



Vlaamse Landmaatschappij
SAMEN INVESTEREN IN DE OPEN RUIMTE

Onderzoeksopdracht

Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie
met nateelten/vanggewassen



Eindrapport

2 oktober 2014

Consortium

Universiteit Gent

ILVO Plant

Inagro

Bodemkundige Dienst van België

Hogeschool Gent

KORTE NEDERLANDSTALIGE SAMENVATTING

1. Inleiding

Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van veldproeven, simulaties en incubatieproeven en formuleert wetenschappelijk onderbouwde besluiten met betrekking tot de toepasbaarheid van dierlijke mest op een graanstoppel in Vlaanderen.

2. Doelstelling

De centrale onderzoeksvraag was of er verschillen vastgesteld konden worden in de N-verliezen tussen situaties waarbij vanggewassen werden ingezaaid zonder enige bemesting na de oogst van wintergranen en situaties waarbij vanggewassen werden ingezaaid volgend op een bemesting met varkensmengmest na de oogst van wintergranen.

3. Proefopzet

De kern van het onderzoeksproject was gebaseerd op veldproeven die twee jaar na elkaar (2011-2013) aangelegd werden, telkens op vier locaties met bodems van verschillende textuur. Na oogst van de wintergranen werd varkensmengmest toegediend in drie bemestingstrappen van 0, ± 60 en ± 120 kg totale N ha⁻¹. Op elke locatie werden drie tot vier courante soorten vanggewassen (gele mosterd, Italiaans raaigras, Japanse haver en een mengsel van Engels raaigras en rode en witte klaver) ingezaaid. Daarnaast werd telkens een braakbehandeling voorzien. De vanggewassen werden op elke locatie op twee verschillende tijdstippen ingezaaid.

4. Algemene besluiten

4.1 Representativiteit proefopzet

- Vanggewassen werden ingezaaid na de oogst van diverse wintergranen op 8 proefveldlocaties over 2 proefjaren (2011-2013), die samen een representatieve steekproef vormden voor de Vlaamse landbouwbodems waarop wintergranen worden geteeld.

4.2 Minerale bodemstikstof

- Bij tijdige zaai (voor 1 september) en ingezaaid bij goede omstandigheden ontwikkelden zowel de niet-bemeste als de bemeste vanggewassen zich goed, namen in het najaar N_{\min} op uit de bodem en reduceerden zo de kans op N-verliezen tijdens de winterperiode.
- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het najaar (oktober-november) geen significante gemiddelde verschillen (< 5 kg N ha⁻¹) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 60 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmengmest. Voor de overeenkomstige braakbehandelingen werden wel significante verschillen gevonden.
- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het voorjaar (februari-april) kleine maar niet-significante gemiddelde verschillen (≤ 10 kg N ha⁻¹) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 60 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmengmest. Enkel voor Japanse haver waren deze verschillen wel significant.
- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het najaar (oktober-november) significante gemiddelde verschillen (8-21 kg N ha⁻¹) aangetoond tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen

waarop 120 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmest. Voor de overeenkomstige braakbehandelingen waren de verschillen groter en eveneens significant.

- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het voorjaar (februari-april) kleine tot iets grotere, maar niet-significante gemiddelde verschillen (1-26 kg N ha⁻¹) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 120 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmest. Enkel voor later gezaaide (eind augustus) gele mosterd en Japanse haver waren deze verschillen wel significant.
- Indien vanggewassen werden ingezaaid na 1 september leidde ook een bemesting met 60 kg N ha⁻¹ tot significante verschillen in het najaar.
- Niet-winterharde vanggewassen sterven af tijdens de winter en mineraliseren deels in het voorjaar. Bemeste en/of laat ingezaaide vanggewassen stellen daarbij meer N_{min} vrij dan niet-bemeste en/of vroeg ingezaaide vanggewassen.

4.3 Gesimuleerde N-verliezen

- Simulaties voor 6 van de 8 proefpercelen en onder diverse weersomstandigheden op zand en leem toonden aan dat de nitraatuitspoeling onder vanggewassen steeds kleiner was dan onder braak. Het grasklavermengsel bleek het minst efficiënt in het tegengaan van de nitraatuitspoeling. Algemeen waren vanggewassen iets efficiënter op zwaardere bodemtexturen en bij lagere initiële N_{min}-gehalten.
- De gesimuleerde gemiddelde nitraatconcentraties op 90 cm vertoonden bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen tussen bemeste (60 kg N ha⁻¹) en niet-bemeste vanggewassen. Bij late zaai werd er in nattere en/of koudere jaren wel een relatief grote toename van de nitraatconcentratie gesimuleerd bij bemesting van Japanse haver en het grasklavermengsel, waarvoor een overschatting van de nitraatconcentratie door de simulaties echter niet kon worden uitgesloten.
- De gesimuleerde gasvormige N-verliezen waren steeds kleiner dan 7 kg N ha⁻¹ en zelfs verwaarloosbaar op percelen met een zandige textuur. Bij toenemende bemesting namen de gasvormige verliezen enigszins toe, zowel op de braakbehandelingen als onder vanggewassen. Een groot deel hiervan kwam vrij kort na toedienen van de bemesting. Tussen de overeenkomstige behandelingen met en zonder vanggewassen waren de verliezen vergelijkbaar of kleiner onder vanggewassen.

4.4 N-vrijstelling uit ingewerkte vanggewassen

- De vrijstelling van minerale N uit ingewerkte bovengrondse delen van vanggewassen bleek in een mineralisatieproef erg afhankelijk van de C:N-verhouding. Niet-winterharde vanggewassen hadden een immobiliserend effect en worden daarom best 4 tot 6 weken voor inzaai van het volggewas ingewerkt. Winterharde vanggewassen stelden sneller minerale N vrij en zouden dus iets korter voor inzaai van het volggewas ingewerkt kunnen worden.
- De bemesting van het volggewas dient de vrijstelling uit het vanggewas in rekening te brengen. Bij inwerken in het voorjaar stellen niet-winterharde vanggewassen (al dan niet bemest met 60 kg N ha⁻¹) ongeveer 10 kg N ha⁻¹ vrij tijdens het groeiseizoen van de volgteelt. Winterharde vanggewassen stellen 20 (niet-bemest) tot 30 kg N ha⁻¹ (bemest met 60 kg N ha⁻¹) vrij. Bij inwerken van vanggewassen in het najaar is het belangrijk de voorbije winter te beoordelen om na te gaan of de N-nalevering al dan niet in rekening gebracht dient te worden: tijdens een warme en natte winter zal de N grotendeels vrijgesteld worden en uitspoelen. Enkel na een koude en/of droge winter kan de volledige nalevering in rekening gebracht worden.
- Het klepelen van vanggewassen voorafgaand aan inwerken in de herfst of de winter verhoogde het risico op N-verliezen en dient vermeden te worden.

4.5 Organische stofopbouw en biologische bodemkwaliteit

- De bovengrondse delen van vanggewassen dragen na inwerken bij tot de opbouw van bodemorganische stof. In een incubatieproef was de humificatiecoëfficiënt het grootst voor Japanse haver (48-56%) en het kleinst voor gele mosterd (26-33%). De humificatiecoëfficiënten waren steeds iets hoger op leem dan op zandleem.
- Voor vroeg ingezaaide vanggewassen op zware bodems werden eind november gemiddelde bovengrondse EOC-opbrengsten gevonden tussen 77 en 512 kg ha⁻¹ (niet-bemest) en tussen 129 en 736 kg ha⁻¹ (bemest met 60 kg N ha⁻¹). Op lichte bodems werden in het voorjaar gemiddelde bovengrondse EOC-opbrengsten gevonden tussen 132 en 572 kg ha⁻¹ voor niet-bemeste vanggewassen en tussen 210 en 718 kg ha⁻¹ voor bemeste (60 kg N ha⁻¹) vanggewassen. De bovengrondse EOC-opbrengst was telkens het hoogst voor Japanse haver en het laagst voor het grasklavermengsel.
- Een bemesting (60 en 120 kg N ha⁻¹) van het vanggewas verhoogde de bovengrondse C-opbrengst en EOC-opbrengst significant voor alle vanggewassen in het najaar en voor de winterharde vanggewassen ook in het voorjaar. Het effect van de bemesting (60 kg N ha⁻¹) op de bovengrondse EOC-opbrengst was relatief klein (41 tot 224 kg EOC ha⁻¹) ten opzichte van het effect van het soort vanggewas. Van alle vanggewassen vertoonde Japanse haver de grootste absolute toename in EOC door toedoen van de bemesting.
- Simulaties van een 4-jarige rotatie waarin tweemaal een vanggewas wordt ingezaaid na wintergerst, leidden na 30 jaar tot een verhoogd OC-gehalte van de bodem t.o.v. diezelfde rotatie zonder vanggewassen. De toename was het grootst voor de simulatie met vroeg gezaaide Japanse haver. Het gesimuleerd OC-gehalte was hoger bij bemesting van de vanggewassen als gevolg van de C-aanvoer uit de organische mest enerzijds en de hogere C-opbrengst van het vanggewas anderzijds.
- Kort na het inwerken van de vanggewassen namen de microbiële biomassa en enzymactiviteit toe en was die toename proportioneel groter voor de schimmels dan voor de bacteriën. De effecten waren het grootst en hielden het langst aan (tot 14 weken) voor Japanse haver.

4.6 Keuze van het vanggewas

- Vanggewassen waarvan bekend is dat de groei sterk geremd wordt door lagere temperaturen, worden beter niet bemest bij inzaai na midden augustus. Een dergelijke groeibeperking bij lagere temperaturen werd gesimuleerd voor Japanse haver en voor het grasklavermengsel.
- Indien vanggewassen al tijdens het najaar worden ingewerkt (vaak op zware bodems), is het aangeraden niet-winterharde vanggewassen in te zaaien: ze nemen op een korte periode sneller N op en stellen na inwerken minder snel minerale N vrij.
- Bij een laat volggewas (zoals maïs) in situaties waar vanggewassen in het voorjaar worden ingewerkt, is het aangeraden winterharde vanggewassen in te zaaien om N-verliezen in het voorjaar te voorkomen.
- Indien het van belang is dat het vanggewas ook bijdraagt tot de opbouw van bodemorganische stof, is Japanse haver het meest aangewezen vanggewas.
- Alle vanggewassen dienen ingezaaid te worden bij gunstige omstandigheden. Indien dit niet kan worden gegarandeerd door de landbouwer (eventueel door herinzaai na storm of irrigatie bij droogte) kan een bemesting van het vanggewas niet in overweging genomen worden.
- De keuze van het vanggewas kan eveneens beïnvloed worden door diverse andere factoren: vanggewassen kunnen een voorname rol spelen in de bestrijding van bodemerosie, in de onderdrukking van onkruiden en in de controle van nematoden. Sommige vanggewassen kunnen eveneens dienen als veevoer.

UITGEBREIDE NEDERLANDSTALIGE SAMENVATTING

1 INLEIDING

Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van veldproeven, incubatieproeven en simulaties en formuleert wetenschappelijk onderbouwde besluiten met betrekking tot de toepasbaarheid van dierlijke mest op een graanstoppel in Vlaanderen.

2 ONDERZOEKSVRAAG

De centrale onderzoeksvraag was of er verschillen vastgesteld konden worden in de N-verliezen tussen situaties waarbij vanggewassen werden ingezaaid zonder enige bemesting na de oogst van wintergranen en situaties waarbij vanggewassen werden ingezaaid volgend op een bemesting met varkensmengmest na de oogst van wintergranen.

3 VELDPROEVEN

3.1 PROEFOPZET VELDPROEVEN

De kern van het onderzoeksproject was gebaseerd op veldproeven die twee jaar na elkaar (2011-2013) aangelegd werden, telkens op vier locaties met bodems van verschillende textuur (zand, zandleem, leem en in het 2^e proefjaar ook klei). Op zand werd onderzoek gedaan na triticale, op zandleem na wintergerst en op leem en klei na wintertarwe. Er werd varkensmengmest toegediend in drie bemestingstrappen van 0, ± 60 en ± 120 kg totale N ha⁻¹. Op elke locatie werden drie courante soorten vanggewassen (gele mosterd, Italiaans raaigras en Japanse haver) ingezaaid. Op drie locaties werd tevens een grasklavermengsel ingezaaid, met oog op de toepassing ervan in de biologische landbouw. Daarnaast werd telkens een behandeling voorzien zonder vanggewassen. Hierbij werd de hergroei van het geogoste graangewas met een totaalherbicide afgedood. Om het effect van het zaaitijdstip mee te nemen in de proef, gebeurde het inzaaien van de vanggewassen op elke locatie op twee verschillende tijdstippen. In het eerste proefjaar (2011-2012) viel de 1^e zaai in de eerste helft en de 2^e zaai in de tweede helft van augustus. In het tweede proefjaar (2012-2013) was dit enkel het geval voor 1 locatie; op de 3 resterende locaties werd laat geogst en kon de vroege zaai pas in de tweede helft van augustus plaatsvinden. De late zaai werd daarom verschoven naar de eerste helft van september. De hele proefopzet werd telkens uitgevoerd in vier herhalingen.

3.2 REPRESENTATIVITEIT VELDPROEVEN

De textuur van de bouwvoor werd granulometrisch bepaald: de verdeling van de textuurklassen van de verschillende proefpercelen wees op een evenwichtige vertegenwoordiging van de bodemtypes die in Vlaanderen gebruikt worden voor het telen van wintergranen. Andere belangrijke fysische en chemische bodemeigenschappen (pH, CaCO₃-gehalte, OC-gehalte, K- en P-gehalte) vertoonden voor geen van de locaties uitzonderlijke waarden. Dit geeft aan dat de resultaten uit dit onderzoek representatief zijn voor de Vlaamse landbouwbodems waarop de onderzoeksvraag betrekking heeft.

De weersomstandigheden voor beide proefjaren waren met name in de zomer en het najaar enigszins verschillend. In het 1^e proefjaar waren de omstandigheden ideaal voor de ontwikkeling van de vanggewassen en het uitblijven

van nitraatuitspoeling: augustus was vochtig maar de periode september-november relatief droog, zonnig en warm. In het 2^e proefjaar waren de 2^e helft van augustus en de 1^e helft van september erg droog, wat op klei in een laattijdige ontkieming van de vanggewassen resulteerde. De herfstperiode was echter vrij normaal wat betreft temperaturen en neerslag, hetgeen de groei van de vanggewassen ten goede kwam. De winter was voor beide proefjaren gelijkaardig: vooral in december viel er veel neerslag, waardoor uitspoeling erg waarschijnlijk werd. Enkel in het 2^e proefjaar werden in december negatieve temperaturen opgetekend; in het 1^e proefjaar was mineralisatie dus nog mogelijk. In de periode januari-februari was in beide proefjaren sprake van een lange vorstperiode. In de maand maart stegen de temperaturen, maar in het 2^e proefjaar bleef het kouder dan normaal, hetgeen de mineralisatie afremde. In het 1^e proefjaar was het in maart wel droger dan normaal, wat de kans op uitspoeling dan weer verminderde.

Over beide proefjaren heen kon gesteld worden dat de neerslaghoeveelheden in het najaar normaal tot klein, in december-januari zeer groot en in februari-maart normaal tot klein waren. De temperaturen waren in het najaar en in december-januari normaal tot hoog en in februari-maart normaal tot laag.

3.3 RESULTATEN VELDPROEVEN

3.3.1 OPVOLGING VANGGEWASSEN

3.3.1.1 OOGST EN ANALYSE

De vanggewassen werden op alle locaties eind oktober en eind november geoogst. Op locaties waar de vanggewassen niet ingewerkt werden, werden de vanggewassen eveneens geoogst in het voorjaar (februari-april). Voor alle oogsten werd de verse biomassa afgewogen en het drogestof-, stikstof- en koolstofgehalte bepaald.

3.3.1.2 RESULTATEN BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST

De bovengrondse stikstofopbrengst was een belangrijke variabele in dit onderzoek: door N-opname van het vanggewas wordt de bodem uitgeput en wordt nitraatuitspoeling tijdens de natte en koude wintermaanden voorkomen. Bij bemesting is het belangrijk dat de N-opname van het gewas voldoende toeneemt om ook de extra N die vrijgesteld wordt uit de mest op te nemen. Het was niet mogelijk uit deze resultaten eenduidige conclusies te trekken voor alle factoren: variantieanalyse (ANOVA) toonde aan dat de effecten van zaaitijdstip, bemestingsniveau, vanggewas en locatie (deels bepaald door textuur) niet eenvoudigweg los van elkaar te beschouwen waren (er was significante interactie tussen de factoren).

1. *Effect van de locatie*

De bovengrondse stikstofopbrengst (N_{plant}) van de vanggewassen was erg afhankelijk van de locatie, met name in het 2^e proefjaar, waar interactie van textuur en droogte tijdens de eerste weken een bepalende factor bleek. In Oostende ontkiemden de vanggewassen pas eind september. In het 1^e proefjaar zorgde stormweer kort na inzaai in Rukkelingen-Loon voor een iets minder goede ontwikkeling van de vanggewassen. Bij goede omstandigheden werden in het najaar bovengrondse N-opbrengsten bekomen van 25 tot 130 kg N ha⁻¹ bij vroege zaai, bij late zaai waren die afhankelijk van het soort vanggewas gelijk tot iets kleiner. Op die locaties waar vanggewassen na 1 september werden ingezaaid, werden veel lagere N-opbrengsten waargenomen.

2. *Effect van de bemesting*

Bij een goede ontwikkeling was N_{plant} duidelijk positief gecorreleerd met de bemestingsdosis. De verschillen waren echter relatief klein t.o.v. de bemestingsdosis en in de meeste gevallen enkel significant tussen de 0N en 120N behandelingen. In het voorjaar was het effect van de bemesting enkel duidelijk waarneembaar op de winterharde

vanggewassen (Italiaans raaigras en grasklaver), hetgeen erop wijst dat de bemeste niet-winterharde vanggewassen (gele mosterd en Japanse haver) in de winter meer N verliezen dan de niet-bemeste.

3. *Effect van het zaaitijdstip*

N_{plant} werd zeer duidelijk beïnvloed door het zaaitijdstip: op sommige locaties werden in het najaar significante verschillen gevonden tussen alle overeenkomstige behandelingen van de 1^e en de 2^e zaai. Door de snelle jeugdgroei van de niet-winterharde vanggewassen bleven significante verschillen op andere locaties beperkt tot de winterharde vanggewassen: met name voor het grasklavermengsel was N_{plant} veel kleiner voor de 2^e zaai, wat toegeschreven werd aan de trage ontwikkeling van het Engels raaigras en de klaver. In het voorjaar was het effect van het zaaitijdstip meestal iets minder uitgesproken dan in het najaar.

4. *Verschillen tussen de 4 vanggewassen*

Over alle locaties, zaaitijdstippen en bemestingstrappen heen was N_{plant} in het najaar duidelijk het grootst voor gele mosterd, gevolgd door Japanse haver. Italiaans raaigras en het grasklavermengsel vertoonden steeds de kleinste N_{plant} . Tijdens de winter ging voor gele mosterd een groot deel van N_{plant} verloren. In het voorjaar was N_{plant} het grootst voor Italiaans raaigras en Japanse haver, gevolgd door grasklaver en gele mosterd.

3.3.1.3 RESULTATEN BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST

Vanggewassen nemen niet alleen stikstof op uit de bodem, maar produceren ook grote hoeveelheden koolstof. Deze bovengrondse C-opbrengst (C_{plant}) kan na inwerken van het vanggewas bijdragen tot de vorming van bodemorganische stof. De effecten van de verschillende factoren op C_{plant} waren in zekere mate vergelijkbaar met de effecten gevonden voor de bovengrondse stikstofopbrengst.

1. *Effect van de locatie*

De verschillen in C_{plant} tussen de locaties waren niet bijzonder groot op voorwaarde dat de vanggewassen zich voldoende goed konden ontwikkelen. In het najaar werden bovengrondse C-opbrengsten waargenomen van 1 tot 3 ton C ha⁻¹ voor de 1^e zaai en 0,5 tot 1,5 ton C ha⁻¹ voor de 2^e zaai. In Rukkelingen-Loon, waar stormweer plaatsgreep kort na inzaai van de 1^e zaai, en in Oostende, waar droogte bij inzaaien een tijdige ontkieming verhinderde, werden voor alle vanggewassen minder hoge C-opbrengsten bereikt. Ook op die locaties waar vanggewassen na 1 september werden ingezaaid, werden erg lage C-opbrengsten waargenomen.

2. *Effect van het zaaitijdstip*

Bij vroege zaai was C_{plant} bijna altijd groter dan bij late zaai. De verschillen in C_{plant} tussen beide zaaitijdstippen zijn meer uitgesproken in het najaar dan in het voorjaar. Bij inzaai van de vanggewassen na 1 september waren de verschillen met de vroege zaai erg groot. Enkel in Rukkelingen-Loon werden voor enkele vanggewassen hogere C-opbrengsten gevonden voor de 2^e zaai, hetgeen wellicht het gevolg is van de slechte weersomstandigheden kort na inzaai van de 1^e zaai.

3. *Effect van de bemesting*

In het najaar waren de bemestingsdosis en C_{plant} duidelijk positief gecorreleerd; in het voorjaar waren de verschillen in C_{plant} tussen de bemestingstrappen minder groot of zelfs geheel afwezig. Uitzonderingen hierop waren het grasklavermengsel in Merelbeke en Japanse haver in Bottelare in het 2^e proefjaar. In het algemeen verdween uit laat-gezaaide niet-winterharde vanggewassen bij bemesting meer C tijdens de winter en was voor laat-gezaaide winterharde vanggewassen bij bemesting de toename in C_{plant} tijdens de winter minder groot.

4. *Verschillen tussen de 4 vanggewassen*

De C-opbrengsten van de 4 vanggewassen verschilden afhankelijk van het oogsttijdstip. In het algemeen werd de hoogste C_{plant} gevonden onder Japanse haver en gele mosterd, gevolgd door Italiaans raaigras en het grasklavermengsel. De verschillen waren in het najaar meer uitgesproken dan in het voorjaar: voor niet-winterharde vanggewassen (in het bijzonder voor gele mosterd) verdween een groter deel van C_{plant} tijdens de winter.

3.3.2 OPVOLGING VAN DE MINERALE BODEMSTIKSTOF

3.3.2.1 BEMONSTERING EN ANALYSE

Ter bepaling van de minerale bodemstikstof (N_{min}) werden 3 bodemlagen (0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm) bemonsterd op 7 tijdstippen. De eerste bemonstering van de bodem (voorafgaand aan de bemesting) gebeurde per herhaling; voorafgaand aan de 2^e zaai werd per herhaling en per bemestingsniveau bemonsterd. Nadien werd steeds per veldje een bemonstering uitgevoerd. Elke bemonstering bestond uit een mengstaal van minstens 5 boringen. Op elk mengstaal werd vervolgens het gehalte aan nitritische N ($NO_2^- + NO_3^-$) en ammoniakale N (NH_4^+) bepaald na extractie met KCl en a.d.h.v. een segmented flow analyzer (ISO 14256-2:2005).

3.3.2.2 RESULTATEN MINERALE BODEMSTIKSTOF

Het N_{min} -gehalte van de bodem was de meest cruciale variabele in dit onderzoek aangezien het N_{min} -gehalte een maat is voor de potentiële uitspoeling in de periode volgend op de meting. Algemeen wordt hierbij aangenomen dat N_{min} tot een diepte van 90 cm kan migreren zonder definitief verloren te gaan, omdat plantenwortels tenminste tot die diepte in staat zijn N_{min} op te nemen. N_{min} die zich dieper bevindt wordt beschouwd als verloren. Vanuit die benadering werd in dit rapport dan ook rekening gehouden met het N_{min} -gehalte over een diepte van 0 tot 90 cm.

Variantieanalyse (ANOVA) van de resultaten toonde aan dat de effecten van zaaitijdstip, bemestingsniveau, vanggewas en locatie (deels bepaald door textuur) niet eenvoudigweg los van elkaar te beschouwen zijn (er is significante interactie tussen de factoren).

1. *Effect van de locatie*

De resultaten voor N_{min} waren zeer verschillend van locatie tot locatie: deze zijn grotendeels toe te schrijven aan de al dan niet goede ontwikkeling van de vanggewassen, zoals vermeld in deel 3.3.1. De initiële N_{min} -gehalten kort na oogst van de wintergranen waren voor alle locaties vergelijkbaar en lagen tussen 30 en 80 kg N ha⁻¹. Wel werd er op sommige locaties meer N geïmmobiliseerd door de graanstoppel dan op andere locaties, wat wellicht het gevolg was van verschillen in hoeveelheden en de samenstelling van de oogstresten; ook verschillen in textuur en vochtgehalte van de bodem kunnen hierin een rol gespeeld hebben. In de wintermaanden werd waargenomen dat de nitraatuitspoeling sneller verliep op zandige bodems dan op niet-zandige bodems (zie ook punt 4).

2. *Effect van het zaaitijdstip*

Bij tijdige zaai (voor 1 september) werd in het najaar (oktober-november) voornamelijk onder winterharde vanggewassen (Italiaans raaigras en grasklaver) een significant effect van het zaaitijdstip op het N_{min} -gehalte waargenomen. In het voorjaar was het omgekeerde het geval: het effect van het zaaitijdstip was enkel voor de niet-winterharde vanggewassen (gele mosterd en Japanse haver) waarneembaar, in het bijzonder voor de bemeste behandelingen en ook indien zij ondergewerkt waren zonder klepelen in Rukkelingen-Loon. N_{min} was af en toe zelfs significant hoger onder gele mosterd en Japanse haver van het 2^e zaaitijdstip. Bij late zaai (na 1 september) en

goede ontwikkeling van de 1^e zaai (dus niet in Oostende) waren de verschillen in het najaar tussen beide zaaitijdstippen onder alle vanggewassen significant.

3. *Effect van de bemesting*

Het effect van de bemestingsdosis hing nauw samen met het zaaitijdstip. Voor de 1^e zaai waren slechts heel kleine verschillen te zien voor N_{\min} en dit voor alle bemestingstrappen en alle bemonsteringstijdstippen van oktober tot januari. In Oostende, waar de vanggewassen zich niet goed ontwikkelden, konden de bemestingstrappen nog goed onderscheiden worden. Voor de 2^e zaai werden bij tijdige zaai (voor 1 september) in de periode oktober-januari enkel duidelijke verschillen in het N_{\min} -gehalte waargenomen tussen de 0N en de 120N-bemestingstrap. In het voorjaar was voor beide zaaitijdstippen het effect van de bemesting (60N en 120N) enkel zichtbaar onder de niet-winterharde vanggewassen. In Rukkelingen-Loon, waar het vanggewas in het 2^e proefjaar geklepeld werd in december en in januari ingewerkt werd, kon het effect van de 3 bemestingstrappen beperkt waargenomen worden in het voorjaar. In het 1^e proefjaar was dit veel minder duidelijk: de vanggewassen werden toen ook ingewerkt in januari, maar vooraf niet geklepeld. Bij late zaai (na 1 september) was het N_{\min} -gehalte in het najaar steeds duidelijk positief gecorreleerd met het bemestingsniveau; de opname was nooit voldoende om het bemestingseffect teniet te doen. In het voorjaar was er geen eenduidig effect waarneembaar.

4. *Verschillen tussen de 4 vanggewassen*

In het najaar was N_{\min} onder alle vanggewassen van de 1^e zaai significant kleiner dan onder braak en dit op bijna alle locaties. De verschillen in N_{\min} tussen de 4 vanggewassen waren niet significant verschillend. Voor de 2^e zaai (gezaaid zowel voor als na 1 september) werden in het najaar wel significante verschillen opgemerkt: onder Italiaans raagrass en het grasklavermengsel was N_{\min} vaak significant hoger dan onder gele mosterd en Japanse haver. Onder deze vanggewassen was N_{\min} ook niet altijd significant kleiner dan N_{\min} onder braak.

In het voorjaar was N_{\min} voor de winterharde vanggewassen (ook na inwerken zonder klepelen) meestal significant kleiner dan onder braak. Voor niet-winterharde vanggewassen was N_{\min} niet significant kleiner dan onder braak aangezien deze in het voorjaar geen N meer opnamen. Tevens werd een deel van de eerder opgenomen N tijdens de winter vrijgesteld uit de afgestorven biomassa. Bovendien werden, zeker na klepelen en inwerken van de vanggewassen, grotere hoeveelheden N vrijgesteld uit de niet-winterharde vanggewassen, aangezien deze in het najaar meer N opgenomen hadden dan de winterharde vanggewassen.

Zonder klepelen waren er in januari geen significante verschillen tussen de behandelingen met vanggewassen, maar was N_{\min} op niet-zandige bodems significant groter onder braak dan onder vanggewassen: dit toont aan dat slechts een deel van de extra N_{\min} onder braak reeds was uitgespoeld. Op zandige bodems (Bottelare) was de extra N_{\min} onder braak volledig uitgespoeld aangezien geen significante verschillen werden vastgesteld tussen N_{\min} onder braak en onder vanggewassen.

3.3.3 **BESLUIT**

De resultaten uit de veldproeven waren zeer afhankelijk van de locatie en het zaaitijdstip. Algemeen was de bovengrondse N-opbrengst in het najaar duidelijk het grootst voor gele mosterd, gevolgd door Japanse haver. Italiaans raagrass en het grasklavermengsel vertoonden steeds de kleinste N-opbrengsten. In het voorjaar was de N-opbrengst het grootst voor Italiaans raagrass en Japanse haver, gevolgd door grasklaver en gele mosterd. Het aandeel van de klavercomponent in de drogestofopbrengst van het grasklavermengsel was klein.

Daar waar de vanggewassen zich goed ontwikkelden, waren de verschillen in N-opbrengsten tussen de bemestingstrappen duidelijk zichtbaar. Voor de overeenkomstige N_{\min} -gehalten in de bodem waren in die gevallen

geen grote verschillen waarneembaar. Italiaans raaigras en vooral het grasklavermengsel (Engels raaigras + klaver) ontwikkelden zich trager en bleken daarom minder geschikt voor late zaai. Hun wortels waren niet meer in staat de minerale N uit diepere bodemlagen op te nemen. Het verschil tussen Italiaans raaigras en het grasklavermengsel werd toegeschreven aan de tragere opkomst en jeugdgroei van het Engels raaigras en de klaver. Gele mosterd en in mindere mate Japanse haver zijn niet-winterhard, namen tijdens en na de winter geen N meer op en verloren een deel van de in het najaar opgenomen N. Dit leidde tot verhoogde N_{\min} -gehalten in de bodem in het voorjaar, wat een pluspunt kan zijn op voorwaarde dat deze vrijstelling synchroon verloopt met de opname door het volggewas. Belangrijk is wel dat de basisbemesting van het volggewas dan verminderd wordt.

3.4 STATISTISCHE EVALUATIE VAN HET EFFECT VAN DE BEMESTING

In deel 3.3 werden de resultaten onderzocht op effecten van de verschillende factoren, waarbij voor de verschillende subsets niet altijd eenzelfde statistische test gebruikt werd. Het was niet mogelijk overkoepelende statistisch onderbouwde besluiten te trekken. In dit onderdeel van het rapport werd specifiek gekeken naar het effect van de bemesting en werd de statistiek uniform uitgevoerd, om de centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden.

3.4.1 EFFECT VAN DE BEMESTING OP MINERALE N IN DE BODEM

De resultaten van de minerale N in de bodem (N_{\min}) lieten toe het effect van de bemesting statistisch te evalueren. Aangezien de kans op N-verliezen relevant wordt vanaf de maand oktober, werden in het najaar enkel de N_{\min} -gehalten voor de periode oktober-november statistisch vergeleken. De verschillen tussen de bemestingstrappen waren in januari steeds klein: er had immers reeds nitraatuitspoeling plaatsgevonden (zie deel 3.3.2.2). Pas in het voorjaar ontstonden door mineralisatie opnieuw verschillen. Aangezien deze bij natte en koude weersomstandigheden nog steeds aanleiding konden geven tot grotere N-verliezen (bv. bij afwezigheid van een volgteelt), werden ook voor het voorjaar de N_{\min} -gehalten statistisch vergeleken.

N_{\min} werd per subset paarsgewijs vergeleken a.d.h.v. een gepaarde t-test. In 93% van de gevallen werd een normale verdeling van de 4 herhalingen aangetoond a.d.h.v. een Shapiro-Wilk-test. Op basis daarvan werd aangenomen dat de achterliggende populaties normaal verdeeld waren. De p-waarden van de gepaarde t-testen zijn gebaseerd op individuele vergelijkingen en werden niet gecorrigeerd volgens Bonferroni, aangezien tientallen vergelijkingen gebaseerd op telkens slechts 4 herhalingen werden getest. Het doorvoeren van een correctie zou geresulteerd hebben in zeer zwakke testen. Eenzijdige p-waarden werden significant genoemd indien $p < 0,05$.

Het aantal individueel significante p-waarden werd zichtbaar beïnvloed door de diverse oogsttijdstippen, zaaitijdstippen, bemestingsniveaus, vanggewassen en locaties/proefjaren. Opvallend was dat de N_{\min} -gehalten onder braak in het najaar niet in alle situaties significant verschillend waren (vooral voor het 1^e proefjaar). Aangezien uitspoeling vóór de winter (zeker in het drogere 1^e proefjaar) niet waarschijnlijk was, werd dit toegeschreven aan immobilisatie van N door de graanstoppel.

De verschillen tussen de locaties/proefjaren kunnen beschouwd worden als een steekproef van de praktijksituatie in Vlaanderen, hoewel in acht moet worden genomen dat in het 2^e proefjaar de 2^e zaai later dan gebruikelijk werd ingezaaid op 3 locaties. De individuele resultaten onder vanggewassen werden samengevat over de 8 locaties/2 proefjaren heen. Bij tijdige zaai (vóór 1 september) waren er in het najaar op individuele basis in 88% (1^e zaai) en 79% (2^e zaai) van de gevallen géén significante verschillen in het N_{\min} -gehalte tussen niet-bemeste en met 60 kg N ha⁻¹ bemeste vanggewassen. Bij een bemesting van 120 kg N ha⁻¹ waren er in 83% (1^e zaai) en 58% (2^e zaai) van de gevallen geen significante verschillen. In het voorjaar werden deze cijfers voor de 60N-bemesting respectievelijk

90% en 84% en voor de 120N-bemesting respectievelijk 77% en 58%. Er waren dus duidelijk meer significante verschillen enerzijds door de latere zaai en anderzijds door de hogere bemesting.

Om overkoepelende statistisch onderbouwde besluiten te bekomen over het effect van de bemesting op het N_{\min} -gehalte onder verschillende vanggewassen, werden gepaarde t-testen uitgevoerd over de 8 locaties/2 proefjaren heen, voor het najaar en het voorjaar. Aangezien $n \geq 30$ werd normaliteit van de dataset verondersteld op basis van de centrale limietstelling. De beoordeling van de resulterende p-waarden diende te gebeuren met inachtneming van de Bonferroni-correctie. Om de test voldoende streng te houden werd de Bonferroni-correctie zorgvuldig toegepast. De braakbehandeling werd niet in rekening gebracht, de 60N- en de 120N-bemestingstrap werden apart beoordeeld en er werd onderscheid gemaakt tussen 2 benaderingen: ofwel werden het najaar en het voorjaar apart beoordeeld, ofwel werden beide samen beoordeeld. De Bonferroni-correctie werd toegepast op de significantiedrempel (0,05). Voor een overkoepelende eenzijdige test ($p < 0,05$) werden verschillen door toedoen van deze correctie significant bevonden indien de niet-gecorrigeerde tweezijdige p-waarden $< 0,013$ en $< 0,007$ zijn volgens respectievelijk de eerste en de tweede benadering.

Het effect van de bemesting (60N) op het N_{\min} -gehalte in het najaar was niet significant onder vroeg ingezaaide vanggewassen. Onder laat ingezaaide vanggewassen bleek het effect van de bemesting (60N) op het N_{\min} -gehalte in het najaar steeds significant te zijn. Er dient echter opgemerkt te worden dat hierin ook de locaties opgenomen werden waar de vanggewassen in het 2^e proefjaar na 1 september werden ingezaaid. Indien voor de 2^e zaai die locaties uit de dataset worden geweerd en dus als voorwaarde te stellen dat vanggewassen ingezaaid moeten worden vóór 1 september, werden er in het najaar zowel onder vroege als late vanggewassen géén significante verschillen in het N_{\min} -gehalte gevonden tussen een bemesting met 0 en 60 kg N ha⁻¹. Voor de braakbehandeling was dit wel steeds het geval. In het voorjaar werd voor de braakbehandeling enkel bij hogere bemesting (120N) één significant verschil teruggevonden, wat aantoonde dat de mineralisatie uit de mest in het voorjaar (na uitspoeling) beperkt was. Daarentegen werden voor Japanse haver wel significante verschillen tussen de 0N- en de 60N-trap aangetoond. Deze werden toegeschreven aan verschillen in N_{\min} -vrijstelling uit het bemeste en niet-bemeste afgestorven vanggewas.

De gemiddelde verschillen in het N_{\min} -gehalte tussen bemeste en niet-bemeste behandelingen werden eveneens berekend. Onder vanggewassen bleken voor de 120N-trap zelfs significante verschillen relatief klein t.o.v. de meetfout in de praktijk (± 10 kg N ha⁻¹).

3.4.2 EFFECT VAN DE BEMESTING OP DE C-OPBRENGST

Het effect van de bemesting op de minerale N in de bodem stond centraal in deze studie. De evaluatie in deel 3.4.1 toonde geen significant negatieve effecten voor een bemesting met 60 kg N ha⁻¹. Er konden echter ook geen significant positieve effecten aangetoond worden: bemesting van het vanggewas veroorzaakte geen dusdanig grote extra opname van N_{\min} dat het risico op N-verliezen significant kleiner werd. Een niet-bemest vanggewas ontwikkelde zich op voldoende wijze om de N op te nemen die vrijgesteld werd na de oogst van het wintergraan. Was het dan wel aangewezen een landbouwer toe te staan het vanggewas te bemesten?

Om deze vraag te beantwoorden, diende rekening gehouden te worden met de andere redenen waarom een landbouwer voor een vanggewas kiest. Een vanggewas draagt na inwerken ook bij tot de opbouw van organische C in de bodem. Bemesting van het vanggewas zou kunnen leiden tot een hogere C-opbrengst en dus een hogere bijdrage tot de opbouw van bodemorganische stof. Ook de bemesting zelf brengt een extra hoeveelheid C aan, zeker aangezien in het voorjaar vaak geen dierlijke mest kan worden toegediend op het wintergraan. Andere voordelen van een bemesting die gepaard zouden gaan met een betere ontwikkeling en hogere biomassa van het

vanggewas zijn o.a. een efficiëntere bestrijding van erosie en onkruiden. De betere ontwikkeling van de vanggewassen onder bemesting was ook visueel waarneembaar op de proefvelden.

Om de vraag te beantwoorden diende statistisch nagegaan te worden of de bemesting resulteerde in significant hogere C-opbrengsten. Aangezien vanggewassen in de praktijk ingewerkt worden van november tot april, werden de C-opbrengsten van vanggewassen met en zonder bemesting enkel vergeleken eind november en in het voorjaar. Om overkoepelende statistisch onderbouwde besluiten te bekomen over het effect van de bemesting op de C-opbrengst van de verschillende vanggewassen, werden net als voor N_{\min} gepaarde t-testen uitgevoerd over de 8 locaties/2 proefjaren heen. De verschillen tussen de locaties/proefjaren werden beschouwd als een steekproef van de praktijksituatie in Vlaanderen. De normaliteit van de data werd nagegaan. De beoordeling van de p-waarden gebeurde met inachtneming van de Bonferroni-correctie (cfr. de 2^e benadering in deel 3.4.1).

De overkoepelende statistische analyse toonde aan dat er voor alle vanggewassen een positief effect was van de bemesting op de C-opbrengst eind november. In het voorjaar was dit effect nog steeds aanwezig voor de meeste vroeg ingezaaide vanggewassen, maar niet voor gele mosterd bij een 60N-bemesting. Voor de later gezaaide niet-winterharde vanggewassen was het positief effect van de bemesting op de C-opbrengst in het voorjaar niet significant. Voor niet-winterharde vanggewassen verdween tijdens de winter bij late zaai een groter deel van de extra C-opbrengst dan bij vroege zaai.

De gemiddelde verschillen in de C-opbrengst van bemeste en niet-bemeste vanggewassen werden eveneens berekend. Deze varieerden tussen 26 en 450 kg C ha⁻¹ indien de slecht ontwikkelde (Oostende) en de na 31 augustus ingezaaide vanggewassen werden meegenomen, of tussen 24 en 514 kg C ha⁻¹ indien deze niet werden meegenomen.

3.4.3 BESLUIT

De gemiddelde verschillen in het N_{\min} -gehalte onder de bemeste en niet-bemeste braakbehandelingen waren relatief klein maar in het najaar steeds significant. Onder vanggewassen waren de gemiddelde verschillen meestal klein. Een bemesting van 60 kg N ha⁻¹ veroorzaakte in het najaar onder geen van de vanggewassen een significante toename van het N_{\min} -gehalte. Dit gold zowel voor vroeger als later ingezaaide vanggewassen, op voorwaarde dat de vanggewassen werden ingezaaid voor 1 september. Een bemesting van 120 kg N ha⁻¹ veroorzaakte in het najaar wél een significante toename van het N_{\min} -gehalte onder alle vanggewassen. In het voorjaar werden uitsluitend onder de braakbehandelingen en onder de niet-winterharde vanggewassen (voor 60N enkel voor Japanse haver) significante verschillen aangetroffen.

Gebaseerd op de statistische analyses kon gesteld worden dat een bemesting met 60 kg N ha⁻¹ op de stoppel, gevolgd door vanggewassen ingezaaid voor 1 september, geen extra risico op N-verliezen tijdens de winter met zich meebracht. Deze bemestingsdosis veroorzaakte immers geen toename in het N_{\min} -gehalte van de bodem dankzij een combinatie van een gedeeltelijke immobilisatie door de graanstoppel en een gedeeltelijke opname door de vanggewassen. Bemesting van het vanggewas veroorzaakte evenwel géén dusdanig grote extra opname van N_{\min} dat het risico op N-verliezen kleiner werd. De niet-bemest vanggewassen ontwikkelden zich op voldoende wijze om de N op te nemen die vrijgesteld werd na de oogst van het wintergraan. Wel werd aangetoond dat een beperkte bemesting (60 kg N ha⁻¹) voor alle vanggewassen leidde tot significant grotere bovengrondse C-opbrengsten eind november; voor winterharde vanggewassen gold dit ook in het voorjaar. Dit is positief voor het beperken van de onkruiddruk, het voorkomen van bodemerosie en voor de bodemvruchtbaarheid in het algemeen.

4 MODELSIMULATIES N-DYNAMIEK

4.1 INLEIDING

De centrale onderzoeksvraag binnen dit project is of een aanvullende bemesting op de graanstoppel gevolgd door het inzaaien van vanggewassen al dan niet leidt tot bijkomende N-verliezen. Aangezien het in situ opmeten van N-verliezen door uitspoeling en denitrificatie praktisch niet realiseerbaar was, werden deze ingeschat met behulp van het EU-rotate_N model. In eerste instantie werd een uitgebreide kalibratie van de modelparameters uitgevoerd om de gemeten N-opname en N-mineralisatie zo nauwkeurig mogelijk te simuleren. Op die manier kunnen we aannemen dat ook de gesimuleerde N-verliezen overeenkomen met de N-verliezen die optraden in die specifieke situaties. Nadien konden de projectresultaten via simulaties verder geëxtrapoleerd worden naar omstandigheden (met name weersomstandigheden) die niet tijdens de proeven werden meegenomen.

4.2 KALIBRATIE EN VALIDATIE

Na grondige analyse van de zeer uitgebreide set modelparameters, werd besloten het model stapsgewijs te kalibreren. Hierbij kunnen enkel parameters geschat worden die geen invloed uitoefenen op de modeloutput in alle voorafgaande stappen. Er werden steeds minimale en maximale parameterwaarden gedefinieerd om te voorkomen dat de kalibratie leidde tot parameterwaarden die sterk afweken van de oorspronkelijke modelparameters.

Voor de kalibratie van de parameters werd het softwarepakket PEST aangewend. De kalibratie werd uitgevoerd op 3 locaties met verschillende bodemtexturen (zand, zandleem, leem). Op klei werd geen kalibratie uitgevoerd omwille van de beperkte ontwikkeling van de vanggewassen op het perceel in Oostende.

De verschillende stappen van de kalibratie werden als volgt uitgevoerd:

1. Kalibratie van de mineralisatie van bodemorganische stof op basis van de N_{\min} -metingen voor de niet-bemeste braakbehandelingen uit de incubatieproeven.
2. Kalibratie van de mineralisatie van de graanstoppel op basis van de N_{\min} -metingen voor de niet-bemeste braakbehandeling in het veld.
3. Kalibratie van de mineralisatie van de mengmest op basis van de N_{\min} -metingen voor de bemeste braakbehandelingen in het veld.
4. Kalibratie van de N-opname door de vanggewassen op basis van de N_{\min} -metingen, de bovengrondse N-opbrengst en de drogestofopbrengst voor alle behandelingen met vanggewassen.

Vervolgens werd een validatie uitgevoerd van de verschillende gekalibreerde parametersets om na te gaan of het model bruikbaar is voor soortgelijke simulaties losstaand van de proefpercelen die gebruikt werden voor de kalibratie. Waar mogelijk werd deze validatie uitgevoerd a.d.h.v. de resultaten van proefpercelen uit het andere proefjaar aangezien dan niet enkel de percelen maar ook de weersomstandigheden verschillen.

De accuraatheid van de simulaties werd geëvalueerd op basis van de residuen of de afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten N_{\min} -gehalten en bovengrondse N-opbrengsten. Deze residuen werden vergeleken t.o.v. de overeenkomstige standaard afwijkingen op elk van de metingen. Hoe hoger de verhouding was tussen beide, hoe kleiner de kans is dat de simulatie een goede voorspelling is van de gemeten waarde in het veld. Voor het N_{\min} -gehalte was deze verhouding goed voor de braakbehandelingen en aanvaardbaar voor gele mosterd en Italiaans raaigras. Voor Japanse haver werd gemiddeld een iets grotere waarde aangetroffen, in het algemeen door een overschatting van het gemeten N_{\min} -gehalte. De verhouding was het grootst voor het grasklavermengsel, met

name voor het 1^e zaaitijdstip, eveneens door een overschatting van het gemeten N_{\min} -gehalte. Zowel voor Japanse haver als voor grasklaver was de overschatting groter bij een hogere bemestingsdosis.

Voor de bovengrondse N-opbrengst bleek de accuraatheid van de simulaties erg variabel. Gemiddeld werden de beste resultaten gevonden voor de 2^e zaai van Japanse haver en voor de 1^e zaai van het grasklavermengsel (zonder fixatie). Voor de minder accuraat gesimuleerde bovengrondse N-opbrengsten was er steeds sprake van een overschatting, die toenam naarmate de bemestingsdosis groter was. Aangezien een inaccuraat simulatie van de bovengrondse N-opbrengst niet steeds resulteerde in een inaccuraat simulatie van het N_{\min} -gehalte werd aangenomen dat de verhouding tussen bovengrondse en ondergrondse biomassa in werkelijkheid meer variabel was dan gesimuleerd werd, maar dat de simulatie van de totale N-opname vrij accuraat was.

4.3 MODEL-OUTPUT

Met het gekalibreerde model was het mogelijk voor de verschillende proefvelden de N-verliezen te simuleren en de onderzoeksvraag te beantwoorden.

4.3.1 NITRAATUITSPOELING

In het eerste proefjaar spoelde de grootste hoeveelheid N pas uit vanaf half december, omwille van de vrij droge en warme weersomstandigheden in de herfst. Op de braakbehandelingen was de gesimuleerde uitspoeling steeds positief gecorreleerd met de bemesting. De verschillen tussen de bemestingstrappen op leem en op zand ($\pm 20 \text{ kg N ha}^{-1}$) waren groter dan op zandleem ($< 10 \text{ kg N ha}^{-1}$) hetgeen toegeschreven werd aan een uitgesproken immobilisatie op zandleem.

De aanwezigheid van vroeg ingezaaide vanggewassen zorgde steeds voor een grote afname van de gesimuleerde nitraatuitspoeling en de verschillen tussen de bemestingsniveaus waren zeer klein. Enkel voor het grasklavermengsel, waarvoor de uitspoeling het grootst was, bleek een bemesting met 60 of 120 kg N ha^{-1} te leiden tot een geringe afname van de uitspoeling.

Voor de laat ingezaaide vanggewassen was er een opvallende stijging van de gesimuleerde nitraatuitspoeling onder het grasklavermengsel op leem en zandleem en onder Japanse haver op zand. Onder grasklaver zorgde een bemesting met 60 en 120 kg N ha^{-1} voor respectievelijk een daling en een stijging van de uitspoeling. Onder Japanse haver op zand werd telkens een stijging gesimuleerd. Voor Italiaans raaigras en gele mosterd werden slechts kleine veranderingen in uitspoeling gesimuleerd t.o.v. de vroege zaai.

In het najaar van het tweede proefjaar waren de weersomstandigheden natter en kouder en startte de uitspoeling reeds in de tweede helft van oktober. De gesimuleerde uitspoeling op de braakbehandelingen was net als in het eerste proefjaar positief gecorreleerd met de bemesting. De verschillen tussen de bemestingstrappen op zand (35 – 40 kg N ha^{-1}) waren groter dan op leem (11 kg N ha^{-1}) hetgeen verklaard werd door grote verschillen in het N_{\min} -gehalte op leem in het voorjaar.

Net als in het eerste proefjaar lag bij vroege zaai de gesimuleerde uitspoeling wat hoger onder het grasklavermengsel dan onder de andere vanggewassen. Bij bemesting van het grasklavermengsel werd geen verschil vastgesteld in uitspoeling tussen de 0N- en de 60N-bemestingstrap, maar voor de 120N-bemestingstrap werd een lichte stijging gesimuleerd. Onder de andere vanggewassen werden geen verschillen gesimuleerd in uitspoeling tussen de bemestingstrappen.

Bij vanggewassen ingezaaid in de tweede helft van augustus was er met name onder het grasklavermengsel en de Japanse haver een stijging in de uitspoeling. Onder deze vanggewassen werd ook een duidelijke toename

gesimuleerd van de uitspoeling bij bemesting, zowel voor de 60N- als voor de 120N-trap. Onder Italiaans raaigras en gele mosterd was het verschil in uitspoeling t.o.v. de vroeg ingezaaide vanggewassen kleiner en veroorzaakte een bemesting met 60 kg N ha⁻¹ ofwel een beperkte afname ofwel een beperkte toename van de uitspoeling. Bij een bemesting met 120 kg N ha⁻¹ werd in de meeste gevallen een toename van de uitspoeling gesimuleerd.

Bij vanggewassen ingezaaid in de eerste helft van september werd het verschil in uitspoeling met de braakbehandeling kleiner en was er nagenoeg altijd een toename van de uitspoeling bij bemesting. De uitspoeling lag het laagst onder gele mosterd, gevolgd door Italiaans raaigras, Japanse haver en grasklaver.

4.3.2 GASVORMIGE VERLIEZEN

De verliezen onder de vorm van NH₃, N₂ en N₂O worden door het EU-rotate_N-model als één output weergegeven. De gasvormige verliezen waren in het algemeen klein (< 7 kg N ha⁻¹) en zelfs verwaarloosbaar op percelen met een zandige textuur. Bij toenemende bemesting namen de gasvormige verliezen enigszins toe, zowel op de braakbehandelingen als onder vanggewassen. Een groot deel hiervan kwam vrij kort na toedienen van de bemesting. Tussen de overeenkomstige behandelingen met en zonder vanggewassen waren de verliezen vergelijkbaar of kleiner onder vanggewassen.

4.4 SCENARIOANALYSES

4.4.1 INVLOED VAN DE WEERSOMSTANDIGHEDEN

Om de invloed van verschillende weersomstandigheden te simuleren werden scenarioanalyses uitgevoerd met de parameterset van Merelbeke (zand) en Sint-Denijs (leem) aangezien deze gemiddeld de beste resultaten gaven. Voor Lemberge (zandleem) werden het N_{min}-gehalte en de bovengrondse N-opbrengst zeer accuraat gesimuleerd, maar er werd besloten geen scenarioanalyses uit te voeren naar aanleiding van de onrealistische cijfers in de modeloutput voor de mineralisatie van bodemorganische stof.

Alle behandelingen met uitzondering van de 120N-bemestingstrap werden meegenomen. Voor het grasklavermengsel werd geen N-fixatie gesimuleerd. De inzaai van de vanggewassen werd steeds gesimuleerd op 1 en op 31 augustus. Het N_{min}-gehalte op 31 juli was zoals gemeten op beide proefpercelen (32,7 en 74,5 kg N ha⁻¹ voor respectievelijk Sint-Denijs en Merelbeke), maar het initieel vochtgehalte werd gelijk gesteld aan het vochtgehalte bij veldcapaciteit. Ook de samenstelling van de mest en de stoppel werd behouden zoals die werd bepaald voor de proefpercelen, hoewel de toegediende hoeveelheid mest werd aangepast om exact 60 kg N ha⁻¹ te bekomen. In tegenstelling tot de proef, waar voor beide zaaitijdstippen de bemesting werd uitgevoerd voorafgaand aan het 1^e zaaitijdstip, werd de stoppel in deze scenarioanalyses ook voor het 2^e zaaitijdstip ingewerkt en bemest daags voor inzaai, aangezien dit meer aansluit bij de praktijksituatie.

Bij het KMI werden dagelijkse weersgegevens opgevraagd voor Ukkel voor 10 jaren. Deze 10 jaren werden geselecteerd op basis van de neerslag en de gemiddelde temperatuur in de herfst, waarbij getracht werd een zo groot mogelijke variatie te bekomen, met inbegrip van extreme weersomstandigheden.

Algemeen werden in deze meerjarige scenarioanalyses zowel op zand als op leem bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen in de gewogen gemiddelde nitraatconcentraties vastgesteld tussen alle bemeste (60 kg N ha⁻¹) en niet-bemeste vanggewassen. Bij late zaai werd er in nattere en/of koudere jaren wel een relatief grote toename van de nitraatconcentratie gesimuleerd bij bemesting, zij het enkel onder Japanse haver en het grasklavermengsel.

4.4.2 INVLOED VAN HET N_{MIN}-GEHALTE BIJ OOGST

Op basis van de weersgegevens voor de herfst en de resultaten van de modeloutput voor de meerjarige scenario-analyses werden voor leem en zand een worst-case scenario en een relatief normaal scenario geselecteerd. Om de invloed van het N_{min}-gehalte bij oogst op de gewogen gemiddelde nitraatconcentraties na te gaan, werden telkens 3 simulaties uitgevoerd waarbij het N_{min}-gehalte bij oogst laag, gemiddeld en hoog was. Het gemiddelde N_{min}-gehalte bij oogst werd berekend op basis van de metingen op alle proefpercelen en voor de extremen werd tweemaal de standaardafwijking opgeteld of afgetrokken van het gemiddelde. In elk van de 3 scenario's werd de gemiddelde procentuele verdeling over de 3 bodemlagen aangehouden.

Op de braakbehandelingen waren de gesimuleerde gewogen gemiddelde nitraatconcentraties duidelijk hoger met een toenemend N_{min}-gehalte bij oogst. Onder vroeg ingezaaide vanggewassen was dit effect enkel uitgesproken onder het grasklavermengsel en in minder mate ook onder het Italiaans raaigras, zij het enkel in het worst-case scenario. Het effect van de bemesting was bij vroege inzaai weinig afhankelijk van het initieel N_{min}-gehalte. Bij late inzaai namen de gesimuleerde nitraatconcentraties toe met een toenemend initieel N_{min}-gehalte onder alle vanggewassen. Het effect van de bemesting op de nitraatconcentratie werd bij late inzaai duidelijker met een toenemend initieel N_{min}-gehalte.

4.4.3 EVALUATIE VAN DE GLOBALE BEMESTINGSNORMEN VOOR WINTERGRANEN MET NATEELTEN

Bij het gebruik van vanggewassen staat MAPIV een najaarsbemesting enkel toe als de globale bemestingsnorm gerespecteerd wordt. Dit houdt in dat de landbouwer de bemesting op het wintergraan met eenzelfde hoeveelheid (werkzame) N dient te verminderen. Uit de literatuur bleek echter dat het weinig waarschijnlijk is dat deze aangepaste bemesting op het wintergraan zou leiden tot een lager N_{min}-gehalte bij oogst. Deze beoordeling maakte verdere simulaties irrelevant.

4.5 BESLUIT

Het EU-rotate_N model vertoonde na kalibratie en validatie accurate simulaties voor het N_{min}-gehalte onder braak, onder gele mosterd en onder Italiaans raaigras. Onder Japanse haver en het grasklavermengsel werd het N_{min}-gehalte algemeen overschat en was de overschatting groter bij een hogere bemestingsdosis. De accuraatheid van de simulaties van de bovengrondse N-opbrengst bleek erg variabel, hetgeen werd toegeschreven aan niet-gesimuleerde schommelingen in de verhouding tussen de bovengrondse en ondergrondse biomassa.

De gesimuleerde gemiddelde nitraatconcentraties vertoonden bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen tussen bemeste (60 kg N ha⁻¹) en niet-bemeste vanggewassen. Bij late zaai werd er in nattere en/of koudere jaren wel een relatief grote toename van de nitraatconcentratie gesimuleerd bij bemesting, zij het enkel onder Japanse haver en het grasklavermengsel, waarvoor een overschatting van de nitraatconcentratie door de simulaties echter niet kon worden uitgesloten. De gesimuleerde gasvormige N-verliezen waren algemeen klein (< 7 kg N ha⁻¹) en er werden slechts beperkte verschillen gevonden tussen de bemeste en niet-bemeste behandelingen.

5 INCUBATIEPROEVEN

5.1 DOELSTELLING

Vanggewassen spelen niet enkel een rol in het reduceren van de N-verliezen tijdens het najaar en in de winter, maar dragen ook bij tot een goede bodemvruchtbaarheid in het groeiseizoen van de volgteelt. Eenmaal het vanggewas is ingewerkt, zal de mineralisatie ervan starten van zodra de weersomstandigheden dit toelaten.

De vrijstelling van minerale N uit het vanggewas is een pluspunt indien de volgteelt deze onmiddellijk kan opnemen. Dit zorgt er immers voor dat de volgteelt minder bemest moet worden, hetgeen een financieel voordeel is voor de landbouwer. Indien de volgteelt echter lang na het inwerken van het vanggewas wordt ingezaaid en de vrijgestelde minerale N niet of niet volledig opgenomen kan worden, creëert dit een risico op uitspoeling of denitrificatie in het voorjaar.

Het inwerken van het vanggewas draagt ook bij tot de opbouw van min of meer stabiele bodemorganische stof. De handhaving van het organisch stofgehalte is cruciaal voor de toekomstige productiviteit van de Vlaamse landbouwbodems. Het is dus belangrijk het effectief organische koolstofgehalte van de vanggewassen te kennen, o.a. voor implementatie in lange termijn simulatiemodellen voor bodemorganische stof (zoals bv. in het huidige Vlaams-Nederlandse Demeter-project).

De mineralisatie van het vanggewas beïnvloedt ook de hoeveelheid en samenstelling van de microbiële biomassa, hetgeen de ontwikkeling van de volgteelt kan beïnvloeden.

Om de mineralisatie van het ingewerkte vanggewas op te volgen, werden incubatieproeven uitgevoerd waarin zowel de N-mineralisatie als de C-mineralisatie werden opgevolgd. De resultaten van deze experimenten werden eveneens aangewend in de kalibratie van het EU-rotate_N-model (zie deel 4). Om het effect van de verschillende vanggewassen op de microbiële biomassa te beoordelen, werden tijdens het uitvoeren van de incubatieproeven een aantal biologische bodemkwaliteitsparameters bepaald.

5.2 N-MINERALISATIE

5.2.1 WERKWIJZE

In de winter werd in Lemberge (zandleem) en Rukkelingen-Loon (zwaar leem) de bouwvoor bemonsterd voor de behandelingen BR0, BR60, BR120, GM0, GM60, GM120, IR0, JH0 en GK0, telkens op 4 herhalingen in het veld. Vanggewassen voor de 0N-bemestingstrap van het 1^e zaaitijdstip werden geoogst op 4 herhalingen in Lemberge en vers ingewerkt in de bodems overeenkomstig de opbrengsten in het veld. Voor BR0, BR60, BR120 en GM0, GM60 en GM120 werden enkel de bodems - zonder inwerken van de vanggewassen – meegenomen in de incubatieproef. Alle bodems werden bij een constant vochtgehalte van 50% met water gevuld poriënvolume gedurende 3 maanden geïncubeerd, bij een temperatuur van 15°C en een relatieve luchtvochtigheid van 70%. Het experiment werd uitgevoerd in 3 herhalingen. Het N_{\min} -gehalte (NO_2 -N, NO_3 -N en NH_4 -N) werd op 7 tijdstippen bepaald met behulp van een continuous flow analyzer.

5.2.2 RESULTATEN

5.2.2.1 EFFECT VAN DE BEMESTING ONDER BRAAK EN ONDER GELE MOSTERD

Voorafgaand aan de incubatie werden slechts kleine verschillen in het N_{\min} -gehalte gemeten tussen de bemestingstrappen. Voor de leembodem waren deze iets meer uitgesproken positief gecorreleerd met het bemestingsniveau dan voor de zandleembodem. Incubatie van deze bodems - zonder ingewerkte vanggewassen - resulteerde voor elke situatie in een systematische stijging van het N_{\min} -gehalte. Onder braak was voor beide locaties op het eind van de incubatie een significant effect van de bemesting waarneembaar. Onder gele mosterd was dat niet het geval. Het effect van de bemesting op de mineralisatie uit de bodem in de winter werd dus geneutraliseerd door de aanwezigheid van het vanggewas in het najaar. Zowel onder braak als onder gele mosterd was op het einde van de incubatie ook een significant effect van de bodemtextuur/locatie waarneembaar: de mineralisatie was telkens kleiner voor de leembodem dan voor de zandleembodem.

5.2.2.2 N-MINERALISATIE UIT DE INGEWERKTE VANGGEWASSEN

Aangezien slechts kleine, niet-significante verschillen werden gevonden in het N_{\min} -gehalte voor overeenkomstige behandelingen onder braak en onder gele mosterd, kon de netto vrijstelling van de ingewerkte N voor elk bemonsteringstijdstip berekend worden.

Er werd op beide locaties een gelijklopend significant effect van het type vanggewas gevonden: Japanse haver had een sterk immobiliserend effect en vertoonde op het eind van de incubatie significant het laagste percentage gemineraliseerde N. Het grasklavermengsel vertoonde geen immobilisatie en stelde de grootste relatieve hoeveelheden N vrij. De vrijstelling uit Italiaans raaigras verliep gelijkaardig aan die van het grasklavermengsel. De gele mosterd immobiliseerde initieel stikstof, maar stelde nadien N vrij. De netto vrijgestelde N vertoonde een sterk negatief lineair verband met de C:N-verhouding van de vanggewassen.

Net als onder braak en onder gele mosterd was op het eind van de incubatie een significant effect van de bodemtextuur/locatie waarneembaar: de netto N-vrijstelling was telkens significant kleiner voor de leembodem dan voor de zandleembodem. Daarnaast hield het immobiliserende effect van gele mosterd en Japanse haver langer aan voor de leembodem.

5.2.3 RICHTCIJFERS VOOR N-NALEVERING UIT VANGGEWASSEN

Door combinatie van gemiddelde bovengrondse N-opbrengsten en het verloop van de N-mineralisatie kon berekend worden hoeveel van de totale N-opbrengst beschikbaar wordt voor opname door het volggewas. Bij de bemesting van het volggewas dient dit immers in rekening gebracht te worden. Bij inwerken in het voorjaar stellen niet-winterharde vanggewassen (al dan niet bemest met 60 kg N ha^{-1}) ongeveer 10 kg N ha^{-1} vrij tijdens het groeiseizoen van de volgteelt. Winterharde vanggewassen stellen 20 (niet-bemest) tot 30 kg N ha^{-1} (bemest met 60 kg N ha^{-1}) vrij. Bij inwerken van vanggewassen in het najaar is het belangrijk de voorbije winter te beoordelen om na te gaan of de N-nalevering al dan niet in rekening gebracht dient te worden: tijdens een warme en natte winter zal de N grotendeels vrijgesteld worden en uitspoelen. Enkel na een koude en/of droge winter kan de volledige nalevering in rekening gebracht worden.

5.3 C-MINERALISATIE

5.3.1 WERKWIJZE

In de winter werd in Lemberge (zandleem) en Rukkelingen-Loon (zwaar leem) de bouwvoor bemonsterd voor de behandelingen BR0, GM0, IR0, JH0 en GK0, telkens op 4 herhalingen in het veld. Vanggewassen voor de ON-bemestingstrap van het 1^e zaaitijdstip werden geoogst op 4 herhalingen in Lemberge en vers ingewerkt in de bodems overeenkomstig de opbrengsten in het veld. Voor de braakbehandeling (BR0) werd enkel de bodem - zonder inwerken van de vanggewassen – meegenomen in de incubatieproef. Het experiment werd uitgevoerd in 3 herhalingen. Alle bodems werden gedurende 3 maanden bij een constant vochtgehalte van 50% met water gevuld poriënvolume geïncubeerd, bij een temperatuur van 15°C . Voor Japanse haver (JH0) werd de incubatieduur verlengd tot 6 maanden. De bodems werden in luchtdicht afgesloten potten bewaard, samen met een gekende hoeveelheid NaOH in oplossing; de geproduceerde hoeveelheid CO_2 werd bepaald door terugtitratie van de NaOH-oplossing. De netto C-vrijstelling uit de bovengrondse biomassa van vanggewassen werd vervolgens berekend door het verschil in hoeveelheid vrijgekomen CO_2 tussen overeenkomstige behandeling met en zonder ingewerkt vanggewas te delen door de totale hoeveelheid C die ingewerkt werd.

5.3.2 RESULTATEN

De netto C-vrijstelling uit de vanggewassen vertoonde een sterk negatief lineair verband met de C:N-verhouding. Grasklaver mineraliseerde het snelst, gevolgd door respectievelijk Italiaans raaigras, gele mosterd en Japanse

haver. De mineralisatie van de verschillende vanggewassen was voor beide bodems zeer gelijkaardig maar verliep, met uitzondering van die van gele mosterd, steeds iets sneller op zandleem dan op leem. Drie maanden na opstart van de incubatie was de mineralisatie van de meeste vanggewassen min of meer gestabiliseerd, maar voor Japanse haver diende de mineralisatie nog 3 maanden langer opgevolgd te worden.

5.3.3 EFFECTIEF ORGANISCHE KOOLSTOF

De mineralisatie van organisch materiaal werd gesimuleerd a.d.h.v. een M10-model (Sleutel et al., 2005). Met behulp van deze mineralisatiecurves was het mogelijk de opbouw van organische stof in de bodem te bepalen. Aangezien de incubatieproef uitgevoerd werd bij een constante temperatuur (15°C), werden de mineralisatiecurves aangepast aan de klimatologische maandelijkse gemiddelden (Rey et al., 2008). Zo kon 1 jaar na inwerken de totale resterende hoeveelheid koolstof, of de effectieve organische koolstof (EOC), berekend worden voor de verschillende vanggewassen. De verhouding van de EOC en de totale hoeveelheid organische koolstof is de humificatiecoëfficiënt van een vanggewas. De humificatiecoëfficiënt was het grootst voor Japanse haver en het kleinst voor gele mosterd. De humificatiecoëfficiënten waren bij inwerken in een lichtere bodem (Lemberge) steeds lager dan in een zwaardere bodem (Rukkelingen-Loon). Er werden slechts zwakke positieve lineaire verbanden gevonden tussen de humificatiecoëfficiënt en de C:N-verhouding van de vanggewassen.

De humificatiecoëfficiënten en de verschillen in bovengrondse C-opbrengsten tussen bemeste en niet-bemeste vanggewassen (deel 3.4.2) maakten het mogelijk de verschillen in EOC uit de bovengrondse biomassa te berekenen. Van alle vroeg ingezaaide vanggewassen had Japanse haver steeds significant de grootste EOC-opbrengst en het grasklavermengsel steeds de kleinste. De verschillen in EOC tussen bemeste (60 kg N ha⁻¹) en niet-bemeste vroeg ingezaaide vanggewassen waren relatief klein (41-224 kg EOC ha⁻¹). Japanse haver vertoonde zowel in het najaar als in het voorjaar de grootste toename in EOC door toedoen van de bemesting. De verschillen in EOC namen voor de niet-winterharde vanggewassen wel beduidend af tijdens de winter.

Tot slot werd onderstreept dat de cijfers voor EOC enkel van toepassing waren op de bovengrondse biomassa en dat de bijdrage van de ondergrondse biomassa zeker niet te verwaarlozen is. Eigen aanvullend onderzoek en de literatuurstudie toonden immers aan dat 10 tot 75% van de totale biomassa bij vanggewassen ondergronds kan zijn. De variabiliteit was groot en was voornamelijk afhankelijk van het soort vanggewas en de datum.

5.4 BIOLOGISCHE BODEMKWALITEIT

5.4.1 INLEIDING

De aanwezigheid en het inwerken van vanggewassen kan een effect hebben op de biologische bodemkwaliteit. Om dit effect te kwantificeren werden bodemmonsters gebruikt uit de incubatieproef ter bepaling van de N-mineralisatie uit ingewerkte vanggewassen (deel 5.2). Op deze bodemmonsters werden de microbiële biomassa, de samenstelling en concentratie aan microbiële fosfolipide vetzuren (PLFA) en de activiteit van de enzymen dehydrogenase en β -glucosaminidase bepaald. Het merendeel van de testen werd uitgevoerd op 3 tijdstippen: net vóór het moment van inwerken en vervolgens na 4 weken en na 14 weken incubatie. De bodem was afkomstig van de veldproef te Lemberge (zandleem) en werd bemonsterd begin januari. Telkens werden niet-bemeste bodemmonsters genomen voor de braak (BR0) en voor de 4 vanggewassen van het 1^e zaaitijdstip (0N). Voor gele mosterd werd een bodemmonster opgevolgd mét en zonder inwerken van het vanggewas. Voor de andere vanggewassen werd enkel een bodemmonster opgevolgd met ingewerkt vanggewas.

5.4.2 RESULTATEN

De biologische bodemkwaliteitsparameters vertoonden op geen enkel tijdstip significante verschillen tussen een bodem onder braak en de bodem afkomstig van de veldjes met gele mosterd zónder ingewerkt vanggewas. Het

inwerken van vanggewassen veroorzaakte daarentegen significante effecten op de biologische bodemkwaliteit een maand na incubatie, maar was ook afhankelijk van het soort vanggewas. De effecten van ingewerkte gele mosterd waren duidelijk kleiner, terwijl die voor Japanse haver groter waren en langer aanhielden (tot 14 weken). Algemeen nam bij het inwerken van een vanggewas de microbiële biomassa en de enzymactiviteit toe en was die toename proportioneel groter voor de schimmels dan voor de bacteriën. De effecten waren meestal van korte duur.

6 MODELSIMULATIES C-DYNAMIEK

Het gebruik van vanggewassen in een rotatie kan op lange termijn leiden tot een verhoogd organisch koolstofgehalte (OC) van de bodem. Om dit lange termijneffect te bepalen, werden simulaties uitgevoerd over een periode van 30 jaar. De simulaties werden uitgevoerd door op zandleem een 4-jarige rotatie te simuleren waarin tweemaal een vanggewas wordt ingezaaid na wintergerst. De gemiddelde C-opbrengsten van bovengrondse en ondergrondse delen van de vanggewassen uit de veldproeven werden gebruikt in deze simulaties.

De simulaties met vanggewassen in de rotatie leidden na 30 jaar tot een verhoogd OC-gehalte van de bodem t.o.v. diezelfde rotatie zonder vanggewassen. De toename was het grootst voor de simulatie met Japanse haver. Het gesimuleerd OC-gehalte was hoger bij bemesting van de vanggewassen als gevolg van de C-input uit de organische mest enerzijds en de extra C-input door de hogere C-opbrengst van het vanggewas anderzijds.

7 ALGEMENE BESLUITEN

7.1 REPRESENTATIVITEIT PROEFOPZET

- Vanggewassen werden ingezaaid na de oogst van diverse wintergranen op 8 proefveldlocaties over 2 proefjaren (2011-2013), die samen een representatieve steekproef vormden voor de Vlaamse landbouwbodems waarop wintergranen worden geteeld.

7.2 MINERALE BODEMSTIKSTOF

- Bij tijdige zaai (voor 1 september) en ingezaaid bij goede omstandigheden ontwikkelden zowel de niet-bemeste als de bemeste vanggewassen zich goed, namen in het najaar N_{\min} op uit de bodem en reduceerden zo de kans op N-verliezen tijdens de winterperiode.
- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het najaar (oktober-november) geen significante gemiddelde verschillen ($< 5 \text{ kg N ha}^{-1}$) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 60 kg N ha^{-1} werd toegediend onder de vorm van varkensmest. Voor de overeenkomstige braakbehandelingen werden wel significante verschillen gevonden.
- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het voorjaar (februari-april) kleine maar niet-significante gemiddelde verschillen ($\leq 10 \text{ kg N ha}^{-1}$) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 60 kg N ha^{-1} werd toegediend onder de vorm van varkensmest. Enkel voor Japanse haver waren deze verschillen wel significant.
- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het najaar (oktober-november) significante gemiddelde verschillen ($8\text{-}21 \text{ kg N ha}^{-1}$) aangetoond tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen

waarop 120 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmest. Voor de overeenkomstige braakbehandelingen waren de verschillen groter en eveneens significant.

- Voor vanggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het voorjaar (februari-april) kleine tot iets grotere, maar niet-significante gemiddelde verschillen (1-26 kg N ha⁻¹) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 120 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmest. Enkel voor later gezaaide (eind augustus) gele mosterd en Japanse haver waren deze verschillen wel significant.
- Indien vanggewassen werden ingezaaid na 1 september leidde ook een bemesting met 60 kg N ha⁻¹ tot significante verschillen in het najaar.
- Niet-winterharde vanggewassen sterven af tijdens de winter en mineraliseren deels in het voorjaar. Bemeste en/of laat ingezaaide vanggewassen stellen daarbij meer N_{min} vrij dan niet-bemeste en/of vroeg ingezaaide vanggewassen.

7.3 GESIMULEERDE N-VERLIEZEN

- Simulaties voor 6 van de 8 proefpercelen en onder diverse weersomstandigheden op zand en leem toonden aan dat de nitraatuitspoeling onder vanggewassen steeds kleiner was dan onder braak. Het grasklavermengsel bleek het minst efficiënt in het tegengaan van de nitraatuitspoeling. Algemeen waren vanggewassen iets efficiënter op zwaardere bodemtexturen en bij lagere initiële N_{min}-gehalten.
- De gesimuleerde gemiddelde nitraatconcentraties op 90 cm vertoonden bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen tussen bemeste (60 kg N ha⁻¹) en niet-bemeste vanggewassen. Bij late zaai werd er in nattere en/of koudere jaren wel een relatief grote toename van de nitraatconcentratie gesimuleerd bij bemesting van Japanse haver en het grasklavermengsel, waarvoor een overschatting van de nitraatconcentratie door de simulaties echter niet kon worden uitgesloten.
- De gesimuleerde gasvormige N-verliezen waren steeds kleiner dan 7 kg N ha⁻¹ en zelfs verwaarloosbaar op percelen met een zandige textuur. Bij toenemende bemesting namen de gasvormige verliezen enigszins toe, zowel op de braakbehandelingen als onder vanggewassen. Een groot deel hiervan kwam vrij kort na toedienen van de bemesting. Tussen de overeenkomstige behandelingen met en zonder vanggewassen waren de verliezen vergelijkbaar of kleiner onder vanggewassen.

7.4 N-VRIJSTELLING UIT INGEWERKTE VANGGEWASSEN

- De vrijstelling van minerale N uit ingewerkte bovengrondse delen van vanggewassen bleek in een mineralisatieproef erg afhankelijk van de C:N-verhouding. Niet-winterharde vanggewassen hadden een immobiliserend effect en worden daarom best 4 tot 6 weken voor inzaai van het volggewas ingewerkt. Winterharde vanggewassen stelden sneller minerale N vrij en zouden dus iets korter voor inzaai van het volggewas ingewerkt kunnen worden.
- De bemesting van het volggewas dient de vrijstelling uit het vanggewas in rekening te brengen. Bij inwerken in het voorjaar stellen niet-winterharde vanggewassen (al dan niet bemest met 60 kg N ha⁻¹) ongeveer 10 kg N ha⁻¹ vrij tijdens het groeiseizoen van de volgteelt. Winterharde vanggewassen stellen 20 (niet-bemest) tot 30 kg N ha⁻¹ (bemest met 60 kg N ha⁻¹) vrij. Bij inwerken van vanggewassen in het najaar is het belangrijk de voorbije winter te beoordelen om na te gaan of de N-nalevering al dan niet in rekening

gebracht dient te worden: tijdens een warme en natte winter zal de N grotendeels vrijgesteld worden en uitspoelen. Enkel na een koude en/of droge winter kan de volledige nalevering in rekening gebracht worden.

- Het klepelen van vanggewassen voorafgaand aan inwerken in de herfst of de winter verhoogde het risico op N-verliezen en dient vermeden te worden.

7.5 ORGANISCHE STOFOPBOUW EN BIOLOGISCHE BODEMKWALITEIT

- De bovengrondse delen van vanggewassen dragen na inwerken bij tot de opbouw van bodemorganische stof. In een incubatieproef was de humificatiecoëfficiënt het grootst voor Japanse haver (48-56%) en het kleinst voor gele mosterd (26-33%). De humificatiecoëfficiënten waren steeds iets hoger op leem dan op zandleem.
- Voor vroeg ingezaaide vanggewassen op zware bodems werden eind november gemiddelde bovengrondse EOC-opbrengsten gevonden tussen 77 en 512 kg ha⁻¹ (niet-bemest) en tussen 129 en 736 kg ha⁻¹ (bemest met 60 kg N ha⁻¹). Op lichte bodems werden in het voorjaar gemiddelde bovengrondse EOC-opbrengsten gevonden tussen 132 en 572 kg ha⁻¹ voor niet-bemeste vanggewassen en tussen 210 en 718 kg ha⁻¹ voor bemeste (60 kg N ha⁻¹) vanggewassen. De bovengrondse EOC-opbrengst was telkens het hoogst voor Japanse haver en het laagst voor het grasklavermengsel.
- Een bemesting (60 en 120 kg N ha⁻¹) van het vanggewas verhoogde de bovengrondse C-opbrengst en EOC-opbrengst significant voor alle vanggewassen in het najaar en voor de winterharde vanggewassen ook in het voorjaar. Het effect van de bemesting (60 kg N ha⁻¹) op de bovengrondse EOC-opbrengst was relatief klein (41 tot 224 kg EOC ha⁻¹) ten opzichte van het effect van het soort vanggewas. Van alle vanggewassen vertoonde Japanse haver de grootste absolute toename in EOC door toedoen van de bemesting.
- Simulaties van een 4-jarige rotatie waarin tweemaal een vanggewas wordt ingezaaid na wintergerst, leidden na 30 jaar tot een verhoogd OC-gehalte van de bodem t.o.v. diezelfde rotatie zonder vanggewassen. De toename was het grootst voor de simulatie met vroeg gezaaide Japanse haver. Het gesimuleerd OC-gehalte was hoger bij bemesting van de vanggewassen als gevolg van de C-aanvoer uit de organische mest enerzijds en de hogere C-opbrengst van het vanggewas anderzijds.
- Kort na het inwerken van de vanggewassen namen de microbiële biomassa en enzymactiviteit toe en was die toename proportioneel groter voor de schimmels dan voor de bacteriën. De effecten waren het grootst en hielden het langst aan (tot 14 weken) voor Japanse haver.

7.6 KEUZE VAN HET VANGGEWAS

- Vanggewassen waarvan bekend is dat de groei sterk geremd wordt door lagere temperaturen, worden beter niet bemest bij inzaai na midden augustus. Een dergelijke groeibeperking bij lagere temperaturen werd gesimuleerd voor Japanse haver en voor het grasklavermengsel.
- Indien vanggewassen al tijdens het najaar worden ingewerkt (vaak op zware bodems), is het aangeraden niet-winterharde vanggewassen in te zaaien: ze nemen op een korte periode sneller N op en stellen na inwerken minder snel minerale N vrij.

- Bij een laat volgewas (zoals maïs) in situaties waar vanggewassen in het voorjaar worden ingewerkt, is het aangeraden winterharde vanggewassen in te zaaien om N-verliezen in het voorjaar te voorkomen.
- Indien het van belang is dat het vanggewas ook bijdraagt tot de opbouw van bodemorganische stof, is Japanse haver het meest aangewezen vanggewas.
- Alle vanggewassen dienen ingezaaid te worden bij gunstige omstandigheden. Indien dit niet kan worden gegarandeerd door de landbouwer (eventueel door herinzaai na storm of irrigatie bij droogte) kan een bemesting van het vanggewas niet in overweging genomen worden.
- De keuze van het vanggewas kan eveneens beïnvloed worden door diverse andere factoren: vanggewassen kunnen een voorname rol spelen in de bestrijding van bodemerosie, in de onderdrukking van onkruiden en in de controle van nematoden. Sommige vanggewassen kunnen eveneens dienen als veevoer.