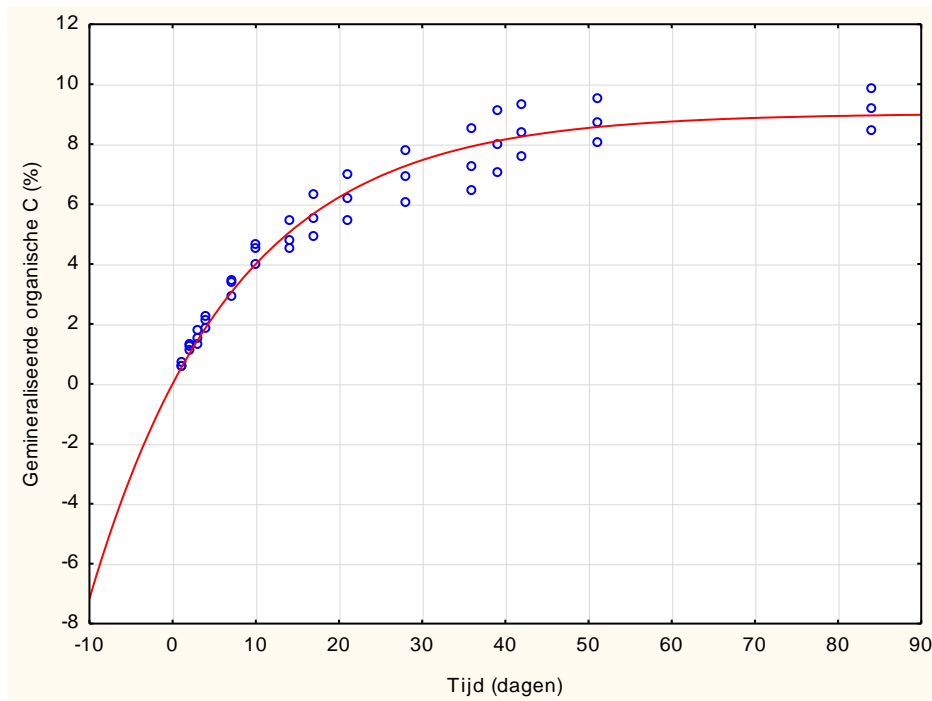


Verloop van de C-mineralisatie voor gecomposteerde runderstalmest. De blauwe cirkels geven de effectieve meetwaarden weer. De rode lijn geeft het model $OC(t) = 8,8(1-e^{-0,03t})$ van C-mineralisatie weer.

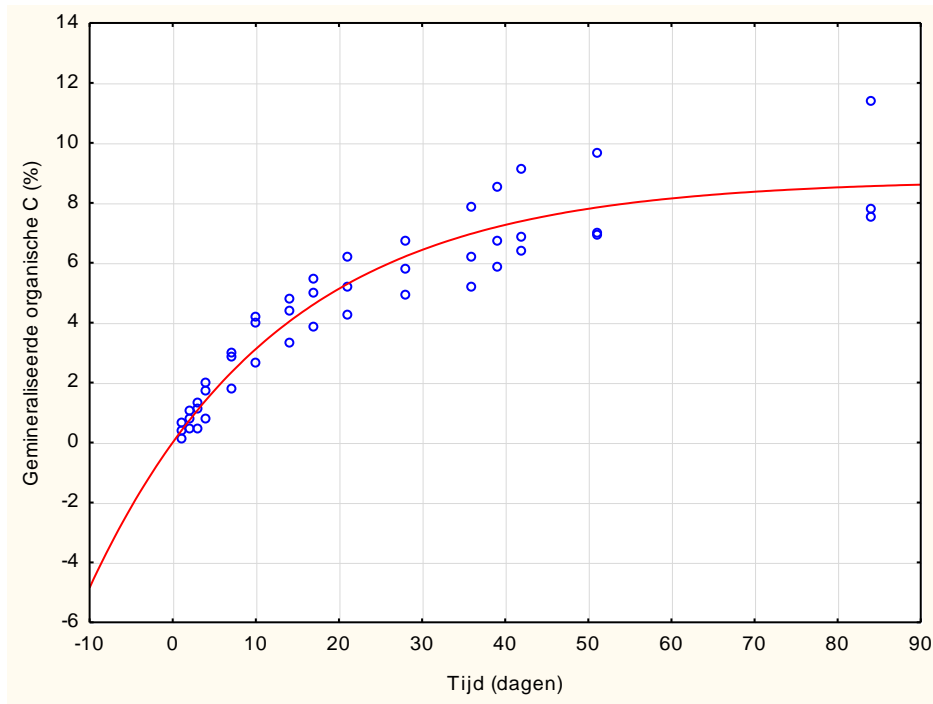




Verloop van de C-mineralisatie voor DIF varkensdrijfmest (LNP). De blauwe cirkels geven de effectieve meetwaarden weer. De rode lijn geeft het model $OC(t) = 11,0(1-e^{-0,04t})$ van C-mineralisatie weer.

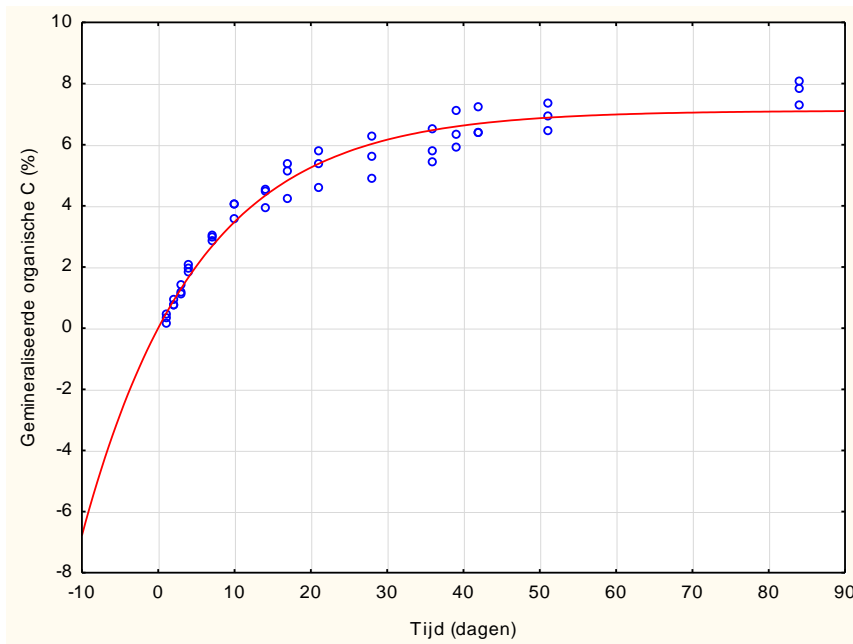


Verloop van de C-mineralisatie voor DIF varkensdrijfmest (VOOR Fraunhofer procedé). De blauwe cirkels geven de effectieve meetwaarden weer. De rode lijn geeft het model $OC(t) = 9,0(1-e^{-0,06t})$ van C-mineralisatie weer.

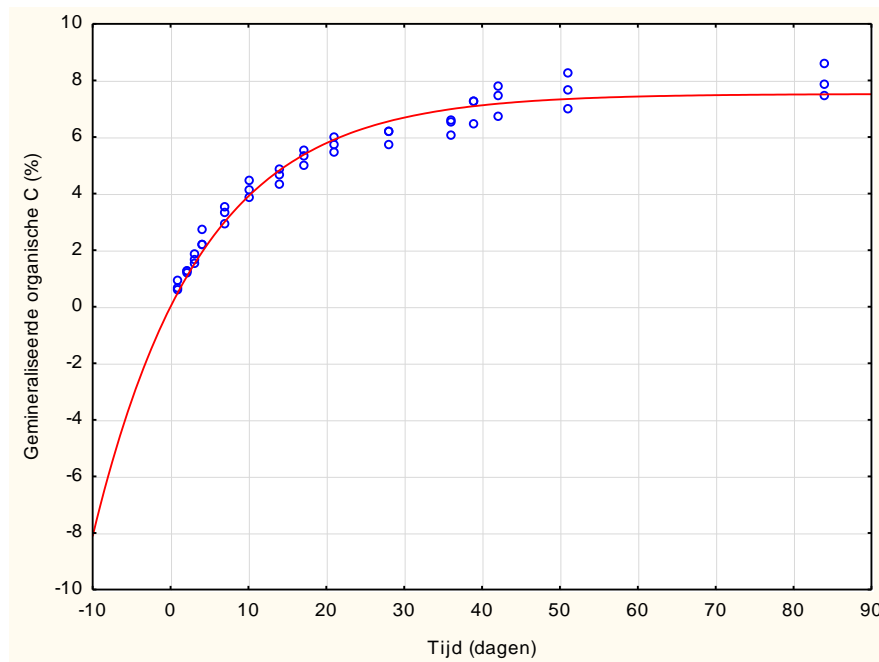


Verloop van de C-mineralisatie voor DIF varkensdrijfmest (NA Fraunhofer procedé). De blauwe cirkels geven de effectieve meetwaarden weer. De rode lijn geeft het model $OC(t) = 8,8(1-e^{-0,04t})$ van C-mineralisatie weer.





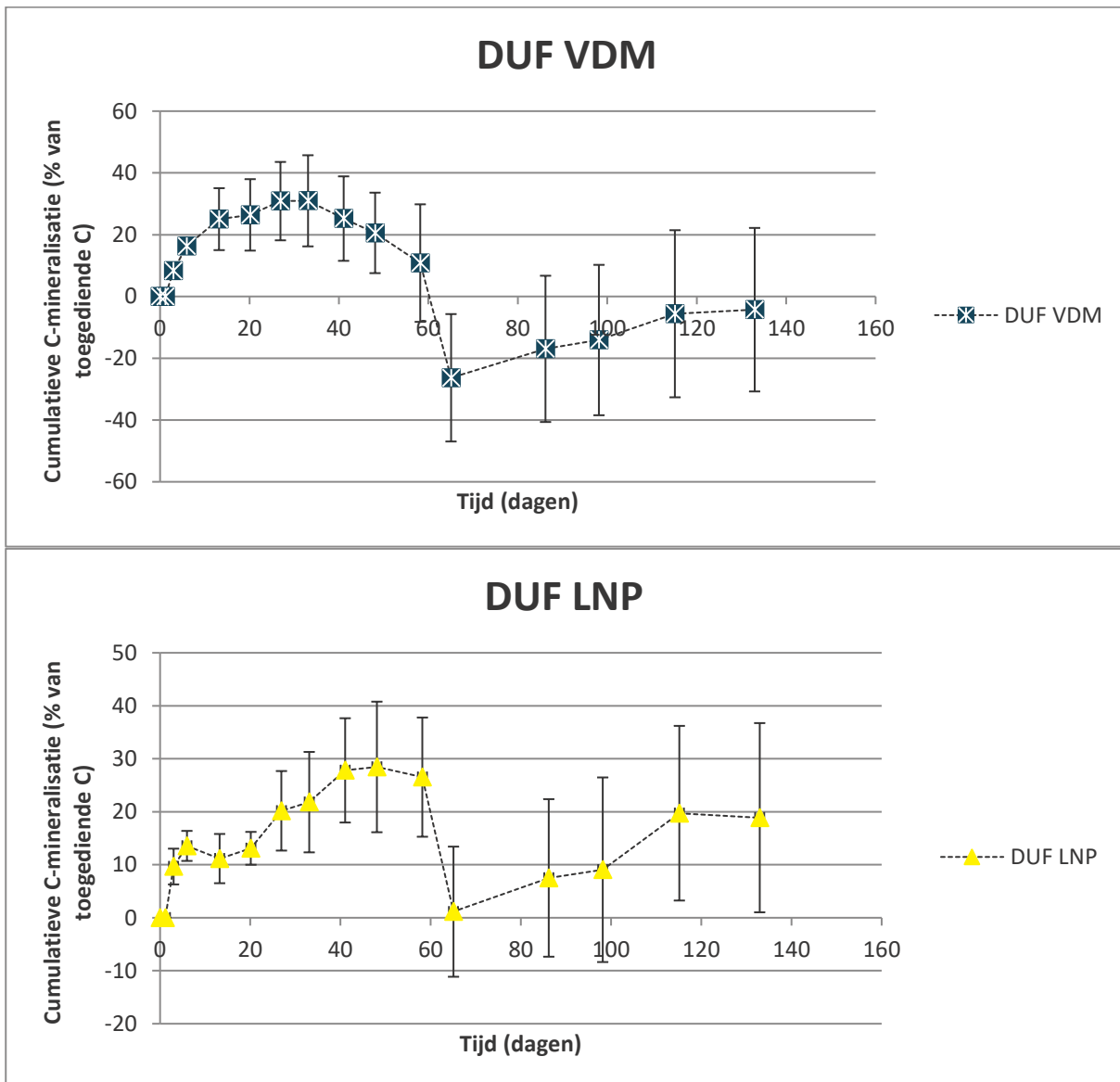
Verloop van de C-mineralisatie voor DIF digestaat (VOOR Fraunhofer procedé). De blauwe cirkels geven de effectieve meetwaarden weer. De rode lijn geeft het model $OC(t) = 7,1(1 - e^{-0,07t})$ van C-mineralisatie weer.



Verloop van de C-mineralisatie voor DIF digestaat (NA Fraunhofer procedé). De blauwe cirkels geven de effectieve meetwaarden weer. De rode lijn geeft het model $OC(t) = 7,5(1 - e^{-0,07t})$ van C-mineralisatie weer.

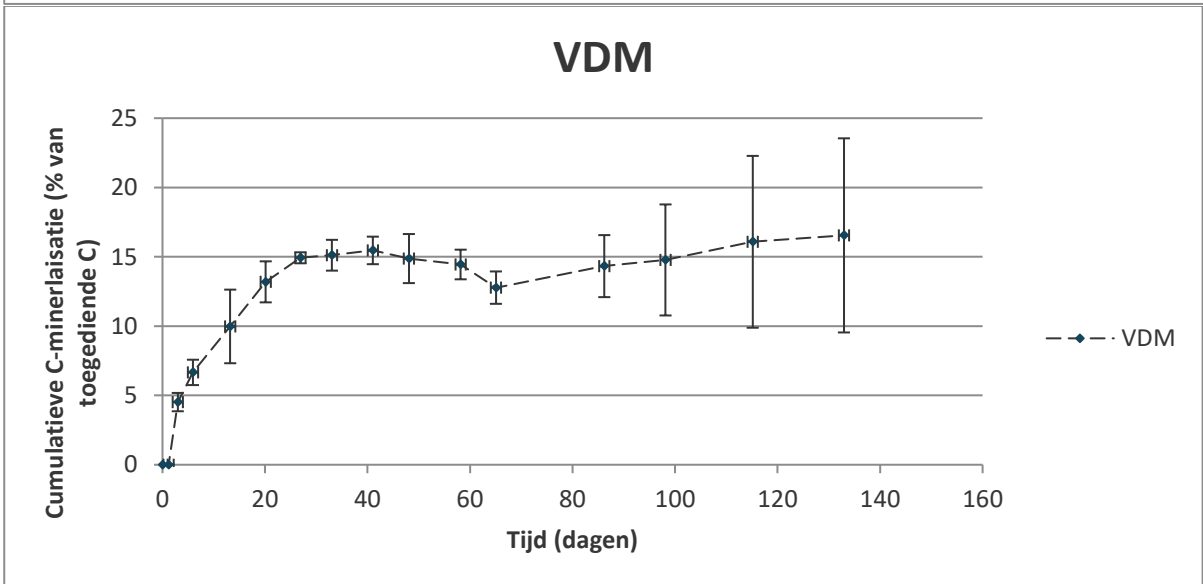
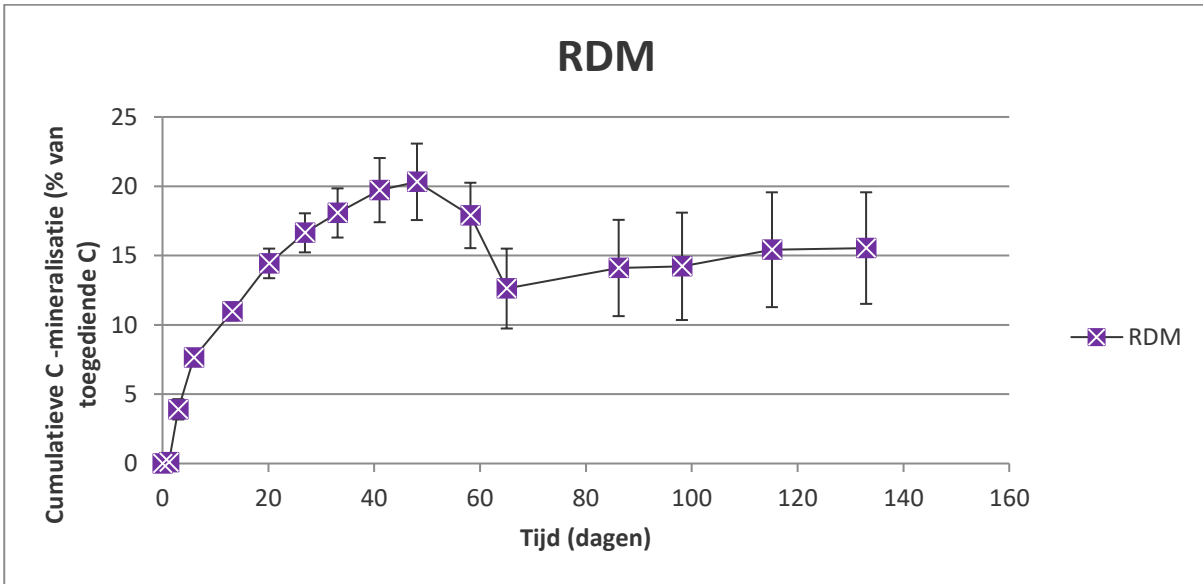


15 BIJLAGE 3: OVERZICHT VAN HET C-MINERALISATIEVERLOOP VAN DE VERSCHILLENDE MESTPRODUCTEN DIE BIJ UGENT WORDEN OPGEVOLGD VIA DE INCUBATIEPROEVEN.



Cumulative C-mineralisatie (% van toegediende C)





DIG RDM

