



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

Refereren naar dit rapport:

De Waele, J., De Vliegheer, A., Vandecasteele, B., Odeurs, W., Elsen, A., Haesaert, G., Derycke, V., Verlinden, G., Bries, J., Wittouck, D., De Neve, S. (2014). Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/ vanggewassen. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. 164 p.

Inhoudsopgave

Korte Nederlandstalige samenvatting	1
Uitgebreide Nederlandstalige samenvatting	4
Short English summary	23
Extensive English summary	26
1 Inleiding.....	43
2 Duiding bij tekst en figuren	45
3 Veldproeven	47
3.1 Proefopzet.....	47
3.1.1 Locaties veldproeven.....	47
3.1.2 Proefopzet.....	47
3.2 Bodemeigenschappen.....	50
3.2.1 Textuur, pH, organische koolstof en calciumcarbonaat.....	50
3.2.2 Bodemdichtheid	51
3.3 Toegediende bemesting.....	52
3.3.1 Werkwijze	52
3.3.2 Resultaten.....	52
3.4 Weersomstandigheden.....	53
3.4.1 Weersomstandigheden 1 ^e proefjaar	53
3.4.2 Weersomstandigheden 2 ^e proefjaar	55
3.5 Opvolging van de vanggewassen	56
3.5.1 Werkwijze	56
3.5.2 Resultaten bovengrondse stikstofopbrengst	58
3.5.3 Resultaten bovengrondse koolstofopbrengst	62
3.6 Opvolging van de minerale bodemstikstof.....	66
3.6.1 Inleiding	66
3.6.2 Werkwijze	66

3.6.3	Resultaten minerale bodemstikstof	67
3.7	Statistische evaluatie van het effect van de bemesting.....	74
3.7.1	Effect van de bemesting op minerale N in de bodem en N-opname.....	74
3.7.2	Effect van de bemesting op de C-opbrengst	85
3.7.3	Gecombineerde evaluatie van de effecten van de bemesting.....	89
3.8	Besluit	90
4	Modelsimulaties N-dynamiek.....	92
4.1	Inleiding	92
4.2	Het EU-rotate_N model	92
4.3	Initiële simulaties.....	93
4.4	Kalibratie en validatie EU-rotate_N model	93
4.4.1	Kalibratie op zandleem	94
4.4.2	Kalibratie en validatie op leem.....	106
4.4.3	Validatie van de opnameparameters (leem).....	108
4.4.4	Kalibratie en validatie op zand	109
4.4.5	Validatie van de opnameparameters (zand)	110
4.5	Globale validatie.....	110
4.5.1	Inleiding	110
4.5.2	Globale validatie op zand.....	111
4.5.3	Globale validatie op leem	112
4.5.4	Globale validatie op lemig zand en licht zandleem	113
4.6	Algemene evaluatie van de kalibraties en validaties op basis van de residuen.....	114
4.7	Globale bespreking van de modeloutput.....	117
4.7.1	Inleiding	117
4.7.2	Depositie.....	117
4.7.3	Mineralisatie uit bodemorganische stof	117
4.7.4	Mineralisatie uit toegediend organisch materiaal.....	117

4.7.5	Opbouw microbiële biomassa	118
4.7.6	Minerale fractie mest	118
4.7.7	Uitspoeling	118
4.7.8	Gasvormig verlies	119
4.7.9	Opname	120
4.7.10	Percentage N vrijgesteld uit het vanggewas	120
4.7.11	Balans	120
4.7.12	Drainage	120
4.7.13	Nitraatconcentratie	120
4.8	Scenarioanalyses	133
4.8.1	Invloed van de weersomstandigheden	133
4.8.2	Invloed van het N _{min} -gehalte bij oogst	136
4.8.3	Evaluatie van de globale bemestingsnormen voor wintergranen met nateelten	140
4.9	Besluit	141
5	Incubatieproeven	142
5.1	Doelstelling	142
5.2	N-mineralisatie	142
5.2.1	Werkwijze	142
5.2.2	Bespreking resultaten	144
5.2.3	Richtcijfers N-nalevering uit vanggewassen	146
5.3	C-mineralisatie	148
5.3.1	Werkwijze	148
5.3.2	Bespreking resultaten	149
5.3.3	Effectief organische koolstof	150
5.4	Biologische bodemkwaliteit	153
5.4.1	Inleiding	153
5.4.2	Microbiële biomassa	153

5.4.3	Samenstelling van de microbiële gemeenschap.....	154
5.4.4	Enzymatische activiteit	156
5.4.5	Besluit	157
6	Modelsimulaties C-dynamiek	158
6.1	Inleiding	158
6.2	C-opbrengsten.....	158
6.3	Simulaties.....	159
6.4	Besluit	160
7	Algemene besluiten	161
7.1	Representativiteit proefopzet	161
7.2	Minerale bodemstikstof.....	161
7.3	Gesimuleerde N-verliezen.....	161
7.4	N-vrijstelling uit ingewerkte vanggewassen	162
7.5	Organische stofopbouw en biologische bodemkwaliteit	162
7.6	Keuze van het vanggewas	163
8	Referenties	164

BIJLAGEN

Bijlage 1: Teelttechnische gegevens

Bijlage 2: Proefplannen

Bijlage 3: Standaard grondontledingen

Bijlage 4: Foto's veldproeven

Bijlage 5: Bovengrondse stikstofopbrengst van de vanggewassen

Bijlage 6: Bovengrondse koolstofopbrengst van de vanggewassen

Bijlage 7: Minerale bodemstikstof (0-90 cm) 1^e proefjaar

Bijlage 8: Minerale bodemstikstof (0-90 cm) 2^e proefjaar

Bijlage 9: Profielen minerale bodemstikstof 1^e proefjaar

Bijlage 10: Profielen minerale bodemstikstof 2^e proefjaar

Bijlage 11: Simulaties minerale bodemstikstof Sint-Denijs

Bijlage 12: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Sint-Denijs

Bijlage 13: Simulaties minerale bodemstikstof Bottelare 2^e proefjaar

Bijlage 14: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Bottelare 2^e proefjaar

Bijlage 15: Simulaties minerale bodemstikstof Merelbeke

Bijlage 16: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Merelbeke

Bijlage 17: Simulaties minerale bodemstikstof Rukkelingen-Loon (2^e proefjaar)

Bijlage 18: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Rukkelingen-Loon (2^e proefjaar)

Bijlage 19: Simulaties minerale bodemstikstof Bottelare (1^e proefjaar)

Bijlage 20: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Bottelare (1^e proefjaar)

Bijlage 21: Analyse van de residuen

Bijlage 22: Beschrijving van het EU-rotate_N model

Bijlage 23: Simulaties organisch koolstofgehalte van de bodem

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 veggewassen werden ingezaaid zonder enige bemesting na de oogst van wintergranen en situaties waarbij veggewassen 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 veggewassen (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 veggewassen werden op elke locatie op twee verschillende tijdstippen ingezaaid.

4. Algemene besluiten

4.1 Representativiteit proefopzet

- Veggewassen 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 veggewassen zich goed, namen in het najaar N_{min} op uit de bodem en reduceerden zo de kans op N-verliezen tijdens de winterperiode.
- Voor veggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het najaar (oktober-november) geen significante gemiddelde verschillen (< 5 kg N ha⁻¹) gevonden tussen niet-bemeste veggewassen en veggewassen waarop 60 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmengmest. Voor de overeenkomstige braakbehandelingen werden wel significante verschillen gevonden.
- Voor veggewassen 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 veggewassen en veggewassen waarop 60 kg N ha⁻¹ werd toegediend onder de vorm van varkensmengmest. Enkel voor Japanse haver waren deze verschillen wel significant.
- Voor veggewassen ingezaaid voor 1 september werden in het najaar (oktober-november) significante gemiddelde verschillen (8-21 kg N ha⁻¹) aangetoond tussen niet-bemeste veggewassen en veggewassen

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 varkensmest 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 varkensmest 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 raigras 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 geogste 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 ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) 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 ON 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 oogstijdstippen, 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 ($< 7 \text{ kg N ha}^{-1}$) 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 BRO, 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 (BRO) 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 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 ($\leq 10 \text{ kg N ha}^{-1}$) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 60 kg N ha^{-1} werd toegediend onder de vorm van 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 ($8\text{-}21 \text{ kg N ha}^{-1}$) 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 ($1\text{-}26 \text{ kg N ha}^{-1}$) 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} -gehaltenes.
- 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.

Uitgebreide Nederlandstalige samenvatting

- 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.

SHORT ENGLISH SUMMARY

1. Introduction

In temperate humid climates, catch crops have proven to be a useful tool in the abatement of soil erosion, nutrient leaching and soil organic carbon losses.

In Flanders (Belgium), the environmental policy allows farmers to apply manure after harvest of winter cereals at a rate of 60 kg N ha^{-1} , if they sow a catch crop before the 1st of September (on light textures) or before the 15th of October (on heavy textures). Farmers claim that fertilization stimulates catch crop growth and in that way increases benefits of catch crops. Nevertheless, the question was raised whether fertilizing catch crops would affect N losses during winter.

The main objective of this study is to investigate whether the application of pig slurry to catch crops sown after the harvest of winter cereals does not result in higher N losses from the soil between autumn and early spring compared to non-fertilized catch crops.

This report gives an overview of the results of field trials, incubation experiments and simulations carried out with the EU-rotate_N model and formulates scientifically based conclusions about the possibility of applying animal manure after winter cereals in Flanders.

2. Experimental lay-out

The main part of the research project was based on field trials which were installed during two consecutive years (2011-2013), each year on 4 locations with different soil textures. After harvest of the winter cereals, pig slurry was applied at rates of 0, ± 60 and $\pm 120 \text{ kg total N ha}^{-1}$. On each location 3 to 4 common catch crop species (white mustard, Italian ryegrass, black oat and a mixture of English ryegrass, red clover and white clover) were sown. A bare fallow was included. Catch crops were sown on 2 different dates on each location.

3. General conclusions

3.1 Representativity of the experimental fields

- Catch crops were sown after harvest of winter cereals on 8 locations and during 2 experimental years (2011-2013). Together they made up a representative sample for agricultural soils which are used for winter cereal cultivation in Flanders.

3.2 Soil mineral nitrogen

- When sown in good circumstances before the 1st of September, non-fertilized and fertilized catch crops developed well, took up soil mineral nitrogen (N_{min}) from the soil in autumn and reduced the risk of N losses during winter.
- For catch crops sown before the 1st of September, no significant mean differences ($< 5 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in autumn (October-November) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 60 kg N ha^{-1} pig slurry application. However, significant differences were found for the corresponding bare fallows.

Short English summary

- For catch crops sown before the 1st of September, no significant mean differences ($\leq 10 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in spring (February-April) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 60 kg N ha^{-1} pig slurry application, except for black oat where differences were significant.
- For catch crops sown before the 1st of September, significant mean differences ($8\text{-}21 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in autumn (October-November) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 120 kg N ha^{-1} pig slurry application. For the corresponding bare fallows these differences were bigger and also significant.
- For catch crops sown before the 1st of September, slightly bigger but non-significant mean differences ($1\text{-}26 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in spring (February-April) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 120 kg N ha^{-1} pig slurry application. Exceptions to this case are white mustard and black oat sown at the end of August where these differences were significant.
- If catch crops were sown after the 31st of August, a 60 kg N ha^{-1} pig slurry application led to a significant increase in N_{\min} in autumn compared to non-fertilized treatments.
- Non-frost resistant catch crops die during winter and mineralize partly in spring; fertilized and/or late sown catch crops release more N_{\min} than non-fertilized and/or early sown catch crops.

3.3 Simulated N losses

- Simulations showed strong reduction of nitrate leaching due to the presence of catch crops on 6 out of 8 field trials and under different weather conditions on loamy sand and silt loam. Under grass-clover nitrate leaching was higher than under the 3 other catch crops. In general the reduction of nitrate leaching by catch crops was stronger on heavier soil textures and with lower initial N_{\min} contents.
- Simulated average nitrate concentrations at 90 cm depth showed only small positive or negative differences between early sown catch crops with or without application of manure (60 kg N ha^{-1}). When sown late, a relatively high increase of the nitrate concentration was simulated due to the application of manure, but only under black oat and under grass-clover during cold and/or wet weather conditions, for which an overestimation by the model could not be excluded.
- Simulated gaseous N losses were generally small ($< 7 \text{ kg N ha}^{-1}$) and even negligible on sandy soils. Gaseous losses increased slightly with increasing manure application rate, both under bare fallows and under catch crops. The major part of the gaseous N losses was released shortly after application of the manure. Between corresponding treatments with and without catch crops, gaseous losses were comparable or smaller under catch crops.

3.4 N-release from incorporated catch crops

- The net release of mineral N from incorporated aboveground parts of catch crops in a mineralization experiment was positively correlated to the C:N ratio. Non-frost resistant catch crops had an immobilizing effect and should be incorporated 4 to 6 weeks before the sowing date of the next crop. Frost resistant crops released N faster in the mineralization experiment, implying that they could be incorporated shortly before the sowing date of the next crop.
- The N release from the (fertilized) catch crop should be taken into account to avoid over-fertilization of the next crop. When incorporated in spring, non-frost resistant crops (with or without application of 60 kg N ha^{-1}) release about 10 kg N ha^{-1} during the growing season of the next crop. Frost resistant crops release about 20 kg N ha^{-1} (without manure application) to 30 kg N ha^{-1} (with application of 60 kg N ha^{-1}). When catch crops are incorporated in autumn it is important to assess the past winter to decide whether the N-delivery has to be

taken into account or not: during a warm and wet winter N will be mineralized and leached. Only during a cold and/or dry winter the full N delivery has to be taken into account.

- Flail mowing of catch crops before incorporation in autumn or during winter increased the risk of N losses and should be avoided.

3.5 Soil organic matter and biological soil quality

- Aboveground parts of catch crops contribute to the soil organic matter after incorporation. In an incubation experiment the highest humification coefficient was found for black oat (48-56%) and the lowest for white mustard (26-33%). Humification coefficients were always slightly higher on silt loam than on sandy loam.
- Average aboveground effective organic carbon (EOC) yields for early sown catch crops were between 77 and 512 kg ha⁻¹ (non-fertilized) and between 129 and 736 kg ha⁻¹ (fertilized with 60 kg N ha⁻¹) on heavy textures at the end of November. On light textures in spring, average EOC yields were between 132 and 572 kg ha⁻¹ for non-fertilized catch crops and between 210 and 718 kg ha⁻¹ for fertilized (60 kg N ha⁻¹) catch crops. Average aboveground EOC yields were always highest for black oat and lowest for the grass-clover mixture.
- Fertilization (60 and 120 kg N ha⁻¹) of catch crops increased aboveground C and EOC yields significantly for all catch crops in autumn and for frost-resistant crops also in spring. However, the effect of fertilization (60 kg N ha⁻¹) on aboveground EOC yield was small (41 to 224 kg EOC ha⁻¹) compared to the differences in EOC yields between catch crop species. Black oat showed the highest absolute increase in EOC yield due to fertilization.
- Simulations with a 4-year rotation including 2 years of winter barley followed by catch crops led to an increased OC content of the soil after 30 years compared to simulations without catch crops in the same rotation. The increase was highest for the simulation with early sown black oat. The simulated OC content was higher when catch crops were receiving a manure application as a result of the carbon input from the manure at one side and the higher C yield of the catch crop at the other side.
- Shortly after incorporating catch crops, microbial biomass and enzyme activities increased. The increase was proportionally higher for fungi than for bacteria. Effects were highest and longer lasting (up to 14 weeks) for black oat.

3.6 Choice of a catch crop

- Catch crops which are known to show limited growth under cold weather conditions should not receive any manure application when sown after mid-August. Limited growth at lower temperatures was simulated for black oat and for the grass-clover mixture.
- It is advisable to choose non-frost resistant catch crops if these are incorporated in autumn (on heavy soils): they take N up more quickly and release N more slowly after incorporation.
- In case of a late crop (such as maize) following a catch crop incorporated in spring, it is advisable to choose frost resistant catch crops to reduce risks of N losses in spring.
- If the contribution of the catch crop to the soil organic matter pool is considered as important, black oat seems to be the preferred catch crop.
- All catch crops should be sown under favorable conditions. If this cannot be guaranteed by the farmer (through irrigation during drought or resowing catch crops after storm) the catch crop must not be fertilized.
- The choice of a catch crop can also be influenced by different other factors: catch crops can play an important role in the abatement of soil erosion, in the suppression of weeds and in pest control of nematodes. Some catch crops can also serve as animal fodder.

EXTENSIVE ENGLISH SUMMARY

1 INTRODUCTION

In temperate humid climates, catch crops have proven to be a useful tool in the abatement of soil erosion, nutrient leaching and soil organic carbon losses.

In Flanders (Belgium), the environmental policy allows farmers to apply manure after harvest of winter cereals at a rate of 60 kg N ha⁻¹, if they sow a catch crop before the 1st of September (on light textures) or before the 15th of October (on heavy textures). Farmers claim that fertilization stimulates catch crop growth and in that way increases benefits of catch crops. Nevertheless, the question was raised whether fertilizing catch crops would affect N losses during winter.

The main objective of this study is to investigate whether the application of pig slurry to catch crops sown after the harvest of winter cereals does not result in higher N losses from the soil between autumn and early spring compared to non-fertilized catch crops.

This report gives an overview of the results of field trials, incubation experiments and simulations carried out with the EU-rotate_N model and formulates scientifically based conclusions about the possibility of applying animal manure after winter cereals in Flanders.

2 FIELD EXPERIMENTS

2.1 EXPERIMENTAL LAY-OUT

The main part of the research project was based on field experiments which were installed during two consecutive years (2011-2013), on 4 locations with different soil textures (loamy sand, sandy loam, silt loam and clay loam, according to the USDA classification). The winter cereals were triticale on sand and sandy loam, winter barley on sandy loam and loam and winter wheat on silt loam and clay loam. Pig slurry was applied at rates of 0, ±60 and ±120 kg total N ha⁻¹. On each location 3 common catch crop species were sown (white mustard, Italian ryegrass and black oat). A grass-clover mixture (English ryegrass, red clover and white clover) was also sown on 3 locations, considering its importance in organic agriculture. A control without catch crops (bare fallow) was included. In order to include the effects of sowing time, catch crops were sown on 2 different dates on each location. In the first year (2011-2012) the 1st and the 2nd sowing date were in the 1st and the 2nd half of August, respectively. In the second year this was similar on 1 location; on the other 3 locations winter cereals were harvested late, resulting in a 1st sowing date in the 2nd half of August. Therefore, the 2nd sowing date was moved to the 1st half of September. The field experiments were carried out in 4 replications (blocks) on each location.

2.2 REPRESENTATIVITY OF THE FIELD EXPERIMENTS

The distribution of the soil textural classes at the different locations proved to be representative for the soil types used in Flanders for cultivating winter cereals. Other important physical and chemical soil characteristics (pH, CaCO₃, OC, K and P) did not show extreme values for any of the locations, indicating that the results of this study can be considered as representative for the agricultural soils of concern.

Weather circumstances for both experimental years were different during summer and autumn. In the 1st year weather circumstances were ideal for a good development of catch crops. August was humid but from September to November the weather was relatively dry, sunny and warm. Nitrate leaching was not likely to occur before December. In the 2nd year it was very dry from mid-August until mid-September, resulting in late germination on clay loam. Weather circumstances in autumn were quite normal and favorable for catch crop growth. Winter was similar for both experimental years. December was very wet so nitrate leaching was likely to occur; mineralization was likely to continue due to relatively high temperatures in the 1st year. In both years, a longer frost period appeared in January and February. In March, temperatures remained cold in the 2nd year, inhibiting mineralization. In the 1st year March was relatively dry, reducing the risks of nitrate leaching.

Summarized over both experimental years, precipitation was normal to low in autumn, high to very high in December-January and normal to low in February-March. Temperatures were normal to high in autumn and in December-January and normal to low in February-March.

2.3 RESULTS FIELD EXPERIMENTS

2.3.1 CATCH CROP YIELDS

2.3.1.1 HARVEST AND ANALYSIS

Catch crops were harvested on all locations at the end of October and at the end of November. On locations where they were not incorporated before winter, catch crops were also harvested in early spring (February-April). Fresh yields were weighed and dry matter, N and C content were determined.

2.3.1.2 ABOVEGROUND NITROGEN YIELD

Aboveground N yield was an important parameter in this research project: N uptake by the catch crop depletes the soil mineral N and prevents nitrate leaching during wet and cold winter months. After manure application to the catch crop, N uptake should increase to take up the N released from the manure. It was not possible to draw clear-cut conclusions for the effect of all factors on N yield: analysis of variance (ANOVA) showed significant interaction of effects of sowing date, manure level, catch crop and location for all harvesting dates.

5. *Effect of location*

Aboveground catch crop N yield was strongly dependent on the location, especially in the 2nd experimental year, when interaction of texture and drought seemed to have been crucial for the development of the catch crops during the first weeks. In Oostende catch crops germinated only at the end of September. In the 1st year stormy weather circumstances shortly after sowing negatively affected the development of the catch crops in Rukkelingen-Loon. In good circumstances N yields in autumn were between 25 and 130 kg ha⁻¹ for early sown catch crops. For late sown catch crops N yields were similar or slightly smaller. For locations where catch crops were sown during an extended dry period or after the 1st of September, very low N yields were observed.

6. *Manure effect*

Where catch crops had developed well, aboveground N yields were clearly positively correlated to the manure application level. However, differences were small compared to the manure N dose and in most cases only significant between ON and 120N treatments. In spring, the manure effect was only clearly visible for frost resistant catch crops (Italian ryegrass and grass-clover mix), which indicates that fertilized non-frost resistant crops (white mustard and black oat) release more N during winter than the non-fertilized ones.

7. *Effect of sowing date*

Aboveground N yields were clearly influenced by sowing date: on some locations significant differences were found between all corresponding treatments of the 1st and the 2nd sowing date. Due to the fast youth growth of non-frost resistant crops, significant differences were limited to frost resistant crops on other locations: especially for grass-clover the N yield was much smaller for the late sown crop, which was a result of the very slow development of English ryegrass and clover. In spring, the effect of sowing date was in general less explicit than in autumn.

8. *Differences amongst catch crops*

Summarized over all locations, sowing dates and manure levels, aboveground catch crop N yield was clearly highest for white mustard, followed by black oat. Italian ryegrass and grass-clover always had the smallest N yields. During winter, a big part of the N yield was lost for white mustard. In spring, N yield was highest for Italian ryegrass and black oat, followed by grass-clover and white mustard.

2.3.1.3 ABOVEGROUND CARBON YIELD

Catch crops can also produce large amounts of carbon. After incorporation into soil, the aboveground C yield will contribute to the soil organic matter. The effects of the different experimental factors on C yield were similar to the effects on N yield.

5. *Effect of location*

The differences in aboveground C yields between locations were not very high in cases where catch crops had developed well. In autumn, C yields varied between 1 and 3 ton C ha⁻¹ for early sown catch crops and between 0.5 and 1.5 ton C ha⁻¹ for late sown catch crops. In Rukkelingen-Loon, where a storm occurred after sowing the early catch crops, and in Oostende, where drought inhibited catch crop germination, catch crop C yields were lower. For locations where catch crops were sown after the 1st of September, catch crop yields were also low.

6. *Effect of sowing date*

Aboveground C yields were generally higher for early sown catch crops than for late sown catch crops. Differences in C yields between sowing dates were more explicit in autumn than in spring. If late catch crops were sown after the 1st of September, differences with the early catch crops were very large. Only in Rukkelingen-Loon, higher C yields were found for late catch crops than for early catch crops, probably due to the effects of the storm shortly after sowing the early catch crops.

7. *Manure effect*

In autumn, aboveground catch crop C yield and the manure level were clearly positively correlated. In spring, differences in C yield between the 3 manure levels were less clear or even absent. Exceptions to this case are grass-clover in Merelbeke and black oat in Bottelare in the 2nd year. For late sown non-frost resistant catch crops the decrease in C yields during winter was higher for fertilized crops than for non-fertilized crops. For late sown frost resistant crops the increase in C yields during winter was lower for fertilized crops than for non-fertilized crops.

8. *Differences amongst catch crops*

Aboveground C yields differed between catch crops depending on the harvest date. In general higher C yields were found under black oat and white mustard, followed by Italian ryegrass and grass-clover. Differences were more explicit in autumn than in spring: for non-frost resistant catch crops (especially white mustard) C yields decreased more during winter.

2.3.2 SOIL MINERAL NITROGEN

2.3.2.1 SAMPLING AND ANALYSIS

To determine the evolution of soil mineral nitrogen, 3 soil layers (0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm) were sampled at 7 sampling dates. The first sampling (preceding the manure application) was done per block without considering any factor; before the 2nd sowing date, sampling was done per block considering manure level as the only factor. Afterwards, treatments were sampled per block taking all factors into account. Each sampling consisted of a mixed sample of at least 5 augerings. For each sample, the content of $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ and NH_4^+ was determined with a segmented flow analyzer after extraction with KCl (ISO 14256-2:2005).

2.3.2.2 RESULTS SOIL MINERAL NITROGEN

The soil mineral nitrogen content (N_{min}) was the most crucial variable in this research project as N_{min} is a measure for potential nitrate leaching in the period following the soil sampling. It is assumed that N_{min} can migrate to a depth of 90 cm without being lost, as plant roots can take up N_{min} to that depth. Therefore N_{min} was measured to a depth of 90 cm.

Based on the results of N_{min} it was not possible to draw clear-cut conclusions for all factors: analysis of variance (ANOVA) showed significant interaction of effects of sowing date, manure level, catch crop and location for nearly all sampling dates.

5. *Effect of location*

The results for N_{min} were very different between the locations and were mainly explained by the success of the catch crops development, as mentioned in part 2.3.1. Initial N_{min} contents were quite similar for all locations shortly after harvest of the winter cereals, varying between 30 and 80 kg N ha⁻¹. N immobilization by the residues of the winter cereals differed between locations, probably due to differences in the quantity and the composition of the residues; differences in texture and moisture content of the soil may have influenced immobilization too. During winter months it was observed that nitrate leaching was faster on sandy soils than on non-sandy soils (see also point 4).

6. *Effect of sowing date*

For catch crops that were sown before the 1st of September, significant effects of sowing date in autumn were mainly observed for frost resistant catch crops (Italian ryegrass and grass-clover): N_{min} was higher under late sown catch crops. In spring, the effect of sowing date was significant only for non-frost resistant catch crops (white mustard and black oat), especially for those that received a manure application, and also if they were incorporated (but not flail mown). Differences in N_{min} were significant in autumn between late catch crops sown after the 31st of August and well developed early catch crops.

7. *Manure effect*

The manure effect depended mainly on the sowing date. For early sown catch crops, only small differences in N_{\min} were observed for all manure levels and sampling dates between October and January. Only in Oostende, where catch crops did not develop well, the manure effect was clearly observed. For late sown catch crops (but sown before the 1st of September) differences were only distinguishable between the 0N and 120N manure treatments in autumn. In spring, the manure effect (60N and 120N) could only be observed under non-frost resistant catch crops for both sowing dates. In Rukkelingen-Loon, where catch crops were flail mown in December and incorporated in January in the 2nd year, the manure effect was clear in January and slightly visible in spring; in the 1st year - when catch crops were also incorporated but not flail mown - this was less explicit. For very late sown catch crops (after the 31st of August), N_{\min} was always clearly positively correlated with the manure dose. In spring, no clear-cut effect could be observed.

8. *Effect of catch crop type*

In autumn, N_{\min} was significantly smaller under all early sown catch crops than under bare fallow on nearly all locations. Differences in N_{\min} under different catch crops species were not significant. For late sown catch crops significant differences were observed: N_{\min} was often higher under Italian ryegrass and grass-clover than under white mustard and black oat. Under late sown Italian ryegrass and grass-clover N_{\min} was not always significantly different from N_{\min} under the bare fallow.

In spring, N_{\min} was in most cases significantly higher under bare fallow than under frost resistant crops (also after incorporation without being flail mown). Under non-frost resistant crops, N_{\min} was not significantly different from N_{\min} under the bare fallow (no N uptake after winter). Additionally, a part of the N taken up earlier was released from the dead biomass. Furthermore, more N was released from non-frost resistant crops (with higher N yields) than from frost resistant crops (with lower N yields). This is particularly important for the catch crops which were flail mown.

In January, no significant differences could be observed in N_{\min} between catch crop treatments (excluding flail mown treatments). N_{\min} was significantly higher under the bare fallow than under catch crops on non-sandy soils, indicating that the extra N_{\min} under bare fallow had leached out only partly. On sandy soils (Bottelare) the extra N_{\min} had leached out completely since no significant differences were observed in N_{\min} between the bare fallow and the catch crop treatments.

2.3.3 CONCLUSION

In general, aboveground N yields in autumn were highest for white mustard, followed by black oat. Italian ryegrass and grass-clover showed lower N yields. In spring, aboveground N yields were highest for Italian ryegrass and black oat, followed by grass-clover and white mustard. The share of clover in the dry mass yield of the grass-clover mixture was small.

When catch crops had developed well, differences in N yields between manure levels were clearly visible. Only small differences in N_{\min} were observed. Italian ryegrass and especially grass-clover (English ryegrass + clover) developed more slowly and should therefore not be used for late sowing. Their roots were not able to take up N_{\min} from deeper soil layers. The difference between Italian ryegrass and the grass-clover mixture was attributed to the slower development of English ryegrass and clover. White mustard and to a lesser extent black oat are not frost resistant, and thus did not continue to take up N_{\min} during and after winter, but rather lost a part of the N which was taken up in autumn. This led to increased N_{\min} -contents in the soil in spring, which can be an advantage if this

N release and the N uptake by the next crop are synchronized. It is important that the additional N released from the catch crop in spring is taken into account in the fertilization rate for the next crop (see also part 4.2).

2.4 STATISTICAL EVALUATION OF THE MANURE EFFECT

The effects of different factors were discussed in part 2.3. However, different statistical tests were used for different subsets (= data for 1 location, 1 sowing date and 1 sampling date). It was not possible to draw general statistical conclusions. In this part of the report we focused on the manure effect and used uniform statistical tests in order to answer the main research question.

2.4.1 MANURE EFFECT ON SOIL MINERAL N

The risk of N losses becomes relevant only from October onwards and therefore the results for N_{\min} for September were omitted from the statistical analysis. The results for January were not analyzed statistically, as they showed only small differences in N_{\min} between the 3 manure levels, indicating that nitrate leaching had taken place already (see part 2.3.2.2). Only in spring differences became distinguishable again due to mineralization. As these differences could still induce higher N losses (in absence of a next crop), the manure effect on N_{\min} in spring was also statistically analyzed.

The dataset was divided into subsets based on location, catch crop, sowing date and sampling date. N_{\min} was statistically analyzed using a paired t-test. For 93% of the subsets a normal distribution of the dataset was proven by a Shapiro-Wilk test. Based on this, normal distributions of the populations were assumed. The p-values of the paired t-tests were based on individual comparisons and were not corrected according to Bonferroni, as many samples were tested, each time on only 4 replications. Correction would have resulted in very weak tests. One-sided p-values were considered significant if $p < 0.05$.

The number of individual p-values was clearly affected by the harvest date, sowing date, manure dose, catch crop species and location/experimental year. Remarkably N_{\min} was not always significantly different for the different manure levels of the bare fallow, especially in the 1st experimental year. As nitrate leaching was not likely to occur before winter (definitely in the drier 1st year), this was attributed to N immobilization by the winter cereals residues.

Different locations and experimental years together could be considered as a representative sample for the practical situation in Flanders, even though it is necessary to remind that the late sown catch crops were sown later than usual in the 2nd year on 3 locations. The output of the individual statistical tests were summarized for the 8 locations/2 years, without including those cases where catch crops were sown after the 31st of August. For 88% (early sown catch crops) and 79% (late sown catch crops) of the individual comparisons no significant differences were found between catch crops with and without a manure application of 60 kg N ha⁻¹. In case of a manure application of 120 kg N ha⁻¹, no significant effect was found for 83% (early sown catch crops) and 58% (late sown catch crops) of the individual comparisons. In spring these values were respectively 90% and 84% for the 60N manure dose and 77% and 58% for the 120N manure dose. Thus, the number of significant differences increased due to late sowing and with increasing manure application rate.

In order to obtain overall statistical conclusions about the manure effect on N_{\min} under different catch crops paired t-tests were carried out over the 8 locations/2 experimental years for autumn and for spring. As $n \geq 30$ normality of the data was assumed based on the central limit theorem. In order to maintain a sufficiently severe test, the Bonferroni correction was applied carefully. The bare fallow was not taken into account, the 60N and 120N manure dose were evaluated separately and we did the statistical analysis twice: once for autumn and spring

values separately and once for autumn and spring values combined. The Bonferroni correction was applied on the significance limit (0.05). For the overall one-sided test ($p < 0.05$), differences were therefore found significant if non-corrected two-sided p-values were < 0.013 or < 0.007 for respectively the separate and the combined statistical analysis.

The manure effect (60N) on N_{\min} was not significant under early sown catch crops. For late sown catch crops, the manure effect was always significant in autumn, but also included those catch crops which were sown after the 31st of August. Excluding situations where catch crops were sown after the 31st of August, no significant effect of the 60N manure dose was found in autumn. The effects of a higher manure dose (120N) were significant but small (8-21 kg N ha⁻¹) under all catch crops in autumn. For the bare fallow a significant effect of both manure doses (60N and 120N) was found for all situations in autumn (15-48 kg N ha⁻¹). In spring a significant effect on the bare fallow was found only for the 120N manure dose, indicating that additional mineralization of manure N was limited after the winter. Under fertilized and non-fertilized catch crops, significant differences in spring were only found for black oat (for 60N and 120N) and white mustard (for 120N only). These were attributed to differences in N release between the fertilized and non-fertilized dead catch crop.

2.4.2 MANURE EFFECT ON CATCH CROP CARBON YIELD

The main objective of this study was to investigate the effect of a manure application to catch crops on soil mineral N. The evaluation in 2.4.1 did not show significant negative effects for a manure application of 60 kg N ha⁻¹. However pig slurry application before sowing a catch crop did not result in a decrease in N_{\min} compared to a non-fertilized catch crop, i.e. a non-fertilized catch crop developed sufficiently well to deplete soil mineral N after harvest of the winter cereal. Would it then be advisable to allow a farmer to fertilize his catch crop?

To answer this question, other advantages of catch crops were also considered. After incorporation, a catch crop also contributes to the build-up of soil organic carbon. A fertilized catch crop may accumulate more organic C and contribute more to the soil organic carbon pool. The manure application itself also represents an additional C input. Other advantages of a higher catch crop biomass (as a result of a manure application) include a more efficient abatement of soil erosion and weed suppression.

As catch crops are commonly incorporated between November and April, aboveground C yields were statistically compared between fertilized and non-fertilized catch crops in November and in spring only. In order to obtain overall statistical conclusions about the manure effect on C yields for different catch crops, paired t-tests were carried out over the 8 locations/2 experimental years, similarly as for N_{\min} (see part 2.4.1). The differences between locations/years could be seen as a representative sample for the practical situation in Flanders. The normality of the data was checked. In the evaluation of the p-values the Bonferroni correction was taken into account.

The overall statistical analysis showed that fertilization of catch crops had a significant positive effect on the aboveground C yield for all catch crops in November. In spring this effect was still significant for most early sown catch crops, but not for the 60N manure dose on white mustard. For late sown non-frost resistant catch crops the positive effect of fertilization on C yields was not significant in spring as a larger share of the extra C yield was lost during winter.

The mean differences in C yield between fertilized and non-fertilized catch crops varied between 26 and 450 kg C ha⁻¹ or between 24 and 514 kg C ha⁻¹ when badly developed catch crops (Oostende) and catch crops sown after the 31st of August were not taken into account.

2.4.3 CONCLUSION

Mean differences in N_{\min} between fertilized and non-fertilized bare fallows were small but significant in autumn. Between fertilized and non-fertilized catch crops mean differences in N_{\min} were mostly small. A pig slurry application of 60 kg N ha^{-1} did not result in a significant increase of N_{\min} under catch crops in autumn, for catch crops sown before the 1st of September. An application of 120 kg N ha^{-1} did result in a significant increase of N_{\min} under all catch crops in autumn. In spring, significant differences between manure levels were only observed under bare fallows and under non-frost resistant catch crops (for the 60N manure dose only under black oat).

Based on the statistical analyses we conclude that a pig slurry application of 60 kg N ha^{-1} on the stubble of winter cereals, followed by catch crops sown before the 1st of September, did not result in higher risk of N losses during winter. However pig slurry application before sowing a catch crop did not result in a decrease in N_{\min} compared to a non-fertilized catch crop, i.e. a non-fertilized catch crop developed sufficiently well to deplete soil mineral N after harvest of the winter cereal. It was shown that a pig slurry application of 60 kg N ha^{-1} significantly increased aboveground catch crop C yields at the end of November for all catch crops and in spring also for frost resistant catch crops, with expected positive effects on weed suppression, on the control of soil erosion and on soil fertility in general.

3 MODEL SIMULATIONS OF N-DYNAMICS

3.1 INTRODUCTION

As in situ measurements of N losses by nitrate leaching and denitrification were practically unrealizable, estimations of N losses based on soil mineral N and catch crop N yield were done by simulations with the EU-rotate_N model. At first, a calibration and validation of the model parameters was performed to simulate measured N_{\min} and N_{plant} as precisely as possible. This allows us to assume that simulated N losses correspond to N losses that appeared in those specific situations. Following the calibration and validation, project results were extrapolated to conditions (mainly weather conditions) which were not experienced in the field experiments.

3.2 CALIBRATION

After profound analysis of the very extensive set of model parameters, it was decided to calibrate the EU-rotate_N model in a stepwise manner. In this procedure only parameters which do not influence the model output in earlier steps can be calibrated. Parameter boundaries were defined for each parameter to prevent that calibration would lead to parameter values that deviate too much from the original model parameters.

The software program PEST was used to calibrate the model parameters. Calibration was carried out on 3 locations with different soil textures.

The different calibration steps were carried out as follows:

1. Calibration of the N mineralization from soil organic matter based on N_{\min} measurements on the non-fertilized bare fallow from incubation experiments.
2. Calibration of the mineralization of the winter cereal residues based on N_{\min} measurements on the non-fertilized bare fallow.
3. Calibration of the mineralization of the pig slurry based on N_{\min} measurements for the fertilized bare fallows.

4. Calibration of the N uptake by catch crops based on N_{\min} measurements, aboveground N yields (N_{plant}) and dry matter yields for all treatments with catch crops.

Validation of the calibrated model parameters was carried out to investigate whether the model can be used in similar simulations independently of the experimental fields that were used for calibration. Where possible, validation was carried out using results of experimental fields from the complementary experimental year to include the variation of weather circumstances.

The model accuracy was evaluated based on the residuals, which are the values of the deviations between the simulated and the measured N_{\min} and N_{plant} . These residuals were compared to the corresponding standard deviations on the measurements. The higher the ratio between residual and standard deviation, the smaller the probability that the measured value in the field is properly estimated by the simulated value.

The model accuracy for N_{\min} (based on the average ratio) was good for the bare fallow treatments and acceptable for white mustard and Italian ryegrass treatments. For black oat treatments the average ratio was higher and it was highest for the grass-clover treatments, especially for the early sown treatments. Higher ratios were general due to an overestimation of the N_{\min} measurements and the overestimation was higher with increasing manure application rates.

The model accuracy for N_{plant} was variable. Generally the best results were found for late sown black oat and early sown grass-clover treatments (without simulating N-fixation). For the less accurately simulated treatments, measured N_{plant} was always overestimated and the overestimation was higher with increasing manure application rates. Since inaccurate N_{plant} simulations did not always result in inaccurate N_{\min} simulations, the ratio between aboveground and belowground biomass N was assumed to be more variable in reality than simulated, but total N uptake was assumed to be simulated rather well.

3.3 MODEL-OUTPUT

The calibrated model allowed to simulate N losses for the different experimental fields and to answer the research question directly.

3.3.1 NITRATE LEACHING

In the first experimental year weather circumstances during autumn were rather dry and warm and the main part of nitrate leaching was simulated from mid-December onwards. For the bare fallows simulated leaching was always positively correlated with the manure application rate. Differences in leaching due to the application of 60 kg N ha⁻¹ on silt loam and loamy sand (± 20 kg N ha⁻¹) were higher than on sandy loam (< 10 kg N ha⁻¹), which was explained by immobilization of applied N on sandy loam.

The presence of early sown catch crops resulted everywhere in a high reduction of simulated nitrate leaching and the differences for different manure application rates were small. Under grass-clover nitrate leaching was higher than under other catch crops and only under grass-clover both manure application rates resulted in a small decrease of nitrate leaching.

Late sowing increased simulated nitrate leaching for grass-clover on silt loam and sandy loam and for black oat on loamy sand. Under grass-clover, manure application rates of 60 and 120 kg N ha⁻¹ resulted respectively in a decrease and increase of nitrate leaching. Under black oat on loamy sand, both manure application rates resulted in an increase of nitrate leaching. For late sown Italian ryegrass and white mustard only small changes were simulated compared to the early sown treatments.

In autumn of the second year weather circumstances were wetter and colder and simulated nitrate leaching started already mid-October. For the bare fallows, nitrate leaching was again positively correlated with the manure application rate. Differences in nitrate leaching for different manure application rates on loamy sand (35 – 40 kg N ha⁻¹) were higher than on silt loam (11 kg N ha⁻¹), which was explained by high differences in N_{min} contents on silt loam in spring.

Similar to the findings for the first experimental year, simulated nitrate leaching under early sown catch crops was highest under grass-clover. Manure application at a rate of 60 kg N ha⁻¹ did not result in higher nitrate leaching under all early sown catch crops and at a rate of 120 kg N ha⁻¹ an increase was only found under grass-clover.

Under catch crops sown in the second half of August an increase in simulated nitrate leaching was observed under black oat and grass-clover. Under these catch crops a clear increase was also observed with increasing manure application rates. Under late sown Italian ryegrass and white mustard differences in nitrate leaching were small compared to early sown treatments. A manure application rate of 60 kg N ha⁻¹ resulted in a small increase or decrease in nitrate leaching, while at a rate of 120 kg N ha⁻¹, an increase was observed nearly everywhere.

Under catch crops sown in the first half of September, the differences in simulated nitrate leaching with the bare fallow treatments were smaller and in nearly all cases, an increase of nitrate leaching with higher manure application rates was observed. Nitrate leaching was lowest under white mustard, respectively followed by Italian ryegrass, black oat and grass-clover.

3.3.2 GASEOUS N LOSSES

Simulated gaseous N losses (NH₃, N₂ en N₂O) were generally small (< 7 kg N ha⁻¹) and even negligible on sandy soils. Gaseous losses increased slightly with increasing manure application rate, both under bare fallows and under catch crops. The major part of the gaseous N losses was released shortly after application of the manure. Between corresponding treatments with and without catch crops, gaseous losses were comparable or smaller under catch crops.

3.4 SCENARIO-ANALYSES

3.4.1 INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS

In order to simulate the influence of different weather circumstances, scenario-analyses were carried out with the parameter set of Merelbeke (loamy sand) and Sint-Denijs (silt loam) since these showed good modeling accuracies. For Lemberge (sandy loam) modeling accuracies were excellent, but due to a rather unrealistic output for the mineralization of soil organic matter, this parameter set was not included in the scenario-analyses.

With the exception of the 120 kg N ha⁻¹ manure rate, all treatments were included in the scenario-analyses. For grass-clover no N fixation was simulated. Sowing of catch crops was simulated on August 1st and August 31st. The N_{min} content on 31st of July was taken as measured in the field (32,7 en 74,5 kg N ha⁻¹ for Sint-Denijs and Merelbeke respectively), but initial moisture contents were set at moisture contents at field capacity. The composition of manure and cereal residues were maintained as determined for the experimental fields, but the quantity of the applied manure was adjusted in order to apply exactly 60 kg N ha⁻¹. In contradiction to how it was done for the late sown catch crop treatments in the field experiments, the manure application and incorporation of the stubble was done the day before sowing, as this is more likely to happen in reality.

Daily weather data for 10 different years were obtained from the Royal Meteorological Institute (KMI). These 10 years were selected based on precipitation and the mean temperature during autumn, in order to create a high variability of weather conditions, including extreme situations.

Generally, the 10 year scenario-analyses on loamy sand and on silt loam revealed only small negative or positive differences in the simulated average nitrate concentration between early sown catch crops with and without a manure application of 60 kg N ha^{-1} . Under late sown catch crops, a relatively high increase of the nitrate concentration was simulated due to the application of manure, but only under black oat and under grass-clover during cold and/or wet weather conditions.

3.4.2 INFLUENCE OF INITIAL N_{min} CONTENT

Based on the weather conditions during autumn and the simulated N losses, a worst-case scenario and a normal scenario for sandy loam and silt loam were selected from the 10 years used in 3.4.1. For each scenario, 3 simulations were carried out with low, average and high N_{min} contents at the harvest of the winter cereal. The average N_{min} content was determined based on measurements on all experimental fields and twice the standard deviation was subtracted and added to the average to calculate the low and high N_{min} contents respectively. The distribution of N_{min} over the 3 soil layers was maintained in all scenarios.

Simulated average nitrate concentrations under bare fallows were clearly higher with increasing initial N_{min} content. Under early sown catch crops this effect was only observed under grass-clover and Italian ryegrass in the worst-case scenario. The effect of a manure application (60 kg N ha^{-1}) on the nitrate concentration was nearly independent of the initial N_{min} content under early sown catch crops. When sown late, simulated nitrate concentrations under catch crops increased with increasing initial N_{min} contents and the effect of the manure application became more obvious.

3.4.3 EVALUATION OF MAXIMUM N APPLICATION RATES FOR WINTER CEREALS FOLLOWED BY CATCH CROPS

The application of manure on catch crops following winter cereals is only allowed when total maximum N application rates are respected. The farmer has to reduce the N application rate to the cereal with the amount of N that he wants to apply on the catch crop. From literature it appeared to be not likely that the reduction of 60 kg N ha^{-1} would lead to a lower initial N_{min} content at the harvest of the winter cereal. This assessment made further simulations irrelevant.

3.5 CONCLUSION

Following a calibration and validation procedure, the EU-rotate_N model showed accurate simulations for N_{min} under bare fallows, white mustard and Italian ryegrass. Under black oat and grass-clover, N_{min} contents were generally overestimated and the overestimation was higher with increasing manure application rates. The modeling accuracy for N_{plant} was variable, which was attributed to non-simulated fluctuations in the ratio between aboveground and belowground biomass.

Simulated average nitrate concentrations showed only small positive or negative differences between early sown catch crops with or without application of manure (60 kg N ha^{-1}). When sown late, a relatively high increase of the nitrate concentration was simulated due to the application of manure, but only under black oat and under grass-clover during cold and/or wet weather conditions, for which an overestimation by the model could not be excluded. Simulated gaseous N losses were generally small ($< 7 \text{ kg N ha}^{-1}$) and differences between treatments with and without manure were limited.

4 INCUBATION EXPERIMENTS

4.1 OBJECTIVES

Catch crops do not only play a crucial role in the reduction of N losses during autumn and winter, but also contribute to an improved soil fertility in the growing season of the next crop. Once the catch crop has been incorporated, mineralization will start as soon as weather circumstances allow it.

The release of mineral N from the catch crop is an advantage if the next crop is able to take it up immediately. This implies that fertilization of the next crop should be reduced. However, if the next crop is sown long after incorporation of the catch crop and the released N cannot be taken up sufficiently, there is a risk of nitrate leaching or denitrification in spring.

Incorporation of a catch crop also contributes to build up soil organic matter. The maintenance of the soil organic matter content is crucial for the future productivity of the Flemish agricultural soils. Therefore, it is important to know the effective organic carbon content of catch crops, e.g. for the implementation in long term simulation models of soil organic matter (such as e.g. in the current Flemish-Dutch Demeter project).

To determine both the N and C mineralization of the incorporated catch crops, incubation experiments were carried out. The results of these experiments were also used to calibrate the EU-rotate_N model (see part 3.2). The incorporation of a catch crop may also influence the quantity and the composition of the soil microbial biomass. To evaluate these effects for different catch crops, biological soil quality parameters were determined during the incubation experiments.

4.2 N-MINERALIZATION

4.2.1 PROCEDURE

During winter, the upper soil layer (0-30 cm) was sampled for bare fallow (0 – 60 - 120N), white mustard (0 – 60 – 120N), Italian ryegrass (0N), black oat (0N) and grass-clover (0N) in Lemberge (sandy loam) and Rukkelingen-Loon (silt loam). Early sown catch crops were harvested on the 0N treatment and incubated. All soils were maintained at a constant moisture content (50% water filled pore space), a temperature of 15°C and a relative air humidity of 70% during the incubation (3 months). The experiment was carried out in 3 replicates. On 7 sampling dates, soil N_{min} content (NO_2 -N, NO_3 -N and NH_4 -N) was determined with a continuous flow autoanalyzer.

4.2.2 RESULTS

4.2.2.1 MANURE EFFECT UNDER BARE FALLOW AND UNDER WHITE MUSTARD

The manure effect was investigated under bare fallow and under white mustard (without incorporation of catch crop). At the start of the incubation only small differences were measured in N_{min} between fertilized and non-fertilized treatments. Incubation induced for each treatment a systematic increase in N_{min} . At the end of the incubation a significant effect of the manure dose was observed in the soil from bare fallow, but not in the soil from the white mustard treatment. The manure effect had thus been neutralized by the presence of a catch crop in autumn. At the end of the incubation, a significant effect of the soil texture/location was found for both bare fallow and white mustard: N mineralization was smaller on silt loam than on sandy loam.

4.2.2.2 NET N-MINERALIZATION FROM INCORPORATED CATCH CROPS

On both soil types, a similar significant effect of the catch crop type was found: black oat showed strong immobilization and had released the lowest net amount of N at the end of the incubation experiment. Grass-clover did not show any immobilization and had released the highest net amount of N at the end of the incubation experiment. The N release from Italian ryegrass was quite similar to the N release from grass-clover. White mustard initially immobilized N but released N afterwards. For the different catch crops, net amounts of mineralized N showed a strong negative linear relationship with the C:N ratio of the incorporated material.

The net mineralized N at the end of the incubation was significantly smaller on silt loam than on sandy loam. Furthermore, the immobilizing effect of white mustard and black oat lasted longer on silt loam.

4.2.3 INDICATIVE NUMBERS FOR N-DELIVERY FROM INCORPORATED CATCH CROPS

The part of the N yield that is available for uptake by the next crop was determined by combining the average aboveground N yields and the net N mineralization rates. When incorporated in spring, non-frost resistant crops (with or without application of 60 kg N ha⁻¹) release about 10 kg N ha⁻¹ during the growing season of the next crop. Frost resistant crops release about 20 kg N ha⁻¹ (without manure application) to 30 kg N ha⁻¹ (with application of 60 kg N ha⁻¹). When catch crops are incorporated in autumn it is important to assess the past winter to decide whether the N-delivery has to be taken into account or not: during a warm and wet winter N will be mineralized and leached. Only during a cold and/or dry winter the full N delivery has to be taken into account.

4.3 C-MINERALIZATION

4.3.1 PROCEDURE

During winter, the upper soil layer (0-30 cm) was sampled on the non-fertilized bare fallow, white mustard, Italian ryegrass, black oat and grass-clover in Lemberge (sandy loam) and Rukkelingen-Loon (silt loam). Early sown catch crops were harvested on the 0N treatment and freshly incorporated in amounts corresponding to the yields recorded in the field. For bare fallow only the soil – without incorporated catch crop – was incubated in the experiment. All soils were maintained at a constant moisture content (50% water filled pore space) and a temperature of 15°C during the 3 months incubation. The experiment was carried out in 3 replicates. For black oat, the incubation was extended to 6 months. Soils were stored in air-tight glass jars with a known quantity of NaOH in a solution; the amount of CO₂ produced was determined by back-titration of the NaOH solution. The net C mineralization from the incorporated catch crops was calculated by dividing the amount of released CO₂ by the total amount of incorporated C.

4.3.2 RESULTS

The net C mineralization from catch crops showed a strong negative linear relationship with the C:N ratio of the incorporated catch crops. Grass-clover C mineralized fastest, followed by Italian ryegrass, white mustard and black oat, respectively. C mineralization of the different catch crops was similar on both soil types and, except for white mustard, always slightly faster on sandy loam than on silt loam. After 3 months of incubation, mineralization of most of the catch crops had stabilized, but for black oat incubation had to be extended with 3 months.

4.3.3 EFFECTIVE ORGANIC CARBON

Mineralization of organic matter was simulated using a first + zero order kinetics model (Sleutel et al., 2005). For all catch crops the amount of carbon remaining 1 year after incorporation, which is called the effective organic carbon (EOC), was determined by extrapolating the mineralization data to 1 year. The ratio of EOC and the total amount of incorporated organic carbon is defined as the humification coefficient. The highest humification coefficient was found for black oat and the lowest for white mustard. The humification coefficients for catch crops incorporated in

sandy loam were always smaller than for catch crops incorporated in silt loam. Only weak positive linear relationships were found between humification coefficients and the C:N ratios of catch crops.

Humification coefficients and differences in aboveground C yields between fertilized and non-fertilized catch crops in the field (see part 2.4.2) allowed to calculate EOC from the aboveground biomass. From all early sown catch crops, black oat had the highest EOC yield and grass-clover the lowest. Differences in EOC between fertilized (60 kg N ha⁻¹) and non-fertilized early sown catch crops were relatively small (41-224 kg EOC ha⁻¹). Both in November and in spring, black oat showed the highest increase in EOC due to fertilization.

Finally it should be stressed that the EOC values pertain only to the aboveground biomass, while the contribution of the belowground biomass should not be underestimated. Additional research and the draft literature review have shown that the belowground biomass can vary from 10 to 75% of the total biomass of a catch crop. The high variability in this ratio can mainly be explained by the catch crop species and the sampling date.

4.4 BIOLOGICAL SOIL QUALITY

4.4.1 INTRODUCTION

The presence and the incorporation of catch crops can have an effect on the biological soil quality. A selection of soil samples of the N mineralization experiment (see part 4.2) were used to quantify this effect. On these soil samples, the microbial biomass, the composition and concentration of microbial phospholipid fatty acids (PLFA) and the enzyme activity of dehydrogenase and β -glucosaminidase were determined. Most of the experiments were carried out on 3 sampling dates: just before incorporation and after 4 weeks and 14 weeks of incubation. The selected soil was from Lemberge (sandy loam) and had been sampled in the field in the beginning of January. Each time, non-fertilized treatments were selected. For white mustard soil samples with and without incorporated material were included. For other catch crops only soil samples with incorporated material were included.

4.4.2 RESULTS

For none of the sampling dates biological soil quality parameters showed significant differences between the bare fallow and a soil under white mustard (without incorporated material). However, incorporation of aboveground catch crop material caused significant effects on biological soil quality parameters 4 weeks after incorporation, depending on the catch crop type. Effects of incorporated white mustard were clearly smaller, while those of incorporated black oat were bigger and lasted longer (up to 14 weeks). In general, incorporation of catch crops caused a short lasting increase of microbial biomass and enzyme activity, with a proportionally higher increase for fungi than for bacteria.

5 MODEL SIMULATIONS OF C-DYNAMICS

In the long term, the use of catch crops in a rotation can lead to an increased organic carbon (OC) content in the soil. Simulations were carried out over a period of 30 years with a 4-year rotation including 2 years of winter barley followed by catch crops. Average C yields of aboveground and belowground parts of catch crops sampled in the experimental fields were used.

Simulations with catch crops in the rotation led to an increased OC content of the soil after 30 years compared to simulations without catch crops in the rotation. The increase was highest for the simulation with black oat. The simulated OC content was higher when catch crops were receiving a manure application as a result of the carbon input from the manure at one side and the higher C yield of the catch crop at the other side.

6 GENERAL CONCLUSIONS

6.1 REPRESENTATIVITY OF THE EXPERIMENTAL FIELDS

- Catch crops were sown after harvest of winter cereals on 8 locations and during 2 experimental years (2011-2013). Together they made up a representative sample for agricultural soils which are used for winter cereal cultivation in Flanders.

6.2 SOIL MINERAL NITROGEN

- When sown in good circumstances before the 1st of September, non-fertilized and fertilized catch crops developed well, took up N_{\min} from the soil in autumn and reduced the risk of N losses during winter.
- For catch crops sown before the 1st of September, no significant mean differences ($< 5 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in autumn (October-November) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 60 kg N ha^{-1} pig slurry application. However, significant differences were found for the corresponding bare fallows.
- For catch crops sown before the 1st of September, no significant mean differences ($\leq 10 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in spring (February-April) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 60 kg N ha^{-1} pig slurry application, except for black oat where differences were significant.
- For catch crops sown before the 1st of September, significant mean differences ($8\text{-}21 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in autumn (October-November) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 120 kg N ha^{-1} pig slurry application. For the corresponding bare fallow treatments these differences were bigger and also significant.
- For catch crops sown before the 1st of September, slightly bigger but non-significant mean differences ($1\text{-}26 \text{ kg N ha}^{-1}$) were found in spring (February-April) between non-fertilized catch crops and catch crops fertilized with a 120 kg N ha^{-1} pig slurry application. Exceptions to this case are white mustard and black oat sown at the end of August where these differences were significant.
- If catch crops were sown after the 31st of August, a 60 kg N ha^{-1} pig slurry application led to a significant increase in N_{\min} in autumn compared to non-fertilized treatments.
- Non-frost resistant catch crops die during winter and mineralize partly in spring; fertilized and/or late sown catch crops release more N_{\min} than non-fertilized and/or early sown catch crops.

6.3 SIMULATED N LOSSES

- Simulations showed strong reduction of nitrate leaching due to the presence of catch crops on 6 out of 8 field trials and under different weather conditions on loamy sand and silt loam. Under grass-clover nitrate leaching was higher than under the 3 other catch crops. In general the reduction of nitrate leaching by catch crops was stronger on heavier soil textures and with lower initial N_{\min} contents.
- Simulated average nitrate concentrations at 90 cm depth showed only small positive or negative differences between early sown catch crops with or without application of manure (60 kg N ha^{-1}). When sown late, a relatively high increase of the nitrate concentration was simulated due to the application of

manure, but only under black oat and under grass-clover during cold and/or wet weather conditions, for which an overestimation by the model could not be excluded.

- Simulated gaseous N losses were generally small ($< 7 \text{ kg N ha}^{-1}$) and even negligible on sandy soils. Gaseous losses increased slightly with increasing manure application rate, both under bare fallows and under catch crops. The major part of the gaseous N losses was released shortly after application of the manure. Between corresponding treatments with and without catch crops, gaseous losses were comparable or smaller under catch crops.

6.4 N-RELEASE FROM INCORPORATED CATCH CROPS

- The net release of mineral N from incorporated aboveground parts of catch crops in a mineralization experiment was positively correlated to the C:N ratio. Non-frost resistant catch crops had an immobilizing effect and should be incorporated 4 to 6 weeks before the sowing date of the next crop. Frost resistant crops released N faster in the mineralization experiment, implying that they could be incorporated shortly before the sowing date of the next crop.
- The N release from the (fertilized) catch crop should be taken into account to avoid over-fertilization of the next crop. When incorporated in spring, non-frost resistant crops (with or without application of 60 kg N ha^{-1}) release about 10 kg N ha^{-1} during the growing season of the next crop. Frost resistant crops release about 20 kg N ha^{-1} (without manure application) to 30 kg N ha^{-1} (with application of 60 kg N ha^{-1}). When catch crops are incorporated in autumn it is important to assess the past winter to decide whether the N-delivery has to be taken into account or not: during a warm and wet winter N will be mineralized and leached. Only during a cold and/or dry winter the full N delivery has to be taken into account.
- Flail mowing of catch crops before incorporation in autumn or during winter increased the risk of N losses and should be avoided.

6.5 SOIL ORGANIC MATTER AND BIOLOGICAL SOIL QUALITY

- Aboveground parts of catch crops contribute to the soil organic matter after incorporation. In an incubation experiment the highest humification coefficient was found for black oat (48-56%) and the lowest for white mustard (26-33%). Humification coefficients were always slightly higher on silt loam than on sandy loam.
- Average aboveground effective organic carbon (EOC) yields for early sown catch crops were between 77 and 512 kg ha^{-1} (non-fertilized) and between 129 and 736 kg ha^{-1} (fertilized with 60 kg N ha^{-1}) on heavy textures at the end of November. On light textures in spring, average EOC yields were between 132 and 572 kg ha^{-1} for non-fertilized catch crops and between 210 and 718 kg ha^{-1} for fertilized (60 kg N ha^{-1}) catch crops. Average aboveground EOC yields were always highest for black oat and lowest for the grass-clover mixture.
- Fertilization (60 and 120 kg N ha^{-1}) of catch crops increased aboveground C and EOC yields significantly for all catch crops in autumn and for frost-resistant crops also in spring. However, the effect of fertilization (60 kg N ha^{-1}) on aboveground EOC yield was small (41 to $224 \text{ kg EOC ha}^{-1}$) compared to the differences in EOC yields between catch crop species. Black oat showed the highest absolute increase in EOC yield due to fertilization.

- Simulations with a 4-year rotation including 2 years of winter barley followed by catch crops led to an increased OC content of the soil after 30 years compared to simulations without catch crops in the same rotation. The increase was highest for the simulation with early sown black oat. The simulated OC content was higher when catch crops were receiving a manure application as a result of the carbon input from the manure at one side and the higher C yield of the catch crop at the other side.
- Shortly after incorporating catch crops, microbial biomass and enzyme activities increased. The increase was proportionally higher for fungi than for bacteria. Effects were highest and longer lasting (up to 14 weeks) for black oat.

6.6 CHOICE OF A CATCH CROP

- Catch crops which are known to show limited growth under cold weather conditions should not receive any manure application when sown after mid-August. Limited growth at lower temperatures was simulated for black oat and for the grass-clover mixture.
- It is advisable to choose non-frost resistant catch crops if these are incorporated in autumn (on heavy soils): they take N up more quickly and release N more slowly after incorporation.
- In case of a late crop (such as maize) following a catch crop incorporated in spring, it is advisable to choose frost resistant catch crops to reduce risks of N losses in spring.
- If the contribution of the catch crop to the soil organic matter pool is considered as important, black oat seems to be the preferred catch crop.
- All catch crops should be sown under favorable conditions. If this cannot be guaranteed by the farmer (through irrigation during drought or resowing catch crops after storm) the catch crop must not be fertilized.
- The choice of a catch crop can also be influenced by different other factors: catch crops can play an important role in the abatement of soil erosion, in the suppression of weeds and in pest control of nematodes. Some catch crops can also serve as animal fodder.

1 INLEIDING

Op 1 oktober 2011 ging de uitvoeringstermijn van de overeenkomst inzake de onderzoeksopdracht 'Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/vanggewassen' van start. Deze onderzoeksopdracht werd uitgeschreven door de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) en werd voorgelegd aan het Onderzoeks- en voorlichtingsplatform duurzame bemesting. Het platform werd opgericht als één van de flankerende maatregelen van Mestactieplan IV.

Het gebruik van vanggewassen is een agromilieumaatregel die tot doel heeft de verliezen van stikstof na een bepaalde teelt (in casu graangewassen) te verminderen in vergelijking met een teelt die niet door een vanggewas wordt gevolgd. Bij toediening van een bijkomende bemesting op de graanstoppel moet het dus zo zijn dat de N-verliezen door uitspoeling kleiner zijn dan bij een (onbemeste) graanstoppel die niet gevolgd wordt door een vanggewas. Bovendien mogen de verliezen niet significant groter zijn dan bij een graanstoppel gevolgd door een niet-bemest vanggewas. De onderzoeksvraag vanuit de VLM was dus in eerste instantie of een bemesting op de graanstoppel, gevolgd door een vanggewas, mogelijk is binnen deze randvoorwaarden, en hoe groot deze bemesting dan kan zijn. Aangezien deze bemesting op de stoppel momenteel begrepen is in de totale bemestingsnorm voor het graangewas is het noodzakelijk een globale evaluatie van de bemestingsnorm uit te voeren. Bijkomend moet nagegaan worden wat de effecten zijn van het inbrengen van het vanggewas, met bijkomende bemesting, op de opbouw van organische (kool)stof in de bodem. Binnen de steeds strenger wordende bemestingsnormen in Vlaanderen is het behoud of de opbouw van bodem organische stof immers een zeer grote bezorgdheid. Het doel van het onderzoeksproject was om via een combinatie van een literatuurstudie, gerichte veldproeven, incubatieproeven en modellering een antwoord te geven op deze vragen.

De kern van het onderzoeksproject was gebaseerd op veldproeven die twee jaar na elkaar 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 varkensmest 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. Om de factor zaaitijdstip mee te nemen in de proef, gebeurde het inzaaien op twee verschillende tijdstippen. Op drie locaties werd tevens een grasklavermengsel (Engels raaigras en klaver) 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 geoogste graangewas met een totaalherbicide afgedood. De hele proefopzet werd uitgevoerd in vier herhalingen.

Aangezien de veldproeven slechts werden aangelegd over 2 proefjaren, werd met behulp van modelsimulaties de invloed van verschillende weersomstandigheden op de opnamecapaciteit van de vanggewassen nagegaan. Bijkomend werd de stikstofnalevering uit het vanggewas bepaald en werd het effect bekeken van het frequent toepassen van al dan niet bemeste vanggewassen op de opbouw van de bodemorganische stof.

Dit eindrapport geeft een overzicht van de proefopzet, van de resultaten uit de veld- en incubatieproeven en van de modelsimulaties. Op basis daarvan worden wetenschappelijk onderbouwde besluiten geformuleerd met betrekking tot de toepasbaarheid van dierlijke mest op een graanstoppel in Vlaanderen.

De overeenkomst voor het uitvoeren van de onderzoeksopdracht werd afgesloten tussen enerzijds de VLM en anderzijds het consortium van de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro.

De leden van het consortium waren:

- voor de Universiteit Gent:
 - Stefaan De Neve (projectcoördinator)
 - Jeroen De Waele
- voor de Hogeschool Gent:
 - Geert Haesaert
 - Greet Verlinden / Veerle Derycke
- voor het ILVO:
 - Bart Vandecasteele
 - Alex De Vliegheer
- voor de Bodemkundige Dienst:
 - Jan Bries
 - Wendy Odeurs
 - Annemie Elsen
- voor Inagro:
 - Daniël Wittouck
 - Kristof Boone

De voortgang van de onderzoeksoopdracht werd opgevolgd door een stuurgroep die minstens om de 6 maanden samenkomt en was samengesteld uit:

- vertegenwoordigers van de VLM
 - Sofie Ducheyne
 - Koen Desimpelaere / Luc Gallopyn
 - Christine Vandierendounck
 - Peter Schildermans
 - Els Daemen
 - Denise Devenyns
 - Annelies Vermeiren
- vertegenwoordigers van het onderzoeks- en voorlichtingsplatform duurzame bemesting
 - Georges Hofman
 - Karoline D'Haene
- 1 vertegenwoordiger van het kabinet van de Vlaamse Minister van Leefmilieu
 - Sibylle Verplaetse
- 1 vertegenwoordiger van het departement LNE
 - Joost Salomez
- 1 vertegenwoordiger van de Vlaamse Milieumaatschappij
 - Ann Huysmans / Kor Van Hoof / Annelise Bakelants
- vertegenwoordigers van de landbouworganisaties
 - Toon De Keukelaere (Boerenbond)
 - Guy Depraetere / Hendrik Vandamme (Algemeen Boerensyndicaat)
- vertegenwoordigers van de natuur- en milieuorganisaties
 - An Jamart (Bioforum)
 - Jeroen Gillabel (Bond Beter Leefmilieu)
 - Annelore Nys (Natuurpunt)

2 DUIDING BIJ TEKST EN FIGUREN

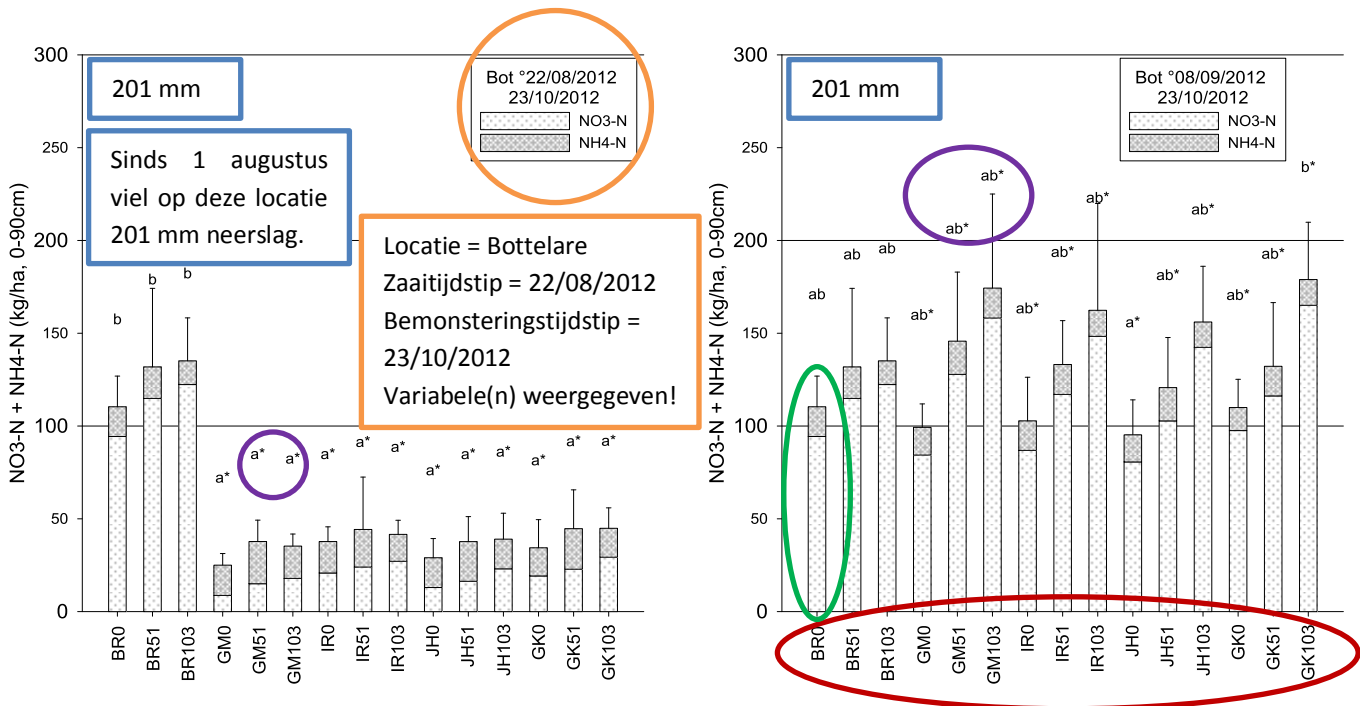
Zowel in de tekst als in de figuren wordt regelmatig gebruik gemaakt van onderstaande afkortingen, tekens of combinaties van cijfers en letters. Soms worden in de tekst ook logische variaties gemaakt op de afkortingen opgenomen in onderstaande lijst.

TABEL 1: LIJST MET AFKORTINGEN

°22/08/2011	Zaaidatum = 22/08/2011 (voorbeeld)
BOT	Bottelare
BR	Braakbehandeling
BR0	Braakbehandeling zonder toegediende bemesting
BR60	Braakbehandeling met 60 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
BR120	Braakbehandeling met 120 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
C _{plant}	Bovengrondse C-opbrengst
DS	Droge stof
EOC	Effectief organische koolstof
EU	Europese Unie
GK	Grasklavermengsel (= Engels raaigras + klaver)
GK0	Grasklavermengsel zonder toegediende bemesting
GK120	Grasklavermengsel met 120 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
GK60	Grasklavermengsel met 60 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
GM	Gele mosterd
GM0	Gele mosterd zonder toegediende bemesting
GM60	Gele mosterd met 60 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
GM120	Gele mosterd met 120 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
IR	Italiaans raaigras
IR0	Italiaans raaigras zonder toegediende bemesting
IR60	Italiaans raaigras met 60 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
IR120	Italiaans raaigras met 120 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
JH	Japanse haver
JH0	Japanse haver zonder toegediende bemesting
JH60	Japanse haver met 60 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
JH120	Japanse haver met 120 kg N ha ⁻¹ toegediend onder vorm van varkensmengmenst
L	Links
LEM	Lemberge
MER	Merelbeke

N _{min}	Minerale bodemstikstof
N _{plant}	Bovengrondse N-opbrengst
N _{plant-mest}	Bovengrondse stikstofopbrengst verminderd met de minerale N vrijgesteld uit de varkensmest
OC	Organische koolstof
OOS	Oostende
OS	Organische stof
R	Rechts
RUK	Rukelingen-Loon
STD	Sint-Denijs

Voor een goede interpretatie van een aantal figuren wordt a.d.h.v. volgende voorbeeld toegelicht wat er kan waargenomen worden. Voor statistische testen (ANOVA Tukey-test en LSD-test) werden telkens de voorwaarden van normaliteit en homogene varianties nagegaan. Indien hieraan niet werd voldaan, werd de dataset onderworpen aan transformaties of werd, indien transformaties geen oplossing brachten, gekozen voor een niet-parametrische statistische test (Kruskal-Wallis-test).



Statistische groepen: verschillende letters wijzen binnen dezelfde grafiek op significante verschillen (ANOVA, Tukey-test: $p < 0,05$). De * wijzen op significante onderlinge verschillen tussen beide zaaitijdstippen (ANOVA, LSD-test: $p < 0,05$).

NO₃-N en NH₄-N en standaard afwijking van de metingen op de som van NO₃-N en NH₄-N (= N_{min})

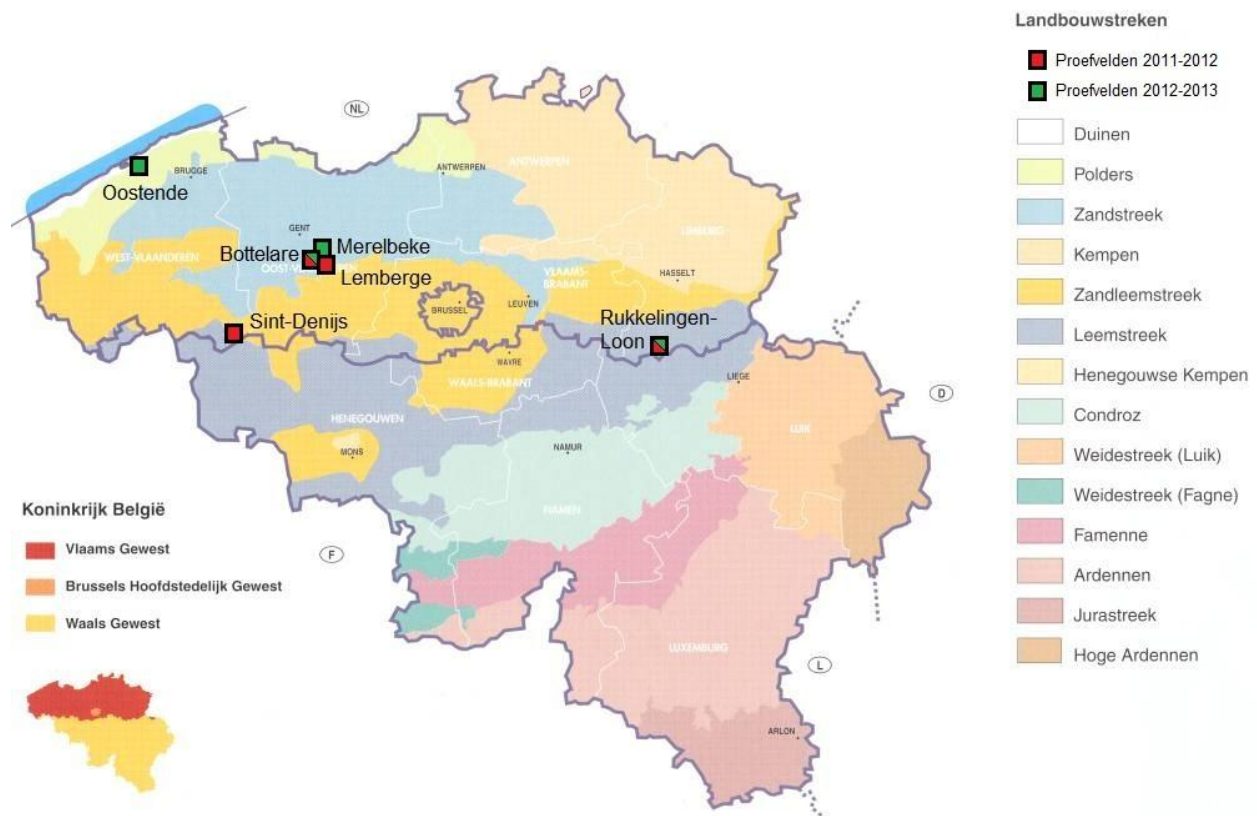
Verschillende behandelingen: zo komen GM51 en GM103 overeen met gele mosterd die op deze locatie 51 en 103 kg N ha⁻¹ toegediend kreeg onder de vorm van varkensmest.

3 VELDPROEVEN

3.1 PROEFOPZET

3.1.1 LOCATIES VELDPROEVEN

In het eerste proefjaar (2011-2012) werden veldproeven aangelegd in Bottelare, Lemberge, Rukkelingen-Loon en Sint-Denijs (Figuur 1). De veldproef in Bottelare werd aangelegd over twee niet-aangrenzende percelen, terwijl op de andere locaties telkens één perceel volstond. In het tweede proefjaar (2012-2013) werden veldproeven aangelegd op vier andere percelen in Bottelare, Merelbeke, Oostende en Rukkelingen-Loon (Figuur 1).



FIGUUR 1: LOCATIES VAN DE VELDPROEVEN VOOR BEIDE PROEFJAREN (2011-2012 EN 2012-2013).

3.1.2 PROEFOPZET

De aanleg van de veldproeven gebeurde in beide proefjaren rekening houdend met volgende factoren:

1. Textuur: afhankelijk van de proefveldlocatie (zie 3.2.1)
2. Vanggewas: 3 tot 4 vanggewassen en 1 braakbehandeling per locatie
3. Bemestingsniveau: Telkens 1 controlebehandeling (0 kg N ha^{-1}) en 2 behandelingen met varkensmest (ongeveer 60 en 120 kg N ha^{-1})
4. Zaaitijdstip: twee zaaitijdstippen gescheiden door 14 tot 29 dagen, afhankelijk van de locatie

5. Herhaling: voor elke combinatie van de bovenstaande factoren werden steeds 4 herhalingen aangelegd. Voor de braakbehandeling werd echter geen onderscheid gemaakt tussen de twee zaaitijdstippen (uitzonderlijk wel voor 2 locaties in het eerste proefjaar)

De teelttechnische gegevens aangaande de aanleg van de proefvelden kunnen teruggevonden worden in Bijlage 1. De stoppel van de wintergranen (triticale, wintergerst of wintertarwe, afhankelijk van de locatie) werd telkens ondiep ingewerkt. In Lemberge werd de stoppel vooraf gekleped. De mengmest werd toegediend met een injecteur of met behulp van sleepslangen. In het eerste proefjaar werden nog verschillende soorten varkensmengmest toegediend, maar in het tweede proefjaar was dit overal mestvarkensmengmest. De mengmest werd vooraf bemonsterd in de mestput om de juiste dosering in te schatten. Bij het toedienen werd een nieuw mengmonster genomen om de exacte hoeveelheid toegediende stikstof te bepalen (Tabel 2).

TABEL 2: WINTERGRAAN, INGEZAAIDE SOORTEN VANGGEWASSEN, ZAAITIJDSIPPEN EN DE HOEVEELHEDEN MENGMEEST EN TOTALE N IN DE MENGMEEST TOEGEDIEND PER LOCATIE.

Proefveld	Proefjaar	Voorgewas	Vanggewassen	Zaaitijdstip	Stikstof (kg N ha ⁻¹)	Mengmest (ton ha ⁻¹)
Bottelare 1	2011-2012	Triticale	GM, IR, JH	1 ^e : 10/08/2011	77 en 154	14,5 en 29
Bottelare 2	2011-2012	Wintertarwe	GM, IR, JH	2 ^e : 29/08/2011	77 en 154	14,5 en 29
Lemberge	2011-2012	Wintergerst	GM, IR, JH, GK	1 ^e : 04/08/2011 2 ^e : 31/08/2011	53 en 106	7 en 14
Rukkelingen-Loon	2011-2012	Wintertarwe	GM, IR, JH, GK	1 ^e : 18/08/2011 2 ^e : 31/08/2011	44 en 88	8 en 16
Sint-Denijs	2011-2012	Wintertarwe	GM, IR, JH, GK	1 ^e : 12/08/2011 2 ^e : 30/08/2011	39 en 78	14 en 28
Bottelare	2012-2013	Triticale	GM, IR, JH, GK	1 ^e : 22/08/2012 2 ^e : 08/09/2012	51 en 103	8 en 17
Merelbeke	2012-2013	Wintergerst	GM, IR, JH, GK	1 ^e : 01/08/2012 2 ^e : 30/08/2012	57 en 114	8 en 16
Oostende	2012-2013	Wintertarwe	GM, IR, JH	1 ^e : 22/08/2012 2 ^e : 11/09/2012	64 en 128	9 en 18
Rukkelingen-Loon	2012-2013	Wintertarwe	GM, IR, JH, GK	1 ^e : 21/08/2012 2 ^e : 05/09/2012	65 en 131 kg N ha ⁻¹	12 en 24

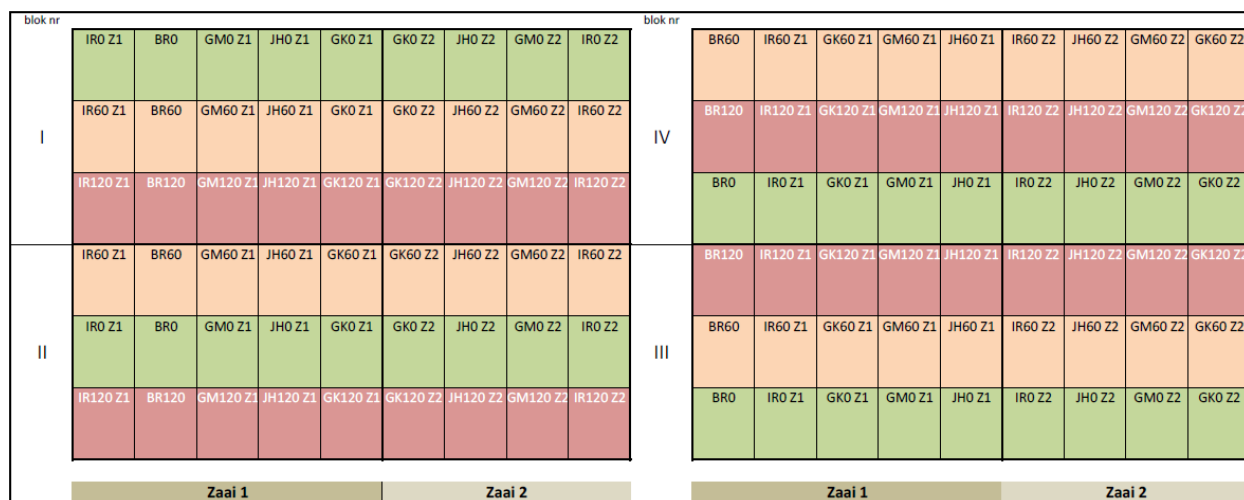
De ingezaaide soorten vanggewassen waren overal dezelfde, hoewel het eerste jaar in Bottelare en het tweede jaar in Oostende geen grasklavermengsel werd ingezaaid. In het eerste proefjaar verschilden de zaaidichtheden en de rassen van de ingezaaide vanggewassen van locatie tot locatie (Bijlage 1), maar in het tweede proefjaar waren de rassenkeuze en de zaaidichtheden uniform over de verschillende locaties (Tabel 3). De rijafstand bleef weliswaar afhankelijk van de gebruikte zaaimachine.

Het grasklavermengsel bestond uit Engels raai gras en rode en witte klaver. Het aandeel klaver in de drogestofopbrengst was beperkt en schommelde in Lemberge/Merelbeke tussen 4% (120N, 2^e proefjaar) en 19% (0N, 1^e proefjaar) voor de 1^e zaai en tussen 1% (120N, 2^e proefjaar) en 8% (60N, 1^e proefjaar) voor de 2^e zaai. De N-fixatie door de klaver werd dan ook zeer laag ingeschat.

TABEL 3: VARIËTEITEN EN ZAAIDICHTHEDEN VOOR DE IN HET 2^F PROEFJAAR GEBRUIKTE VANGGEWASSEN.

Vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Engels raaigras + rode en witte klaver
Wetenschappelijke naam	Sinapsis alba	Lolium multiflorum	Avena strigosa	Lolium perenne + Trifolium pratense + Trifolium repens
Variëteit	Salsa	Meltop	Pratex	Melpro/Meltador/ Merviot/Merwi
Zaadichtheid	25 kg ha ⁻¹	45 kg ha ⁻¹	75 kg ha ⁻¹	Engels raaigras: 30 kg ha ⁻¹ Rode klaver: 8 kg ha ⁻¹ Witte klaver: 4 kg ha ⁻¹
Rijafstand	10,5 - 15 cm	10,5 - 15 cm	10,5 - 15 cm	10,5 - 15 cm

De proefvelden werden in de mate van het mogelijke *random* aangelegd, maar omwille van praktische redenen diende zowel de bemesting als het inzaaien per herhaling strooksgewijs uitgevoerd te worden (Figuur 2). Dit had echter geen implicaties op de statistische interpretatie van de resultaten. Het proefplan was verschillend voor elke locatie en van jaar tot jaar; alle proefplannen met inbegrip van de afmetingen zijn gebundeld in Bijlage 2.



FIGUUR 2: PROEFPLAN VAN DE VELDPROEF IN MERELBEKE (2012-2013). DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN ZIJN COMBINATIES VAN HET SOORT VANGGEWAS (BR = BRAAK, GM = GELE MOSTERD, IR = ITALIAANS RAAIGRAS, JH = JAPANSE HAVER, GK = GRASKLAVER), HET BEMESTINGSNIVEAU (0, 60 EN 120 KG N HA⁻¹) EN HET ZAAITIJDS TIP (Z1 EN Z2). DE VIER HERHALINGEN KOMEN OVEREEN MET DE VIER BLOKKEN I, II, III EN IV.

3.2 BODEMEIGENSCHAPPEN

3.2.1 TEXTUUR, pH, ORGANISCHE KOOLSTOF EN CALCIUMCARBONAAT

De textuur en het CaCO₃-gehalte van de bouwvoor (0-23 cm of 0-30 cm) werden bepaald voor de verschillende proefpercelen. Dit gebeurde voor sommige locaties op een mengmonster van monsters genomen voor de bepaling van minerale bodemstikstof; voor andere locaties werden afzonderlijke monsters genomen verspreid over het perceel. Voor de pH en het organisch koolstofgehalte (OC) werd de bouwvoor in beide proefjaren bemonsterd in de periode juli-augustus. Aanvullend werden op deze initiële monsters tevens de gehalten aan P, K, Mg, Ca en Na bepaald a.d.h.v. een ICP (inductief gekoppeld plasma) na extractie met ammoniumlactaat.

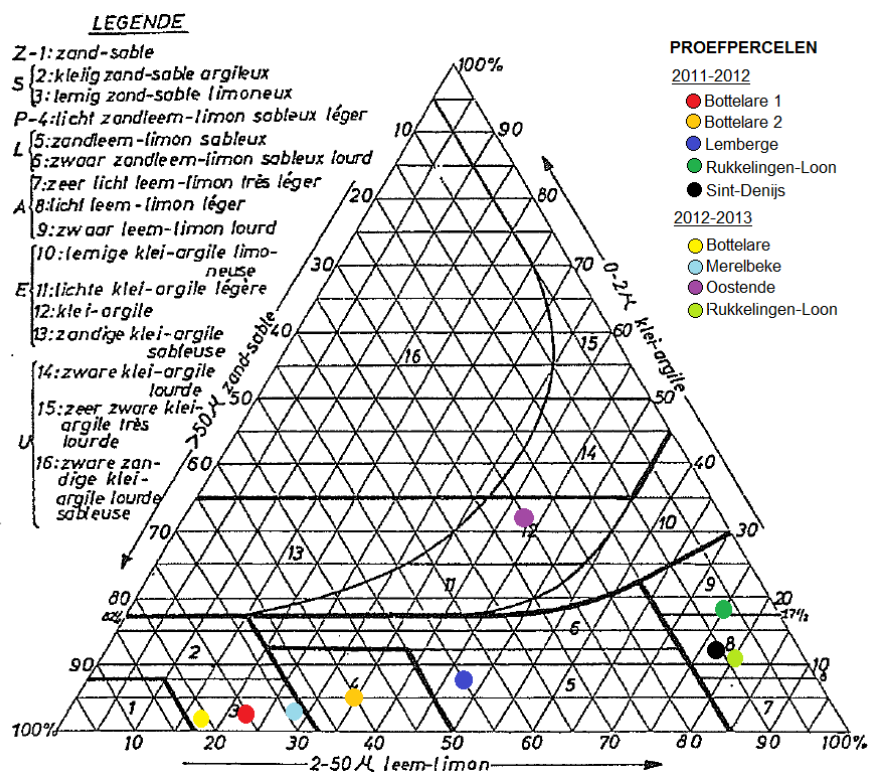
De pH werd gemeten in een 1M KCl-oplossing (1:5) volgens ISO 10390. Het OC-gehalte werd bepaald volgens de (gewijzigde) dichromaatmethode of door verbranding bij 1050°C met een TOC-analyzer (Skalar Primacs SLC) volgens ISO 10694. Voor de verschillende locaties lag het OC-gehalte tussen 0,8 en 1,25%. Het CaCO₃-gehalte werd bepaald a.d.h.v. een terugtitratie van de overmaat zwavelzuur met NaOH en lag tussen 0,00 en 1,17%. De granulometrische textuurbepaling werd uitgevoerd volgens de pipetmethode van Robinson-Köhn, volgend op een initiële bepaling door palpatie (Bijlage 3).

De resultaten voor de pH, OC- en CaCO₃-gehalte (Tabel 4) en de resultaten van de ontleding met de ICP (Bijlage 3) vertoonden nergens uitzonderlijke waarden, wat aangeeft dat de resultaten uit dit onderzoek representatief zijn voor de Vlaamse landbouwbodems waarop wintergranen worden geteeld.

TABEL 4: TEXTUUR, pH, ORGANISCH KOOLSTOFGEHALTE EN CaCO₃-GEHALTE VAN DE BOUWVOOR VAN DE PROEFVELDEN.

Locatie	Proefjaar	pH-KCl	OC (%)	CaCO ₃ (%)	Zand (%)	Leem (%)	Klei (%)	Belgische textuurklasse
Bottelare 1	2011-2012	5,0	1,0	0,00	75,2	21,3	3,4	Lemig zand
Bottelare 2	2011-2012	5,7	0,8	0,00	60,7	34,5	4,8	Licht zandleem
Lemberge	2011-2012	5,6	1,4	0,00	45,6	47,3	7,1	Zandleem
Rukkelingen-Loon	2011-2012	6,8	1,2	0,26	7,5	74,5	17,9	Zwaar leem
Sint-Denijs	2011-2012	6,8	1,07	0,13	10,5	76,5	13,0	Licht leem
Bottelare	2012-2013	5,2	1,23	0,00	81,3	16,2	2,4	Lemig zand
Merelbeke	2012-2013	5,6	1,13	0,00	68,4	27,8	3,8	Lemig zand
Oostende	2012-2013	7,2	1,25	1,17	25,9	42,1	32,0	Klei
Rukkelingen-Loon	2012-2013	6,6	1,10	0,23	8,6	80,0	11,4	Licht leem

De verdeling van de textuurklassen van de verschillende proefpercelen over de Belgische textuurdriehoek (Figuur 3) wijst eveneens op een evenwichtige vertegenwoordiging van de bodems die in Vlaanderen gebruikt worden voor het telen van wintergranen.



FIGUUR 3: CLASSIFICATIE VAN DE TEXTUUR VAN DE BOUWVOOR VAN DE 9 PROEFPERCELEN VOLGENS DE BELGISCHE TEXTUURDRIEHOEK.

3.2.2 BODEMDICHTHEID

De bodemdichtheid van de droge bodem of schijnbare dichtheid wordt gebruikt voor de omrekening van minerale N-concentraties in de bodem in mg N kg^{-1} bodem naar kg N ha^{-1} . Ook voor de modelsimulaties werden de schijnbare dichtheden gebruikt. Tijdens de winter werden op elke proefperceel voor de 3 dieptes (0-30, 30-60 en 60-90 cm) 8 ongestoorde ringmonsters genomen om de schijnbare dichtheid te bepalen (Tabel 5). Enkel voor het eerste proefjaar te Bottelare werden op perceel 1 per bodemlaag slechts 4 ringmonsters genomen aangezien daar slechts één zaaitijdstip werd opgevolgd. De ringmonsters met een volume van 100 cm^3 werden gewogen na 24 uur gedroogd te zijn in een oven op 105°C .

TABEL 5: SCHIJNBARE DICHTHEID (G CM^{-3}) VAN DE 3 BODEMLAGEN (0-30, 30-60, 60-90 CM) VOOR DE VERSCHILLENDE PROEFVELDLOCATIES.

Locatie	Proefjaar	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Bottelare 1	2011-2012	$1,520 \pm 0,012$	$1,641 \pm 0,037$	$1,602 \pm 0,046$
Bottelare 2	2011-2012	$1,560 \pm 0,044$	$1,685 \pm 0,045$	$1,645 \pm 0,040$
Lemberge	2011-2012	$1,416 \pm 0,083$	$1,613 \pm 0,064$	$1,575 \pm 0,063$
Rukkelingen-Loon	2011-2012	$1,513 \pm 0,072$	$1,559 \pm 0,058$	$1,526 \pm 0,082$
Sint-Denijs	2011-2012	$1,508 \pm 0,064$	$1,555 \pm 0,065$	$1,593 \pm 0,039$
Bottelare	2012-2013	$1,525 \pm 0,023$	$1,639 \pm 0,029$	$1,619 \pm 0,082$
Merelbeke	2012-2013	$1,477 \pm 0,050$	$1,660 \pm 0,044$	$1,725 \pm 0,035$
Oostende	2012-2013	$1,421 \pm 0,053$	$1,527 \pm 0,083$	$1,496 \pm 0,065$
Rukkelingen-Loon	2012-2013	$1,540 \pm 0,069$	$1,517 \pm 0,034$	$1,550 \pm 0,045$

3.3 TOEGEDIENDE BEMESTING

3.3.1 WERKWIJZE

Voorafgaand aan de mesttoediening werd in beide proefjaren een mengmonster uit een goed gemengde put geanalyseerd om de toe te dienen hoeveelheid in te schatten. Bij toediening werd eveneens een monster genomen om de exact toegediende hoeveelheid N te bepalen. In het 2^e proefjaar werden aan de mestinjecteur minstens 2 monsters per blok genomen die al dan niet samengevoegd werden tot één mengmonster. Voor 4 blokken (= herhalingen) werden zo 4 tot 8 monsters verkregen die elk geanalyseerd werden.

Op gehomogeniseerde mestmonsters werd het drogestofgehalte bepaald door 50 ml gehomogeniseerd monster gedurende 24 uur bij 103-105 °C te drogen. Het asgehalte werd bepaald door het gedroogde monster te verassen bij 550 °C in een moffeloven gedurende 4 uur. Uit het verschil tussen het droge stof- en asgehalte wordt het gehalte aan organische stof berekend.

Bij voldoende vloeibare mest werd een stoomdestillatie uitgevoerd rechtstreeks op het onverdunde staal. Voor de vaste fractie waar een verdunning werd uitgevoerd bij de staalvoorbereiding, werd er met deze verdunning verder gewerkt voor het inzetten van ammoniakale stikstof. Aan het staal werd MgO toegevoegd tot alkalische reactie. Door stoomdestillatie werd enkel de ammoniakale stikstof vrijgesteld, gebonden als boraat en getitreerd met zoutzuur.

Het gehalte aan organische stikstof werd geanalyseerd op een vers deelstaal via de Kjeldahl-methode.

Het nitriet- en nitraatstikstofgehalte werden op een vers deelstaal gemeten door middel van continuus flow spectrofotometrie.

3.3.2 RESULTATEN

In het eerste proefjaar was de totale N-inhoud van de toegediende mengmest erg verschillend van locatie tot locatie (Tabel 6). In het 2^e jaar werd met succes getracht meer uniform te werk te gaan: de verschillen tussen de locaties waren kleiner (Tabel 7). De spreiding voor de totale hoeveelheid N in de mest over de verschillende monsters was vrij klein, wat toeliet een homogene verdeling van de N-toediening over het veld te aanvaarden.

TABEL 6: SAMENSTELLING VAN DE VARKENSMENGMEST IN HET 1^e PROEFJAAR BIJ TOEDIENING OP HET VELD (VM = VERSE MEST).

Locatie	Bottelare	Lemberge	Rukkelingen-Loon	Sint-Denijs
Droge stof (kg/ton VM)	100,4	95,9	67,7	13,1
Organische stof (kg/ton VM)	71,0	67,1	45,7	5,2
Totale N (kg/ton VM)	5,3	7,6	5,5	2,8
Minerale N (kg/ton VM)	niet bepaald	5,1	3,6	2,7

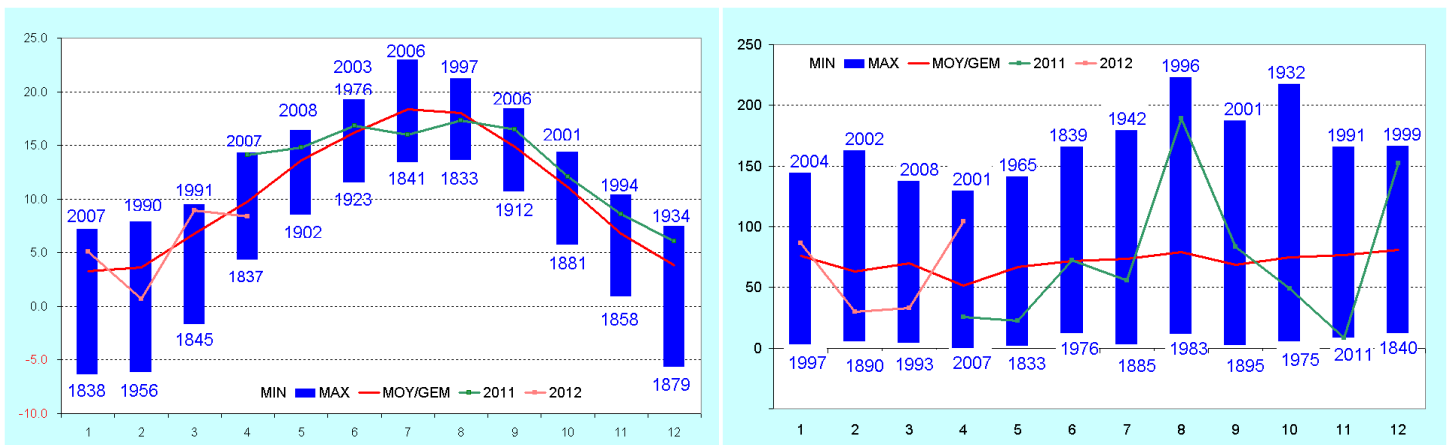
TABEL 7: SAMENSTELLING VAN DE VARKENSMENGMEST IN HET 2^E PROEFJAAR: IN DE PUT EN BIJ TOEDIENING OP HET VELD (MINIMA, MAXIMA EN GEMIDDELDEN; VM = VERSE MEST).

Locatie	Totale N (kg/ton VM)			NH ₃ -N (kg/ton VM)			P ₂ O ₅ (kg/ton VM)		
	put	min-max	gem.	put	min-max	gem.	put	min-max	gem.
Bottelare	7,2	6,13-6,22	6,17	4,6	-	-	3,7	1,98-2,90	2,49
Merelbeke	7,2	7,1-7,1	7,1	4,6	4,6-4,9	4,75	3,7	3,7-4,1	3,83
Oostende	5,9	6,58-7,61	7,11	4,0	3,98-4,67	4,28	2,4	2,66-3,88	3,24
Ruk-Loon	5,5	5,4-5,5	5,45	3,4	2,6-2,8	2,65	3,9	3,2-5,1	3,78

3.4 WEERSOMSTANDIGHEDEN

3.4.1 WEERSOMSTANDIGHEDEN 1^E PROEFJAAR

De weersomstandigheden in de herfst van het 1^e proefjaar waren uitzonderlijk gunstig voor de groei van de vanggewassen. De weersgegevens voor Ukkel (Figuur 4) vertonen voor het najaar van 2011 voor elke maand normale tot iets hogere temperaturen dan de klimatologische gemiddelden. De neerslaghoeveelheid is erg variabel: augustus was zeer nat, september en oktober vrij normaal, november zeer droog en december opnieuw erg nat. Het voorjaar van 2012 was iets droger dan gemiddeld voor februari en maart maar de temperaturen waren vrij normaal.



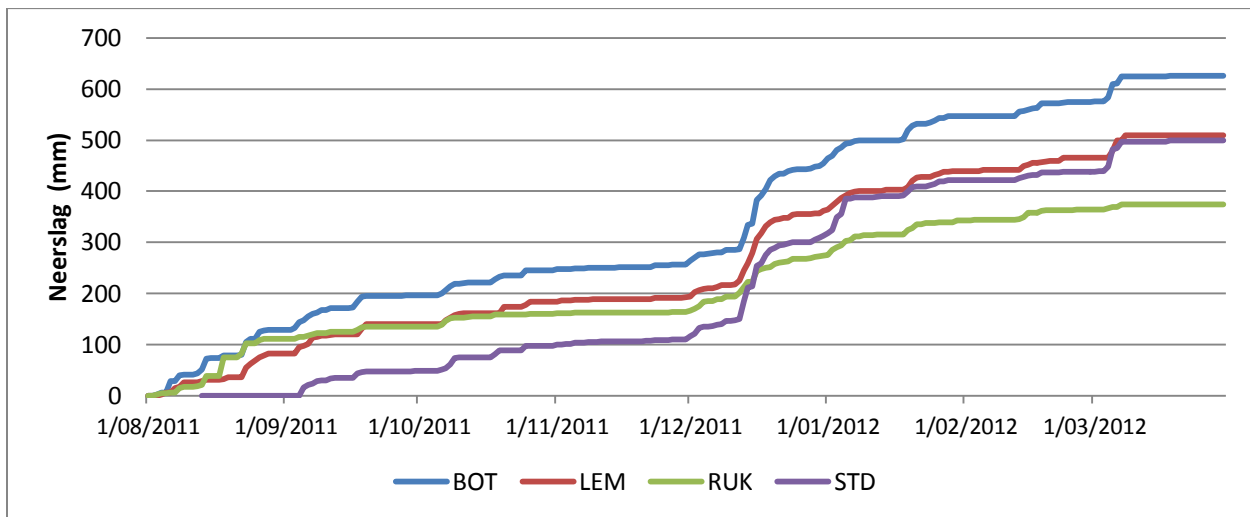
FIGUUR 4: MAANDELIJKE GEMIDDELTE TEMPERatuur (L) EN NEERSLAG (R) APRIL-DECEMBER 2011 EN JANUARI-APRIL 2012 TE UKKEL T.O.V. HET KLIMATOLOGISCH GEMIDDELTE EN DE MINIMA EN MAXIMA OOIET GEMETEN TE UKKEL (KMI, 2012).

Temperatuur en neerslag voor de proefveldlocaties Bottelare, Lemberge, Rukkelingen-Loon en Sint-Denijs (Figuur 5 en Figuur 6) sloten aan bij de waarnemingen uit Ukkel. Er werden wel verschillen waargenomen tussen de locaties.

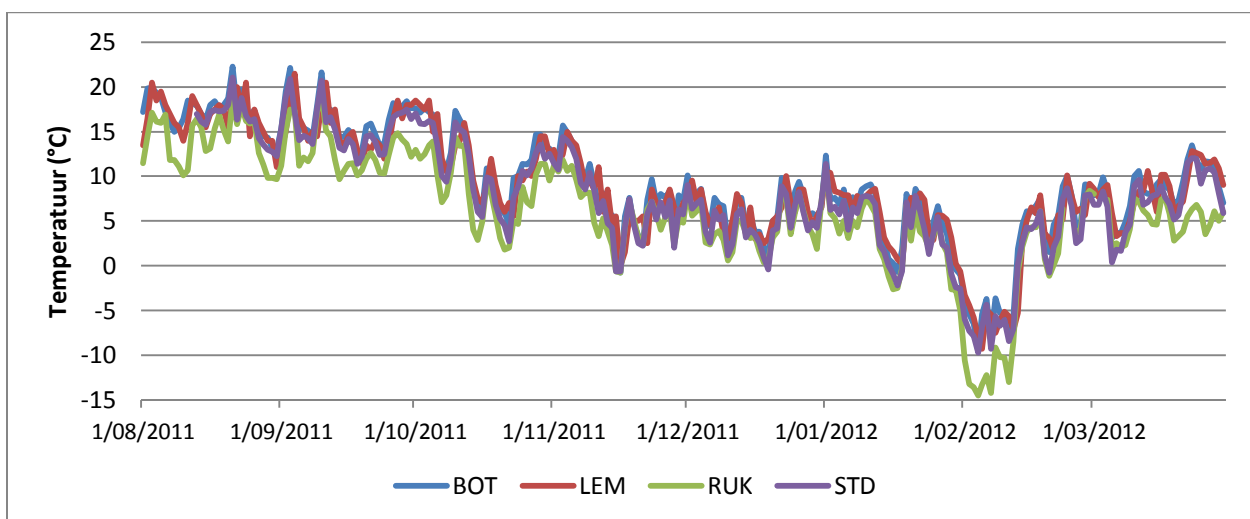
Algemeen waren er 2 grote neerslagperiodes: één in augustus en één in december-januari. In augustus werd in Rukkelingen-Loon stormweer vastgesteld enkele uren na inzaai van de vanggewassen. Een hevige bui (36 mm) verstoortte de goede ontwikkeling van het 1^e zaaitijdstip. In september en oktober waren de weersomstandigheden optimaal voor de ontwikkeling van de vanggewassen: zachte temperaturen, normale neerslaghoeveelheden en veel zon. In november was het nog steeds zonnig en warm, maar op alle locaties

uitzonderlijk droog, waardoor uitspoeling pas mogelijk werd vanaf midden december, toen een periode met grote neerslaghoeveelheden aanbrak. In Rukkelingen-Loon viel minder neerslag dan op de andere locaties.

De dagelijkse gemiddelde temperatuur bleef tot na Nieuwjaar – met uitzondering van 2 korte periodes met lichte nachtvorst – positief. Daardoor was er nog steeds kans op mineralisatie. Er werd visueel waargenomen dat de groei van de vanggewassen sterk afnam, wellicht geïnitieerd door de nachtvorst in november en de kortere daglengte. De niet-winterharde vanggewassen stierven langzaam af. In januari bleven de temperaturen laag en in de 1^e helft van februari was er een langdurige periode met sterk negatieve temperaturen. Er was dan ook geen sprake van mineralisatie of van opname door de winterharde vanggewassen. Nadien steeg de temperatuur opnieuw, waardoor zowel de mineralisatie als de groei van de winterharde vanggewassen hernomen werd. In Rukkelingen-Loon was de temperatuur vooral in de periode februari-maart beduidend lager dan op de andere locaties.



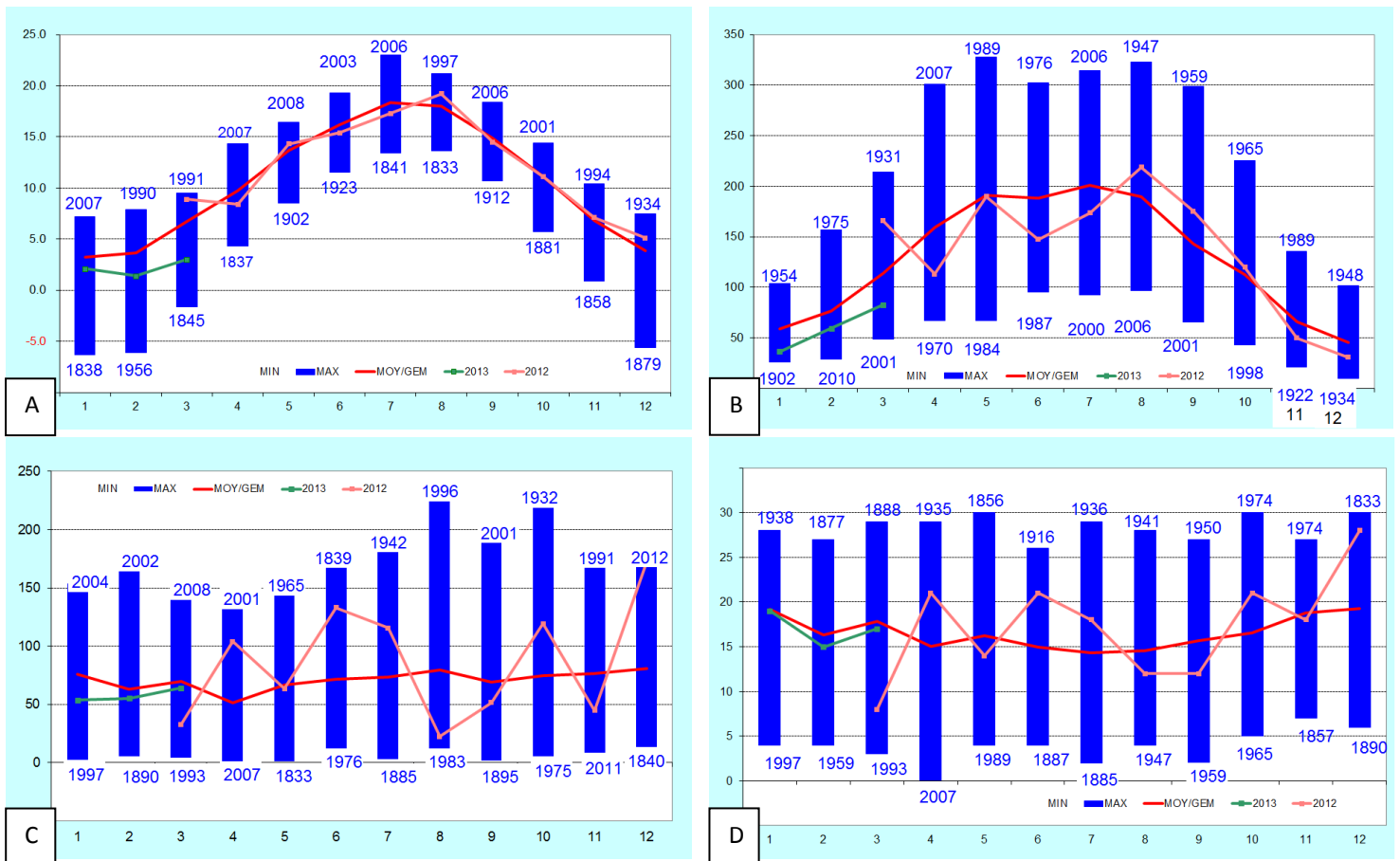
FIGUUR 5: CUMULATIEVE NEERSLAG TUSSEN 1 AUGUSTUS 2011 EN 31 MAART 2012 VOOR DE 4 PROEFVELDLOCATIES. VOOR SINT-DENIJS WERDEN DE NEERSLAGGEGEVENS PAS GEREISTREERD VANAF 13 AUGUSTUS.



FIGUUR 6: GEMIDDELDE DAGELIJKSE TEMPERAATUUR TUSSEN 1 AUGUSTUS 2011 EN 31 MAART 2012 VOOR DE 4 PROEFVELDLOCATIES. VOOR SINT-DENIJS WERD DE TEMPERAATUUR PAS GEREISTREERD VANAF 13 AUGUSTUS.

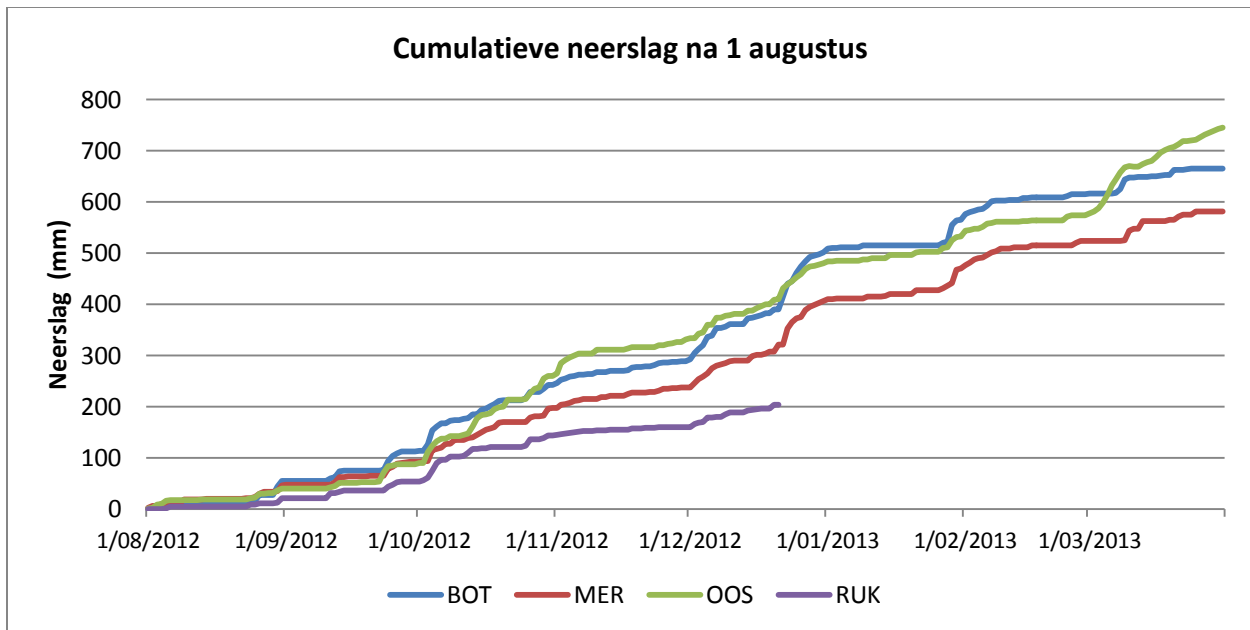
3.4.2 WEERSOMSTANDIGHEDEN 2^E PROEFJAAR

Volgens de maandelijkse temperatuurs- en neerslaggemiddelden voor Ukkel (Figuur 7) was de periode van augustus tot en met november 2012 vrij normaal. Augustus was droog en relatief warm, september normaal en oktober was behoorlijk nat. In november waren de weersomstandigheden normaal. De winter startte met een zachte en zeer natte decembermaand, waardoor late mineralisatie en de kans op uitspoeling zeer groot was. Januari en februari waren relatief koud en ook iets droger dan gemiddeld. Maart was behoorlijk koud en wat betreft neerslag vrij normaal. Mineralisatie in het voorjaar was daardoor in het 2^e proefjaar minder waarschijnlijk dan in het 1^e proefjaar.

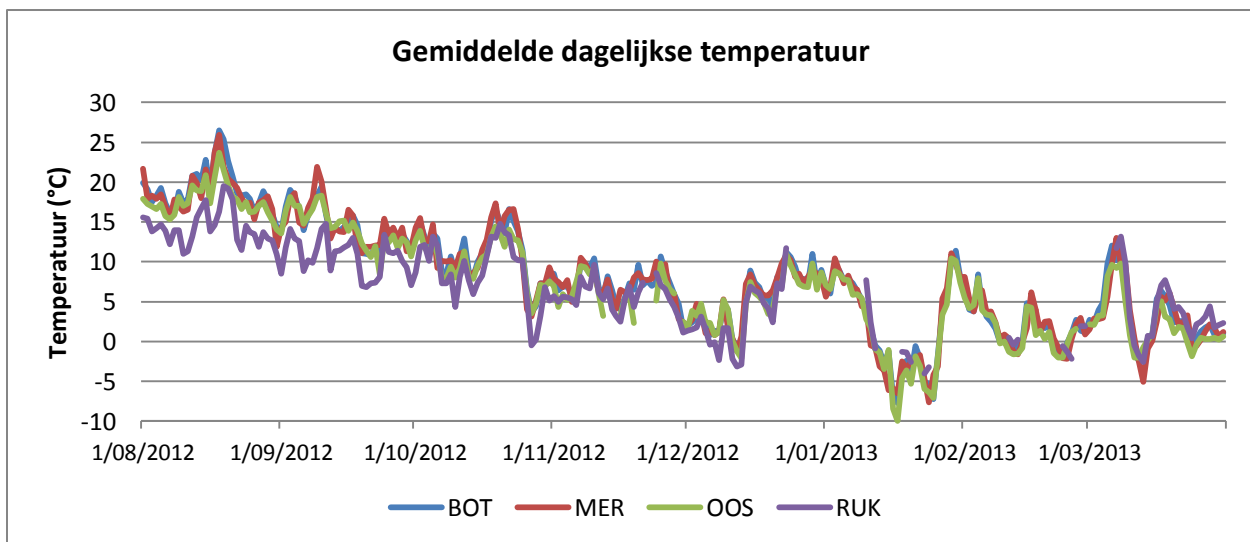


FIGUUR 7: MAANDELIJKE GEMIDDELDE TEMPERAATUUR (A), ZONNESCHIJNUREN (B), NEERSLAG (C) EN AANTAL NEERSLAGDAGEN (D) VOOR MAART-DECEMBER 2012 EN JANUARI-MAART 2013 TE UKKEL T.O.V. HET KLIMATOLOGISCH GEMIDDELDE EN DE MINIMA EN MAXIMA OOIET GEMETEN TE UKKEL (KMI, 2013).

Het weer op de 4 locaties sloot net als in het 1^e proefjaar aan bij de waarnemingen gedaan in Ukkel, maar er waren opnieuw onderlinge verschillen (Figuur 8 en Figuur 9) tussen de locaties: zo is de totale hoeveelheid neerslag gevallen tussen 1 augustus en 21 december in Oostende ongeveer 400 mm, terwijl in Rukkelingen-Loon slechts 200 mm werd opgemeten. Niettemin was de droge periode van midden augustus tot midden september enkel in Oostende (klei) problematisch voor de goede ontwikkeling van de vanggewassen. Ook voor Merelbeke en Bottelare, locaties die geografisch dichtbij elkaar liggen, verloopt het neerslagpatroon anders, met name in de maand oktober. De dagelijkse gemiddelde temperaturen liggen dichtbij elkaar; in Rukkelingen-Loon is de nazomer wel iets frisser en liggen de minima iets lager dan op de andere locaties.



FIGUUR 8: CUMULATIEVE NEERSLAG TUSSEN 1 AUGUSTUS 2012 EN 31 MAART 2013 VOOR DE 4 PROEFVELDLOCATIES.



FIGUUR 9: GEMIDDELDE DAGELIJKE TEMPERATUUR TUSSEN 1 AUGUSTUS 2012 EN 31 MAART 2013 VOOR DE 4 LOCATIES.

3.5 OPVOLGING VAN DE VANGGEWASSEN

3.5.1 WERKWIJZE

3.5.1.1 OOGST

De vanggewassen werden na inzaai opgevolgd door hoogtemetingen in het veld en door enkele malen een strook (1 tot 2 m breed) van elk proefveldje te oogsten. Er werden op de meeste locaties 3 oogsten uitgevoerd waarvan 2 in het najaar en 1 in het voorjaar (Tabel 8). Op locaties waar de vanggewassen volgens de gangbare landbouwpraktijk tijdens de winter ingewerkt werden (Rukkelingen-Loon en Oostende), werd slechts tweemaal geogst. Op enkele locaties werd voor sommige vanggewassen in het najaar enkel de 1^e zaai geogst, aangezien de

2^e zaai nog niet voldoende ontwikkeld was om geoogst te kunnen worden. In Oostende werd de 1^e oogst enkel uitgevoerd op Japanse haver, aangezien de opkomst van de vanggewassen daar uitzonderlijk slecht was door de langdurige droogte in augustus. Japanse haver werd geoogst aangezien dit van alle vanggewassen visueel het meest ontwikkeld leek. In Bijlage 4 worden de vanggewassen a.d.h.v. foto's visueel weergegeven.

TABEL 8: OOGSTTIJDSTIPPEN VOOR DE VANGGEWASSEN VAN DE VERSCHILLENDE LOCATIES.

Locatie	Proefjaar	Oogst 1	Oogst 2	Oogst 3
Bottelare	2011-2012	17/10/2011	21/11/2011	12/03/2012
Lemberge	2011-2012	26/10/2011	23/11/2011	13/03/2012
Rukkelingen-Loon	2011-2012	24/10/2011	24/11/2011	geen oogst
Sint-Denijs	2011-2012	24/10/2011	24/11/2011	13/03/2012
Bottelare	2012-2013	22/10/2012	27/11/2012	26/02/2013
Merelbeke	2012-2013	24/10/2012	27/11/2012	04/04/2013
Oostende	2012-2013	24/10/2012	15/11/2012	geen oogst
Rukkelingen-Loon	2012-2013	18/10/2012	21/11/2012	geen oogst

De oogst van de vanggewassen gebeurde overwegend machinaal waarbij de bovengrondse biomassa gemaaid en opgevangen of verzameld werd. In uitzonderlijke gevallen werd het vanggewas ook manueel geoogst met een schaar. Na het afwegen van de oogst ter bepaling van de opbrengst, werd van het vers geoogst product een mengmonster genomen. De stoppelhoogte na maaien werd steeds opgemeten om correcties te kunnen uitvoeren bij grote afwijkingen. De biomassa van de stoppel werd echter niet mee in rekening gebracht.

3.5.1.2 DROGESTOF

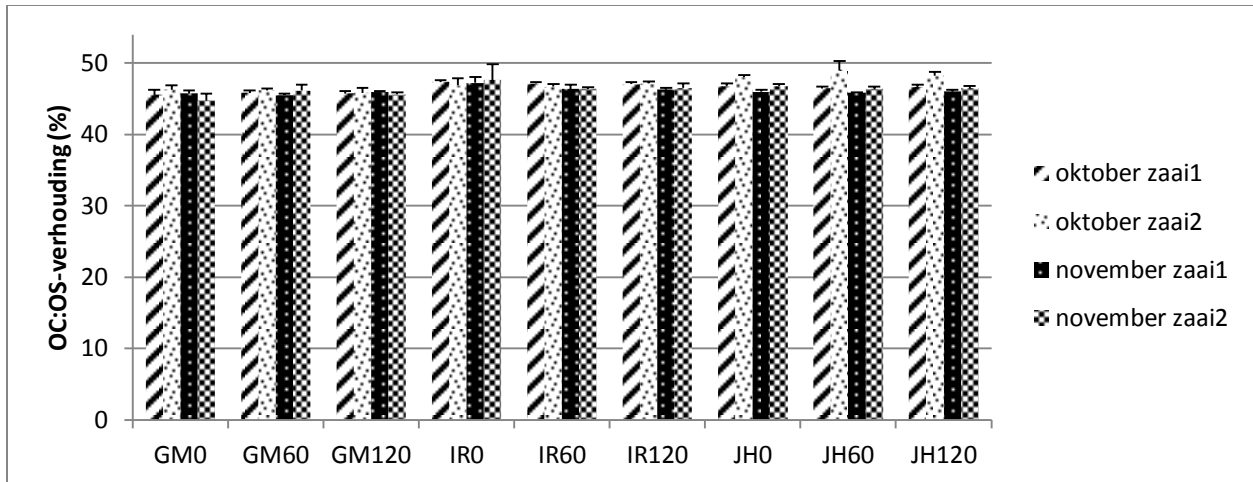
Het vers mengmonster werd gedroogd in het laboratorium. Het drogestofgehalte werd bepaald door het drogen van 100 g vers of vooraf luchtgedroogd staal bij 105 °C gedurende 24 uur en het afwegen van de droogresten (ISO 6496). Een vooraf luchtgedroogd staal werd bekomen door het drogen van een vers staal bij 70 °C gedurende minstens 48 uur, tot er geen gewichtsverandering meer waargenomen werd.

3.5.1.3 STIKSTOF

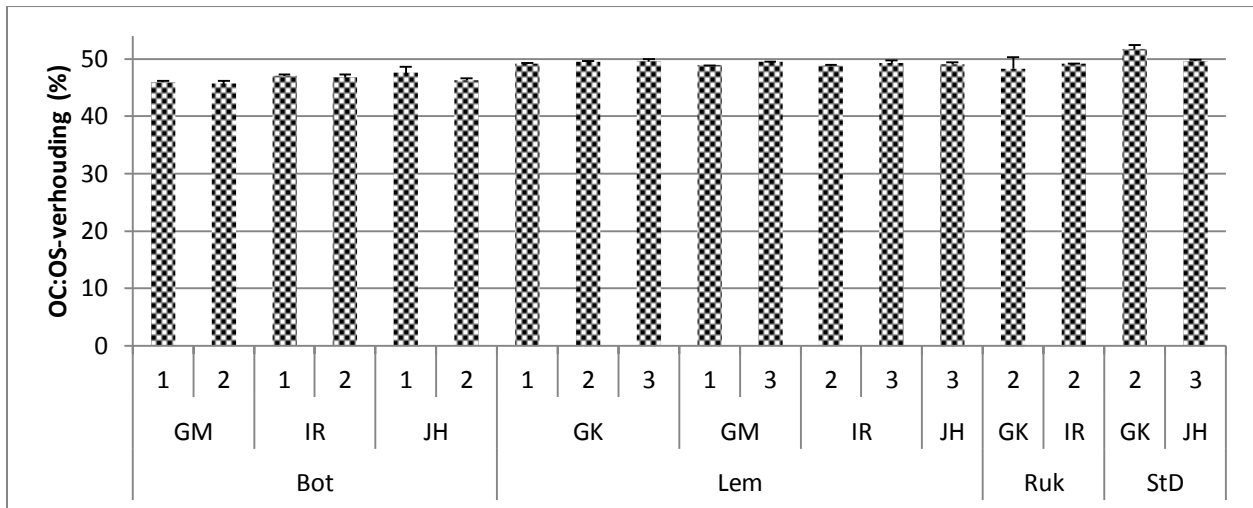
Het N-gehalte van de vanggewassen werd bepaald op basis van de Kjeldahl-methode of door verbranding met een Thermo flash 4000 (Dumas-principe). Bij gebruik van de Kjeldahl-methode werd eenmalig nagegaan of de vanggewassen ook een fractie minerale stikstof bevatten, maar deze bleek verwaarloosbaar t.o.v. de totale N-inhoud.

3.5.1.4 KOOLSTOF

Na verassing werd uit het verschil tussen het drogestof- en asgehalte het gehalte aan organische stof (OS) van het gewas berekend (ISO 5984). Door per proefjaar voor een 40-tal stalen van verschillende vanggewassen, locaties, zaaitijdstippen, bemestingsniveaus en oogsttijdstippen tevens het organisch koolstofgehalte (OC) te bepalen (met een CNS Vario max, Dumas-principe), kon voor deze stalen de OC:OS-verhouding bepaald worden. Deze verhouding vertoonde slechts zeer kleine verschillen tussen de vanggewassen, locaties, zaaitijdstippen, bemestingsniveaus en oogsten (Figuur 10, Figuur 11) en bedroeg gemiddeld 0,476 voor het 1^e jaar en 0,479 voor het 2^e jaar. Met behulp van deze gemiddelden werd voor alle stalen het OC-gehalte berekend uit het OS-gehalte.



FIGUUR 10: VERHOUDING VAN ORGANISCH Koolstof- EN HET ORGANISCHE STOFGEHALTE VOOR DIVERSE BEHANDELINGEN TE BOTTELARE VAN VERSCHILLENDE OOGSTEN EN ZAAITIJDS TIPpen IN HET 1^E PROEFJAAR. DE GEMIDDELDEN ZIJN WEERGEGEVEN MET DE STANDAARD AFWIJking.



FIGUUR 11: VERHOUDING VAN ORGANISCH Koolstof- EN HET ORGANISCHE STOFGEHALTE VOOR EEN REEKs VANGGEWASSEN VAN VERSCHILLENDE OOGSTEN (1, 2, 3) EN VERSCHILLENDE LOCATIES IN HET 1^E PROEFJAAR. DE WEERGEGEVEN GEMIDDELDEN OMVATTEN BEMESTE EN NIET-BEMESTE VANGGEWASSEN VAN BEIDE ZAAITIJDS TIPpen EN ZIJN WEERGEGEVEN MET DE STANDAARD AFWIJking.

3.5.2 RESULTATEN BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST

De resultaten die voor dit onderzoek van prioritaair belang zijn, zijn de stikstofopbrengsten van de vanggewassen. Enkel de bovengrondse stikstofopbrengst (N_{plant}) werd bepaald. De hoogtemetingen, versgewicht- en drogestofopbrengsten komen in dit rapport niet aan bod, maar werden besproken in de verschillende voortgangsrapporten. De koolstofopbrengsten worden toegelicht in hoofdstuk 3.5.3.

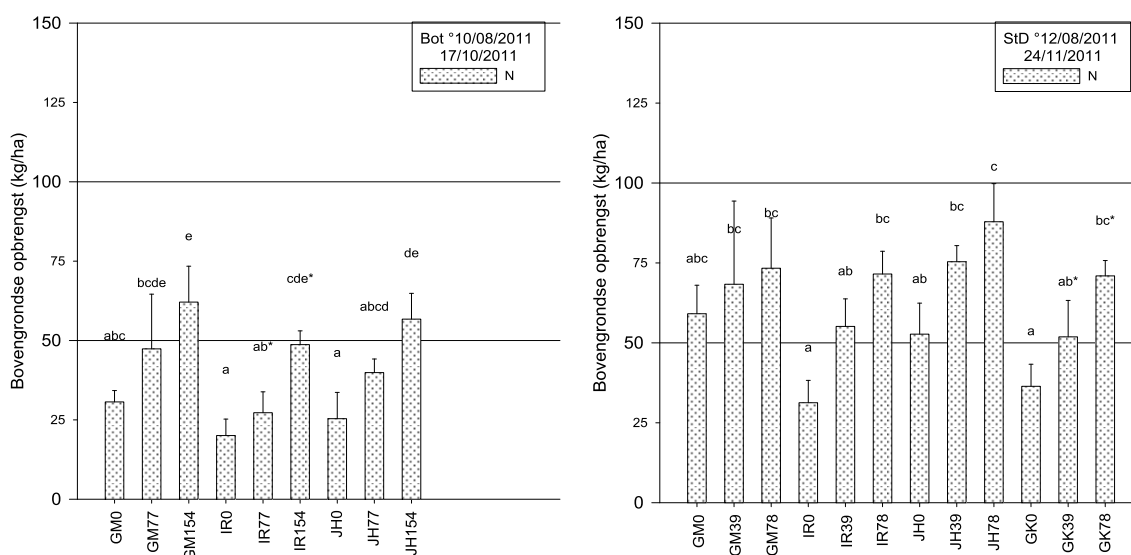
3.5.2.1 BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST 1^E PROEFJAAR

Variantieanalyse (ANOVA) van de resultaten toonde aan dat de effecten van zaaitijdstip, bemestingsniveau, vanggewas en locatie (textuur) niet eenvoudigweg los van elkaar te beschouwen zijn (er is significante interactie tussen de factoren). De beschikbare resultaten N_{plant} worden daarom voor elk bemonsteringstijdstip telkens per locatie en per zaaitijdstip weergegeven. De resultaten worden voor beide proefjaren apart voorgesteld aangezien

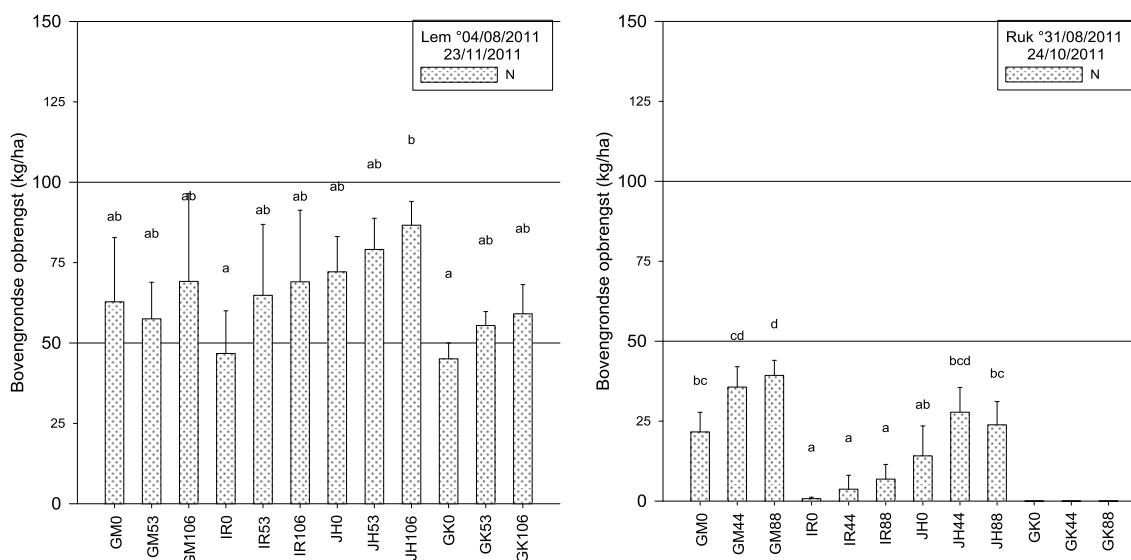
de weersomstandigheden en de inzaaidata te verschillend waren om de waarnemingen samen te bespreken. In de uitgebreide samenvattingen werden de resultaten wel geanalyseerd over beide proefjaren heen.

De resultaten en de statistische interpretatie a.d.h.v. een variantieanalyse (Tukey-test) van N_{plant} worden voor elke situatie weergegeven in Bijlage 5, maar ter illustratie worden ook hier enkele grafieken getoond. Voor het 1^e proefjaar konden volgende conclusies getrokken worden:

1. De gemiddelde verschillen in N_{plant} tussen de niet-bemeste en de bemeste objecten waren relatief klein. Voor alle vanggewassen van beide zaaitijdstippen werden in vele gevallen wel significante positieve effecten van de bemesting op N_{plant} gevonden, zij het overwegend tussen de 0N en 120N objecten (Figuur 12). Dit was niet overal zo: in Rukkelingen-Loon waren de verschillen enkel significant voor gele mosterd van de 2^e zaai en in Lemberge werd voor geen van de vanggewassen een significant effect van de bemesting gevonden (Figuur 13).

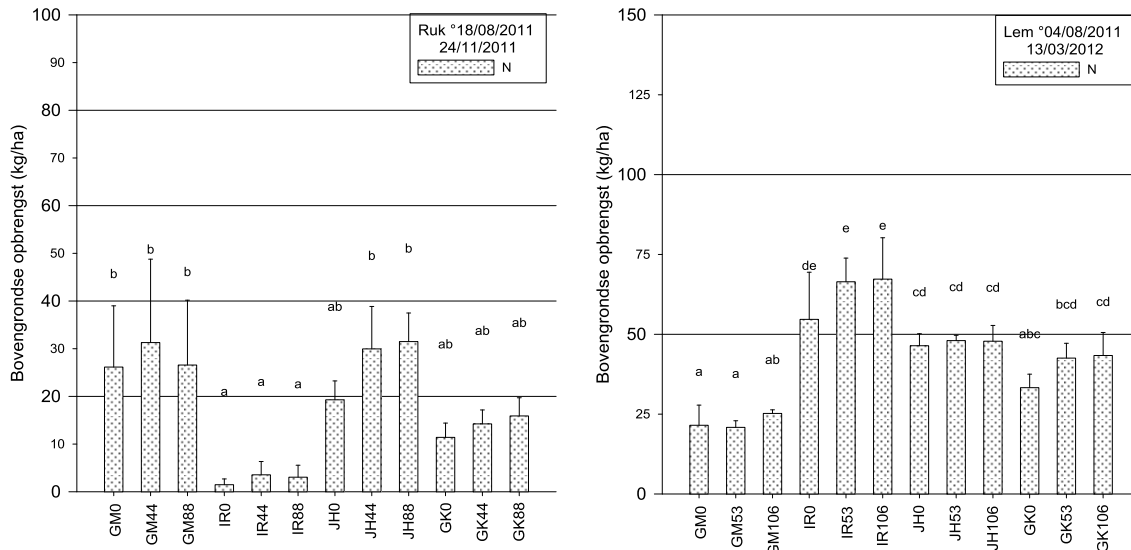


FIGUUR 12: N_{PLANT} VOOR DE 1^E ZAAI TE BOTTELARE OP 17 OKTOBER (L) EN VOOR DE 2^E ZAAI TE SINT-DENIJS OP 24 NOVEMBER (R).



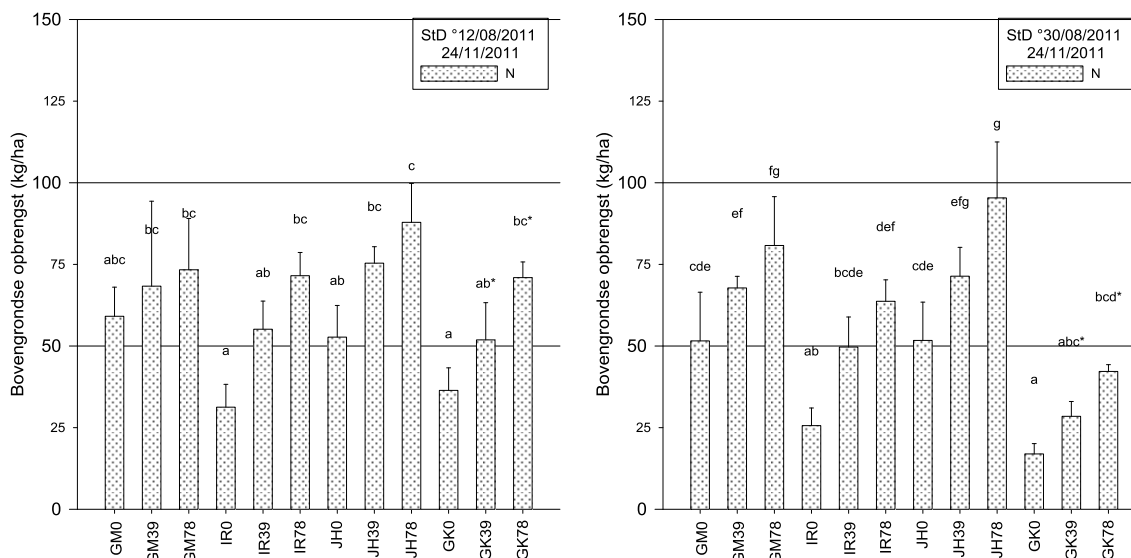
FIGUUR 13: N_{PLANT} VOOR DE 1^E ZAAI TE LEMBERGE OP 23 NOVEMBER (L) EN VOOR DE 2^E ZAAI TE RUK-LOON OP 24 OKTOBER (R).

2. In het najaar was N_{plant} vaak significant groter voor gele mosterd en/of Japanse haver dan voor de overeenkomstige objecten van Italiaans raagrass en/of het grasklavermengsel. Deze verschillen waren het gevolg van de snelle jeugdgroei van gele mosterd en Japanse haver en waren daarom vaker significant voor de 2^e zaai dan voor de 1^e zaai. In het voorjaar was N_{plant} voor gele mosterd daarentegen vaak significant kleiner dan voor de andere veggewassen door het snelle afsterven in de winter (Figuur 14).



FIGUUR 14: N_{plant} VOOR DE 1^E ZAAI IN HET NAJAAR TE RUKKELINGEN-LOON (L) EN IN HET VOORJAAR TE LEMBERGE (R).

3. Het rechtstreeks effect van het zaaitijdstip kon enkel vergeleken worden voor Lemberge en Sint-Denijs, aangezien in Bottelare de 2 zaaitijdstippen op 2 verschillende percelen aangelegd werden. In Rukkelingen-Loon was er sprake van stormweer kort na inzaai van de 1^e zaai, waardoor N_{plant} voor de 2^e zaai significant groter was dan voor de 1^e zaai. In Sint-Denijs bleek enkel het grasklavermengsel tot eind november significante verschillen te tonen tussen beide zaaitijdstippen (Figuur 15). Voor de overige veggewassen van de 2^e zaai nam N_{plant} nog toe, mede dankzij het gunstige novemberweer. In het voorjaar waren de significante verschillen niet gewasspecifiek en bovendien zowel positief als negatief.



FIGUUR 15: N_{plant} IN NOVEMBER TE SINT-DENIJS VOOR DE 1^E ZAAI (L) EN DE 2^E ZAAI (R).

3.5.2.2 BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST 2^E PROEFJAAR

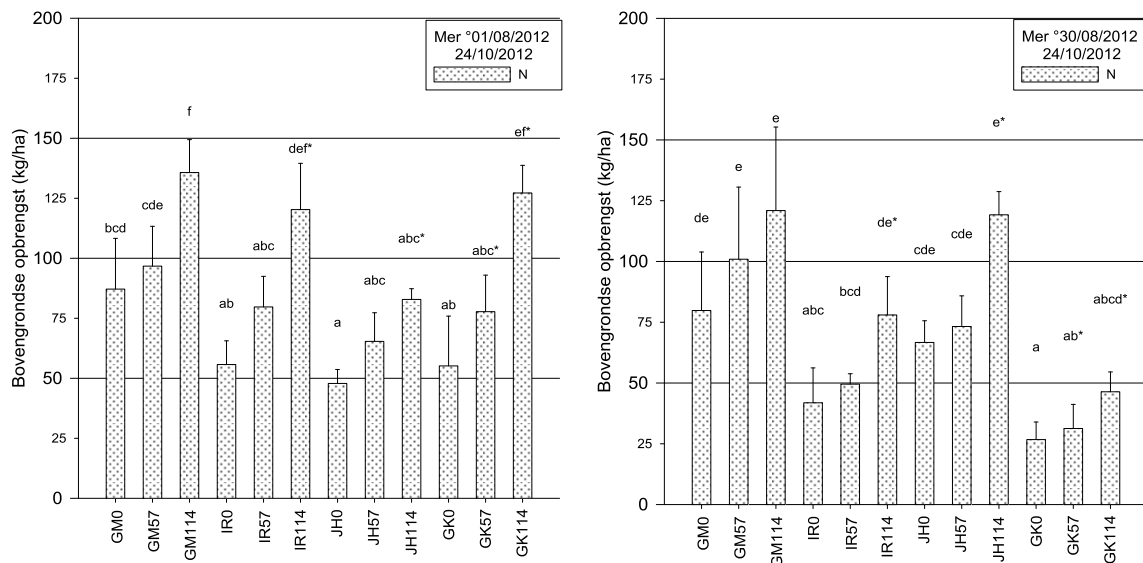
Ook voor het 2^e proefjaar kunnen de resultaten van de bovengrondse stikstofopbrengst (N_{plant}) teruggevonden worden in Bijlage 5. In Merelbeke was er in augustus een zeer uitbundige opslag van de wintergerst. Om een goede opkomst van alle vanggewassen te verzekeren werd de opslag in de 1^e zaai Italiaans raaigras en grasklaver gemaaid. De N-opbrengst van dit maaisel werd voor de 1^e en 2^e oogst bij de gewasopbrengsten opgeteld. In Bottelare werd de 2^e zaai in oktober niet geoogst aangezien deze zich nagenoeg niet ontwikkeld had en te klein was om goed oogstbaar te zijn. In Oostende ontkiemden de 1^e en 2^e zaai beiden zeer laat en nagenoeg op hetzelfde tijdstip. De droogte in augustus en begin september zorgde er voor een zeer slechte ontwikkeling van de vanggewassen. In oktober werd enkel het best ontwikkelde vanggewas geoogst, met name Japanse haver. Door de slechte ontwikkeling werden de resultaten van Oostende niet opgenomen in deze bespreking.

1. Effect van de locatie op N_{plant}

De verschillen tussen de 4 locaties waren erg groot. In Merelbeke werden zeer hoge opbrengsten bereikt (tot 140 kg N ha⁻¹), terwijl in Oostende nauwelijks N werd opgenomen. De 1^e zaai van Bottelare bleek zich relatief goed te ontwikkelen, maar toch minder goed dan de 2^e zaai van Merelbeke, terwijl de beschikbare hoeveelheid N_{min} in de bodem (op de braak) vergelijkbaar was. Voor de 1^e zaai in Rukkelingen-Loon was N_{plant} vergelijkbaar met die voor de 1^e zaai in Bottelare, maar de 2^e zaai kwam in Rukkelingen-Loon beter tot ontwikkeling dan in Bottelare. Wellicht is de interactie van textuur en de droogte tijdens de eerste weken een erg bepalende factor.

2. Effect van het zaaitijdstip op N_{plant}

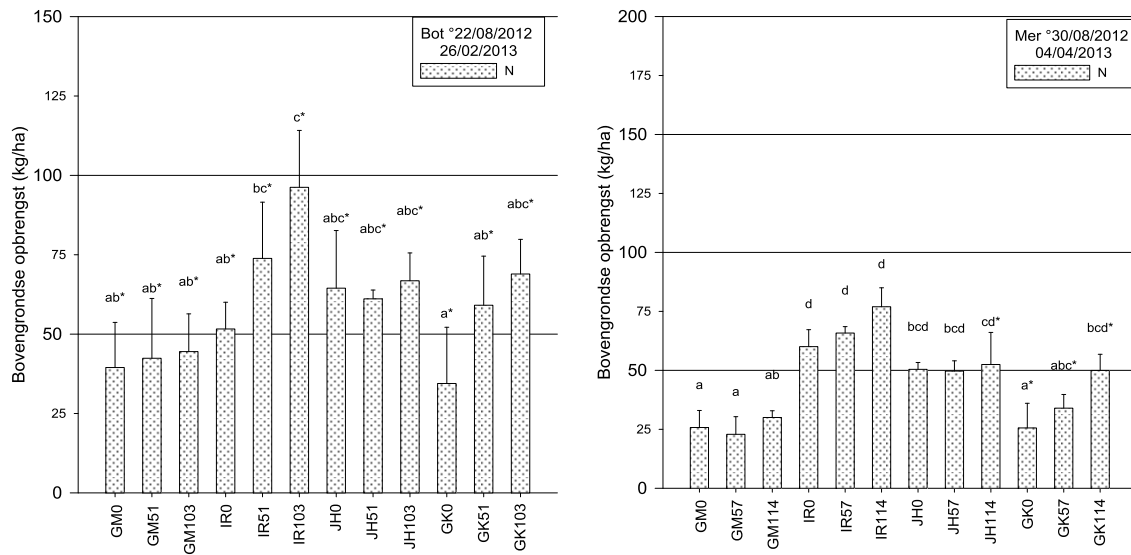
N_{plant} werd zeer duidelijk beïnvloed door het zaaitijdstip. In Merelbeke, waar de 2^e zaai nog voor 1 september werd uitgevoerd, zijn vooral significante verschillen waarneembaar voor de zich trager ontwikkelende vanggewassen, met name Italiaans raaigras en het grasklavermengsel (Figuur 16). Voor gele mosterd en Japanse haver waren er quasi geen verschillen tussen de N-opbrengsten van beide zaaitijdstippen. In Rukkelingen-Loon werd in november hetzelfde waargenomen: voor Italiaans raaigras vertoonde N_{plant} significante verschillen tussen de 2 zaaitijdstippen en voor grasklaver was het 2^e zaaitijdstip zelfs niet oogstbaar. In Bottelare was het verschil in N_{plant} tussen beide zaaitijdstippen significant voor alle vanggewassen, zowel in het najaar als in het voorjaar.



FIGUUR 16: N_{plant} VOOR DE 1^E ZAAI (L) EN 2^E ZAAI (R) IN MERELBEKE OP 24 OKTOBER.

3. Effect van de bemestingsdosis op N_{plant}

Hoewel de verschillen tussen de bemestingstrappen niet altijd groot en significant waren, waren de bemestingsdosis en N_{plant} duidelijk positief gecorreleerd in het najaar in Merelbeke, zowel voor de 1^e als voor de 2^e zaai (Figuur 16). In Bottelare en Rukkelingen-Loon was dat voornamelijk het geval voor de 1^e zaai. In het voorjaar was in Bottelare en Merelbeke enkel nog een duidelijk effect te zien voor de winterharde vanggewassen van het 1^e zaaitijdstip (Figuur 17). Voor het 2^e zaaitijdstip was de positieve correlatie tussen N_{plant} en de bemestingsdosis in het voorjaar minder duidelijk voor alle vanggewassen.



FIGUUR 17: N_{plant} IN HET VOORJAAR VOOR DE 1^E ZAAI IN BOTTELARE (L) EN VOOR DE 2^E ZAAI (R) IN MERELBEKE.

4. Verschillen in N_{plant} tussen vanggewassen

De verschillen in N_{plant} tussen de vier vanggewassen waren in het najaar minder uitgesproken bij de 1^e zaai. Wel werd voor sommige vanggewassen (vooral Japanse haver) voor de 1^e oogst een hogere opbrengst teruggevonden dan voor de 2^e oogst, doordat het afsterven van de onderste plantendelen sneller verliep dan de aangroei aan de bovenzijde. Voor de 2^e zaai hadden gele mosterd en Japanse haver steeds de hoogste N-opbrengst, gevolgd door Italiaans raaigras en daarna het grasklavermengsel (Figuur 16). In het voorjaar bleek een deel van de N-opbrengst van gele mosterd verdwenen te zijn. Voor Japanse haver bleef N_{plant} tussen eind november en het voorjaar min of meer gelijk. Voor Italiaans raaigras en het grasklavermengsel was N_{plant} in het voorjaar soms groter dan in het najaar aangezien deze winterharde vanggewassen in de warme periode eind december-begin januari N bleven opnemen. Italiaans raaigras en Japanse haver hadden in het voorjaar algemeen de grootste N-opbrengst, grasklaver en gele mosterd de kleinste (Figuur 17).

3.5.3 RESULTATEN BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST

De bovengrondse C-opbrengst (C_{plant}) kan na inwerken van het vanggewas bijdragen tot de vorming van bodemorganische stof (zie hoofdstuk 5.3).

De resultaten voor C_{plant} van beide proefjaren (Bijlage 6) zijn net als voor N_{plant} weergegeven per oogsttijdstip, locatie en zaaitijdstip. De resultaten worden hier kort besproken, zij het steeds zonder statistische onderbouwing. Desalniettemin zijn de standaard afwijkingen weergegeven in de figuren. In hoofdstuk 3.7.2 wordt wel dieper ingegaan op de statistische interpretatie van het effect van de bemesting op C_{plant} .

De resultaten voor C_{plant} worden eveneens voor beide proefjaren apart voorgesteld aangezien de weersomstandigheden en de inzaaidata te verschillend waren om eenduidige conclusies te trekken uit de waarnemingen. In Bijlage 12 worden de resultaten wel samengevat over beide proefjaren heen.

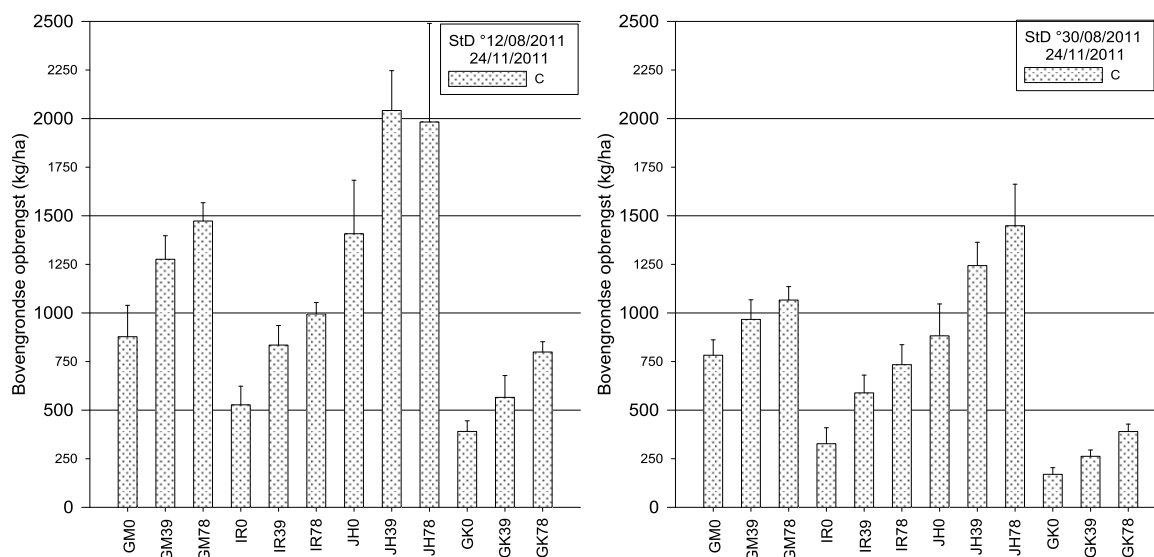
3.5.3.1 BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST 1^E PROEFJAAR

1. Effect van de locatie op C_{plant}

De verschillen in C_{plant} tussen de locaties zijn niet bijzonder groot op voorwaarde dat de vanggewassen zich voldoende goed hebben kunnen ontwikkelen. Zowel in Bottelare, Lemberge als Sint-Denijs werden hoge opbrengsten bereikt: 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 de 1^e zaai, werden voor alle vanggewassen minder hoge C-opbrengsten bereikt.

2. Effect van het zaaitijdstip op C_{plant}

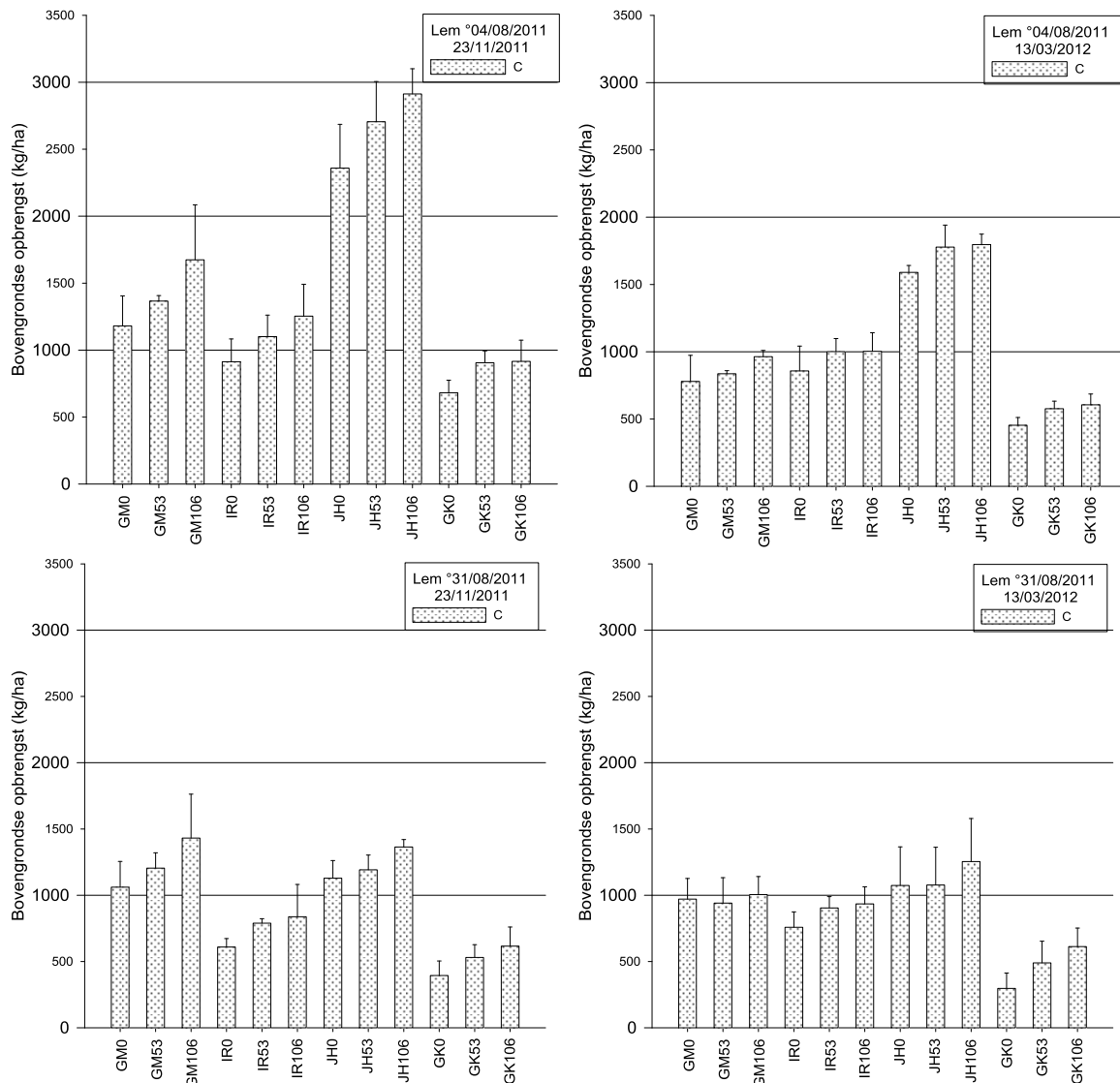
Bij vroege zaai werden in bijna alle gevallen hogere C-opbrengsten bekomen dan bij late zaai (Figuur 18). De verschillen in C_{plant} tussen beide zaaitijdstippen zijn meer uitgesproken in het najaar dan in het voorjaar. In Rukkelingen-Loon werden voor enkele vanggewassen hogere C-opbrengsten gevonden voor de 2^e zaai, hetgeen wellicht het gevolg is van de slechte weersomstandigheden kort na de 1^e zaai.



FIGUUR 18: C_{plant} EIND NOVEMBER IN SINT-DENIJS: 1^E ZAAI (L) EN 2^E ZAAI (R).

3. Effect van de bemestingsdosis op C_{plant}

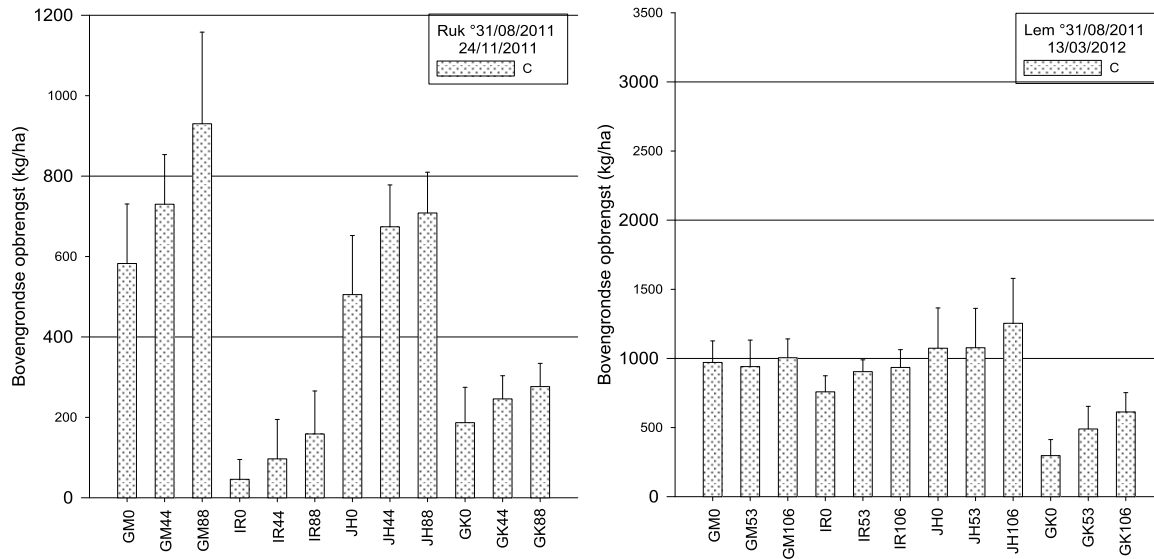
In het najaar waren de bemestingsdosis en C_{plant} duidelijk positief gecorreleerd (Figuur 19); in het voorjaar waren de verschillen in C_{plant} tussen de bemestingstrappen minder groot of zelfs geheel afwezig. Dit wijst erop dat een deel van de extra C_{plant} afstierf tijdens de winter: uit bemeste vanggewassen verdween meer C dan uit niet-bemeste vanggewassen. Dit gold in de meeste gevallen zowel voor vroeg als laat ingezaaide vanggewassen.



FIGUUR 19: C_{PLANT} EIND NOVEMBER (L) EN MIDDEN MAART (R) VOOR DE 1^E ZAAI (BOVEN) EN 2^E ZAAI (ONDER) IN LEMBERGE.

4. Verschillen in C_{plant} tussen vanggewassen

De C_{plant} van de vanggewassen verschilde afhankelijk van het oogsttijdstip. In het algemeen werd de hoogste C_{plant} gevonden voor Japanse haver en gele mosterd, gevolgd door Italiaans raigras en het grasklavermengsel. De verschillen waren in het najaar meer uitgesproken dan in het voorjaar: uit niet-winterharde vanggewassen (in het bijzonder gele mosterd) verdween een groter deel van C_{plant} tijdens de winter (Figuur 20).

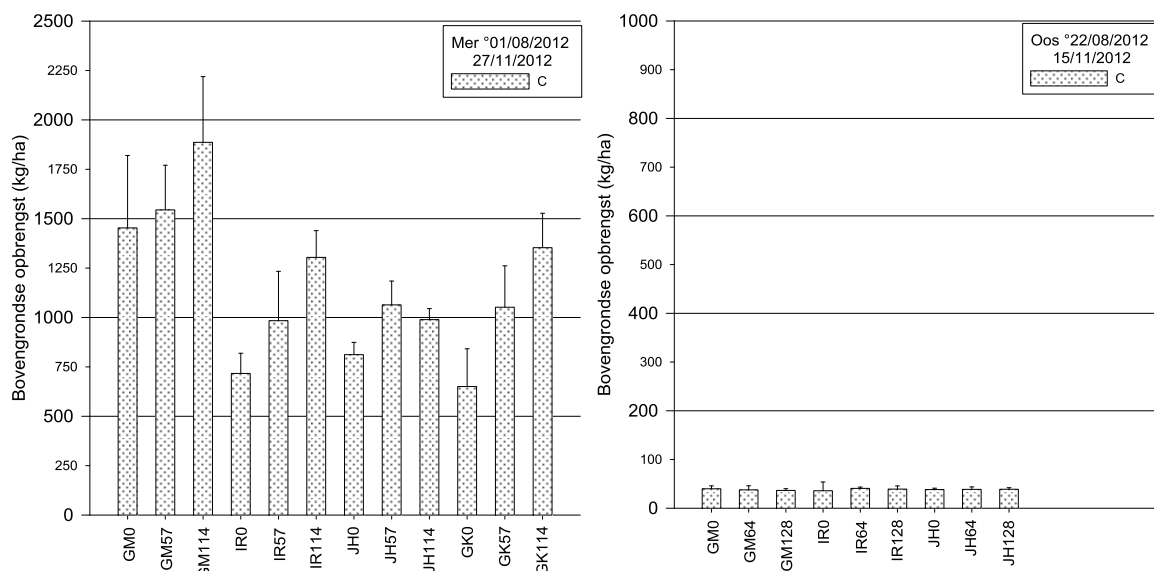


FIGUUR 20: C_{PLANT} 2^e ZAAI EIND NOVEMBER IN RUKKELINGEN-LOON (L) EN MIDDEN MAART (R) IN LEMBERGE.

3.5.3.2 BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST 2^e PROEFJAAR

1. Effect van de locatie op C_{plant}

De verschillen in C_{plant} tussen de verschillende locaties waren voor het 2^e proefjaar meer uitgesproken dan voor het 1^e proefjaar. Dit is grotendeels toe te schrijven aan de latere inzaaidata en andere weersomstandigheden. Enkel in Merelbeke, waar niet later werd ingezaaid, werden voor beide zaaitijdstippen C-opbrengsten bekomen die vergelijkbaar waren met die van Lemberge in het 1^e proefjaar. In Bottelare en Rukkelingen-Loon waren enkel de C-opbrengsten voor de 1^e zaai vergelijkbaar met die van het 1^e proefjaar. Zoals vermeld onder hoofdstuk 3.5.2.2 ontkiemden de 1^e en 2^e zaai in Oostende beiden zeer laat en nagenoeg op hetzelfde tijdstip; er werd minder dan 100 kg C ha⁻¹ geoogst (Figuur 21). Door de slechte ontwikkeling worden de resultaten van Oostende verder niet opgenomen in deze bespreking.



FIGUUR 21: C_{PLANT} 1^e ZAAI EIND NOVEMBER IN MERELBEKE (L) EN IN OOSTENDE (R).

2. *Effect van het zaaitijdstip op C_{plant}*

Op 3 van de 4 locaties werd de 2^e zaai ingezaaid in de eerste helft van september. Hoewel de 1^e zaai op die locaties ook relatief laat werd ingezaaid (2^e helft augustus), werden grote verschillen in C_{plant} waargenomen tussen beide zaaitijdstippen. Enkel in Merelbeke, waar de 2^e zaai werd ingezaaid op 30 augustus, bleven de verschillen beperkt.

3. *Effect van de bemestingsdosis op C_{plant}*

Net als voor het 1^e proefjaar waren de bemestingsdosis en C_{plant} duidelijk positief gecorreleerd, voor de 1^e zaai zowel in het najaar als in het voorjaar; voor de 2^e zaai waren de verschillen in C_{plant} tussen de bemestingstrappen minder groot of zelfs geheel afwezig in het voorjaar. Uitzonderingen hierop waren Japanse haver in Bottelare en het grasklavermengsel in Merelbeke. 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 in C_{plant} tussen vanggewassen*

De verschillen in C-opbrengsten tussen vanggewassen waren minder uitgesproken dan in het 1^e proefjaar. Gele mosterd en Japanse haver vertoonden in het najaar opnieuw de hoogste C_{plant} , gevolgd door Italiaans raaigras en het grasklavermengsel. Bij late zaai werden de verschillen kleiner: enkel voor grasklaver was C_{plant} duidelijk lager. In het voorjaar waren de verschillen tussen de vanggewassen zowel voor de 1^e als voor de 2^e zaai klein.

3.6 OPVOLGING VAN DE MINERALE BODEMSTIKSTOF

3.6.1 INLEIDING

Het N_{min} -gehalte van de bodem is samen met N_{plant} 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 zijn, omdat we aannemen dat plantenwortels in staat zijn N_{min} op te nemen tot minstens die diepte. N_{min} die zich dieper bevindt wordt beschouwd als verloren. Vanuit die benadering wordt in dit rapport dan ook rekening gehouden met het N_{min} -gehalte over een diepte van 0 tot 90 cm.

3.6.2 WERKWIJZE

3.6.2.1 BEMONSTERING

Ter bepaling van het N_{min} -gehalte werden 3 bodemlagen (0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm) bemonsterd op 7 tijdstippen (Tabel 9). 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.

In het eerste proefjaar werden de twee laatste bemonsteringen in Bottelare voor beide zaaitijdstippen niet simultaan uitgevoerd omwille van de te natte omstandigheden op proefperceel 2. In Rukkelingen-Loon werden eind september 2011 slechts 2 van de 4 herhalingen bemonsterd en eind oktober 2011 kon de onderste laag (60-90cm) niet bemonsterd worden omwille van de droogte.

In het tweede proefjaar werd in Oostende eind september enkel de braakbehandeling bemonsterd aangezien de vanggewassen zich nauwelijks ontwikkeld hadden (zowel 1^e als 2^e zaai). In Bottelare werd de bodem niet meer

bemonsterd in het voorjaar aangezien het perceel in 2012 van eigenaar verwisselde en de nieuwe eigenaar reeds begin maart 2013 stalmest wou uitvoeren.

TABEL 9: BEMONSTERINGSTIJDSTIPPEN VOOR DE BEPALING VAN MINERALE N OP DE VERSCHILLENDE LOCATIES.

Locatie	Proefjaar	1	2	3	4	5	6	7
BOT1	2011-2012	09/08/2011	-	27/09/2011	24/10/2011	22/11/2011	10/01/2012	12/03/2012
BOT2	2011-2012	09/08/2011	26/08/2011	28/09/2011	24/10/2011	22/11/2011	27/02/2012	02/04/2012
LEM	2011-2012	02/08/2011	31/08/2011	26/09/2011	27/10/2011	25/11/2011	09/01/2012	26/03/2012
RUK	2011-2012	16/08/2011	-	29/09/2011	25/10/2011	24/11/2011	11/01/2012	29/03/2012
STD	2011-2012	09/08/2011	29/08/2011	30/09/2011	26/10/2011	28/11/2011	06/01/2012	19/03/2012
BOT	2012-2013	20/08/2012	05/09/2012	01/10/2012	23/10/2012	28/11/2012	20/02/2013	-
MER	2012-2013	30/07/2012	28/08/2012	01/10/2012	25/10/2012	28/11/2012	09/01/2013	08/04/2013
OOS	2012-2013	17/08/2012	13/09/2012	02/10/2012	26/10/2012	16/11/2012	13/02/2013	25/03/2013
RUK	2012-2013	17/08/2012	05/09/2012	25/09/2012	18/10/2012	22/11/2012	10/01/2013	20/03/2013

3.6.2.2 ANALYSE

De bepaling van het gehalte aan NH_4^+ en de som van NO_2^- en NO_3^- in de bodemmonsters gebeurde volgens ISO 14256-2:2005 (*Soil quality: determination of nitrate, nitrite and ammonium in field-moist soils by extraction with potassium chloride solution - Part 2: automated method with segmented flow analysis*) en specificaties beschreven in: Bemonsterings- en analysemethoden voor bodem in het kader van het mestdecreet (BAM versie 3.1, juni 2010).

3.6.3 RESULTATEN MINERALE BODEMSTIKSTOF

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). De beschikbare resultaten voor de minerale bodemstikstof worden daarom voor elk bemonsteringstijdstip telkens per locatie en per zaaitijdstip weergegeven.

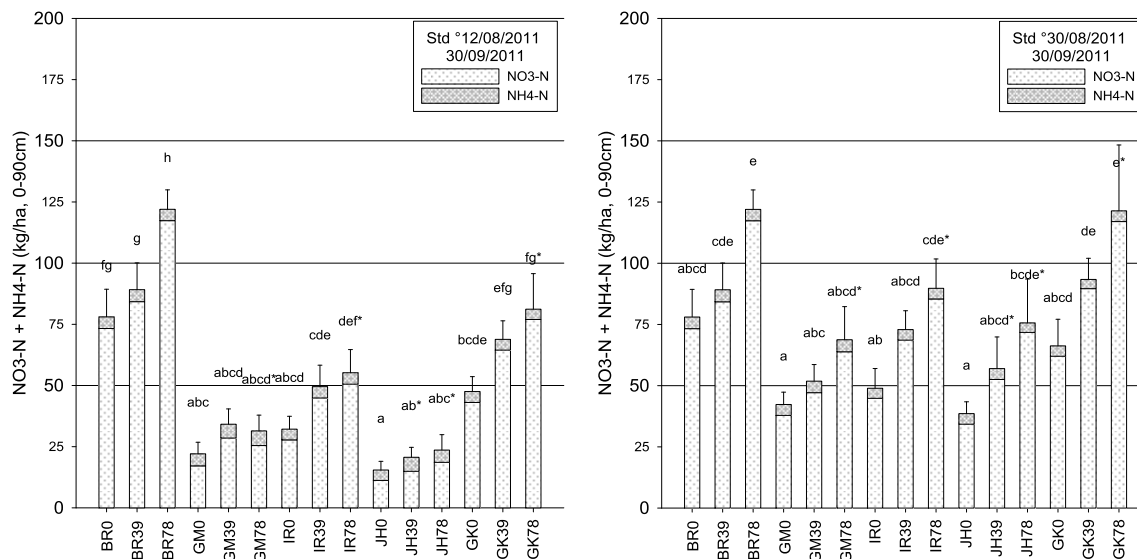
Een eerste reeks grafieken (Bijlage 7 en Bijlage 8) geeft in staafdiagrammen de gemiddelde totale hoeveelheid N_{\min} en de bijhorende standaardafwijking per behandeling weer. De gemiddelde totale N_{\min} is steeds opgesplitst in $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$. De cumulatieve neerslag gevallen sinds de eerste bemonstering is ook weergegeven voor elk tijdstip. Een tweede reeks grafieken (Bijlage 9 en Bijlage 10) geeft de evolutie van de verdeling van de totale hoeveelheid N_{\min} over de diepte (profielen) weer. Ook hier zijn de standaardafwijkingen weergegeven. Deze reeks grafieken laat toe de migratie van N_{\min} over de tijd benaderend in te schatten.

De resultaten worden hier per proefjaar voorgesteld. In Bijlage 12 worden de resultaten samengevat over beide proefjaren heen.

3.6.3.1 MINERALE BODEMSTIKSTOF 1^E PROEFJAAR

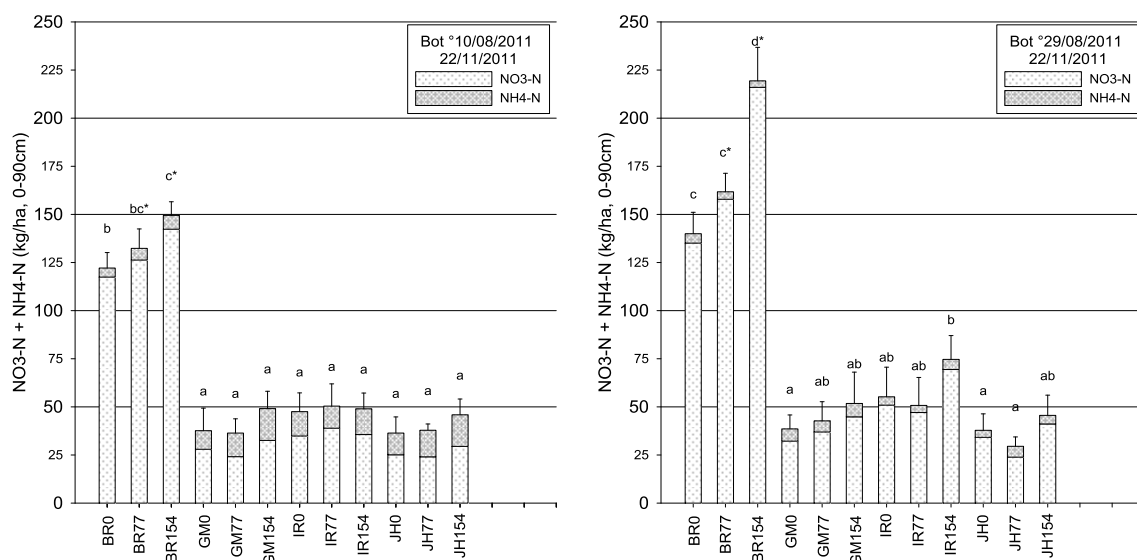
De belangrijkste vaststellingen betreffende N_{\min} in het 1^e proefjaar (Bijlage 7) worden hieronder beschreven:

- Het effect van de bemesting op N_{min} onder veggewassen was in het najaar nagenoeg nooit significant. Eind september kon een significant verschil tussen de 0N- en de 120N-bemestingstrap worden vastgesteld in Sint-Denijs (Figuur 22) onder Italiaans raigras (2^e zaai), Japanse haver (2^e zaai) en grasklaver (1^e en 2^e zaai) en in Lemberge onder grasklaver (2^e zaai).



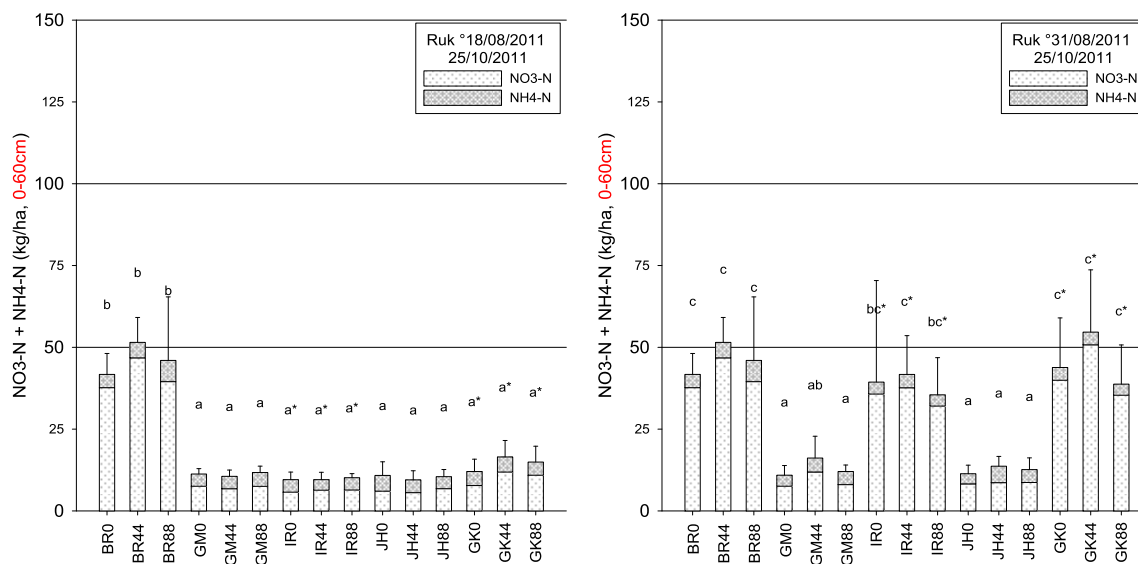
FIGUUR 22: N_{min} TE SINT-DENIJS OP 30 SEPTEMBER 2011 VOOR DE 1^E ZAAI (LINKS) EN 2^E ZAAI (RECHTS).

In de maanden oktober, november en januari werd nergens een significant effect van de bemesting op N_{min} onder veggewassen waargenomen (Figuur 23). Voor de braakbehandeling werden voor het hele najaar enkel significante verschillen gevonden tussen de 0N en 120N objecten; het ontbreken van significante verschillen tussen de 0N en 60N-trappen op de braak kan verklaard worden door immobilisatie door de graanstoppel (sterk in Rukkelingen-Loon).



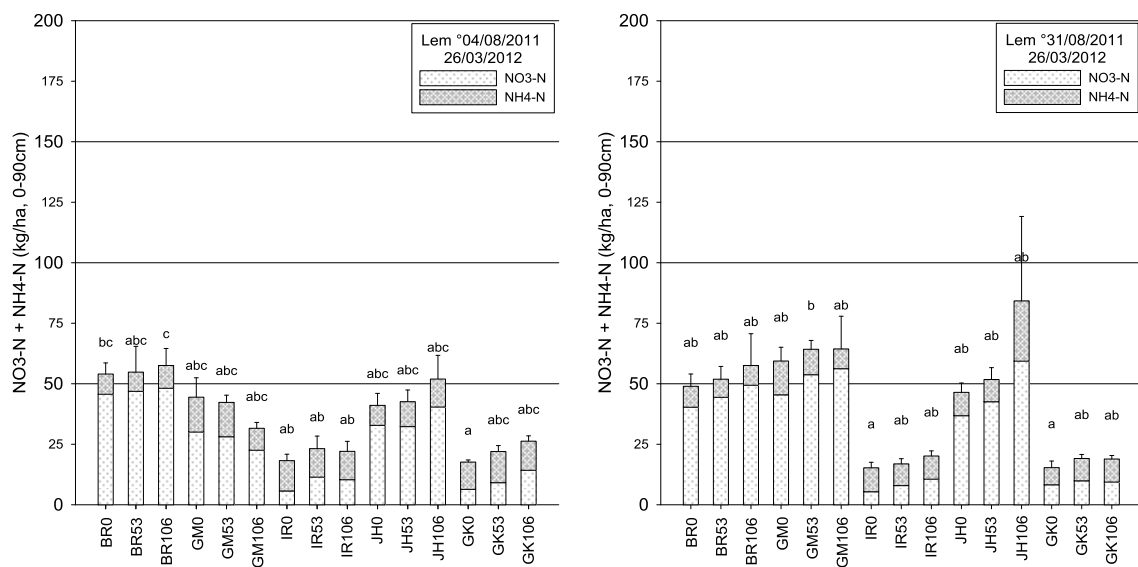
FIGUUR 23: N_{min} TE BOTTELARE OP 22 NOVEMBER 2011 VOOR DE 1^E ZAAI (L) EN 2^E ZAAI (R). MERK OP DAT DE 1^E EN 2^E ZAAI IN BOTTELARE OP 2 VERSCHILLENDE PERCELLEN WERDEN AANGELEGD.

2. N_{\min} was in het najaar onder bijna alle vanggewassen van de 1^e zaai significant kleiner dan onder braak en dit op alle locaties; voor de 2^e zaai was dit niet altijd het geval: vooral onder Italiaans raaigras en het grasklavermengsel werd een relatief hoge N_{\min} aangetroffen. Dit verschil tussen de 2 zaaitijdstippen is duidelijk waar te nemen in Rukkelingen-Loon eind oktober (Figuur 24).

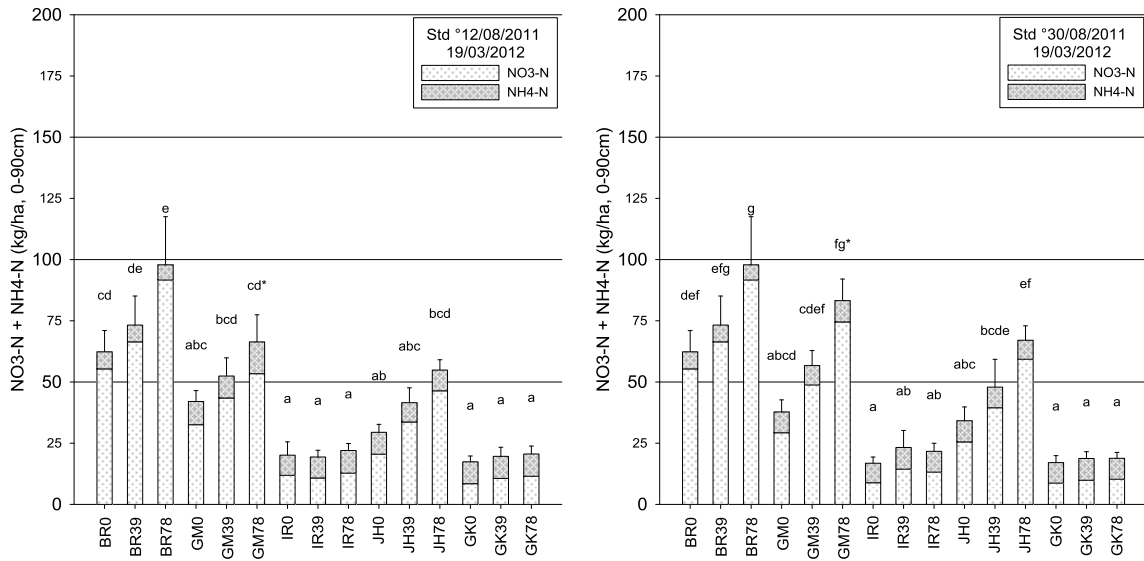


FIGUUR 24: N_{\min} TE RUKKELINGEN-LOON OP 25 OKTOBER 2011 VOOR DE 1^E ZAAI (L) EN 2^E ZAAI (R). MERK OP DAT ER UITZONDERLIJK SLECHTS TOT 60 CM DIEP BEMONSTERD WERD WEGENS MOEILIJK WERKBARE OMSTANDIGHEDEN DOOR DROOGTE.

3. In het voorjaar werden per zaaitijdstip enkel significante verschillen waargenomen tussen de braakliggende veldjes en de veldjes begroeid met Italiaans raaigras en het grasklavermengsel, zijnde de winterharde vanggewassen (Figuur 25). Voor de niet-winterharde vanggewassen liet het effect van bemesting zich enkel zien tussen de 0N en 120N objecten te Sint-Denijs, zij het enkel significant voor de 2^e zaai (Figuur 26). In het voorjaar was er in een aantal gevallen ook een effect van het zaaitijdstip: N_{\min} onder gele mosterd en Japanse haver van de 2^e zaai was vaak groter (zij het niet steeds significant) dan N_{\min} onder de overeenkomstige objecten van de 1^e zaai (Figuur 25 en Figuur 26). Dit effect was groter bij een toenemende bemestingsdosis.

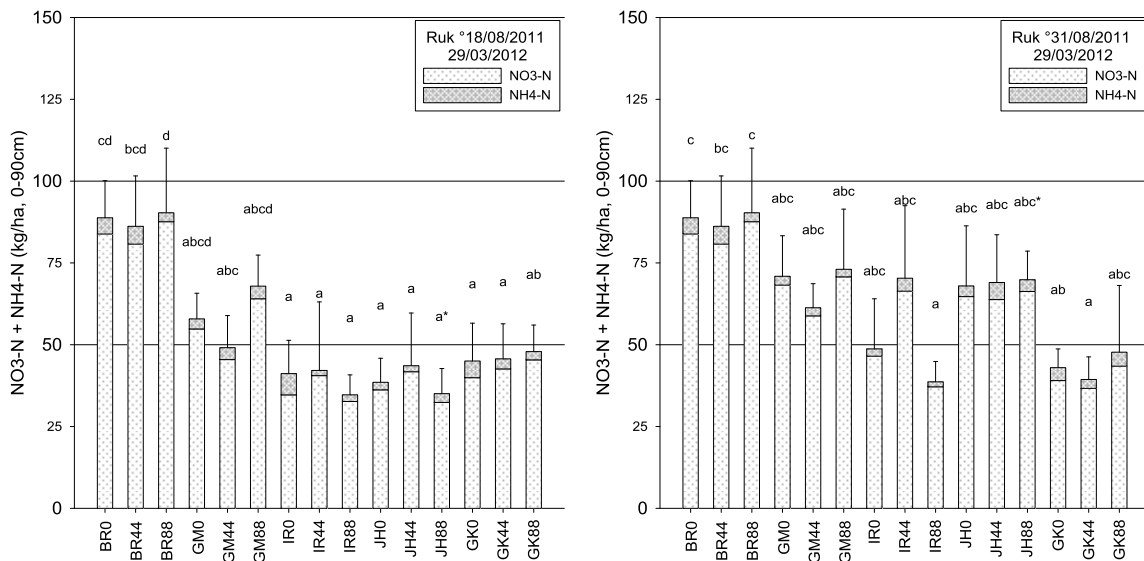


FIGUUR 25: N_{\min} TE LEMBERGE OP 26 MAART 2012 VOOR DE 1^E ZAAI (L) EN 2^E ZAAI (R).



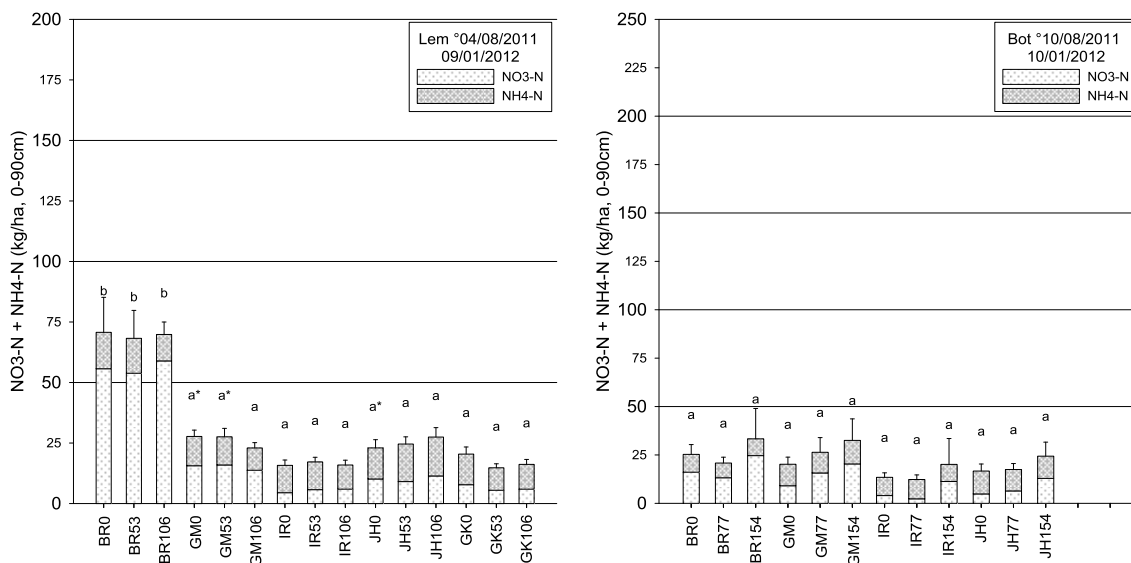
FIGUUR 26: N_{min} TE SINT-DENIJS OP 19 MAART 2012 VOOR DE 1^E ZAAI (L) EN 2^E ZAAI (R).

4. In Rukkelingen-Loon, waar de vanggewassen ingewerkt werden in de 2^e helft van januari, werden in het voorjaar per zaaitijdstip geen significante verschillen gevonden tussen N_{min} voor de objecten met ingewerkte vanggewassen (Figuur 27). Voor de 1^e zaai was N_{min} significant groter op de braakobjecten dan op alle objecten met ingewerkte vanggewassen, met uitzondering van gele mosterd. Voor de 2^e zaai was N_{min} significant groter op de braakobjecten dan op enkele objecten met ingewerkte winterharde vanggewassen. Hoewel de verschillen niet overal significant zijn, toonden de N_{min}-profielen in het voorjaar (Bijlage 9) wel aan dat N_{min} op de objecten met vanggewassen zich voornamelijk in de bovenste laag bevond, terwijl dat voor de braakobjecten niet zo was. Dit geldt trouwens ook voor de locaties waar de vanggewassen niet ingewerkt werden (zie punt 3). Het effect van zaaitijdstip was enkel significant voor Japanse haver: de N_{min} was hoger onder de objecten van 2^e zaai, hetgeen toegeschreven kan worden aan de lagere C:N-verhouding.



FIGUUR 27: N_{min} TE RUKKELINGEN-LOON OP 29 MAART 2012 VOOR DE 1^E ZAAI (L) EN 2^E ZAAI (R). MERK OP DAT DE VANGGEWASSEN WERDEN INGEWERKT IN DE 2^E HELFT VAN JANUARI.

5. In januari waren er nergens significante verschillen tussen de vanggewassen, maar was N_{\min} significant groter onder braak dan onder vanggewassen op niet-zandige bodems: 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 (Figuur 28).



FIGUUR 28: N_{\min} VOOR DE 1^E ZAAI BEGIN JANUARI IN LEMBERGE (L) EN IN BOTTELARE (R).

3.6.3.2 MINERALE BODEMSTIKSTOF 2^E PROEFJAAR

De belangrijkste vaststellingen betreffende de minerale bodemstikstof in het 2^e proefjaar (Bijlage 8) worden hieronder gestructureerd beschreven. Voor de bemonstering in februari in Bottelare werd enkel NO_3 -N weergegeven omdat hoge waarden voor NH_4 -N gevonden werden en het niet uit sluiten viel dat deze cijfers niet veroorzaakt werden door anomalieën bij de staalname, de bewaring of de analyse.

1. Effect van de locatie op N_{\min}

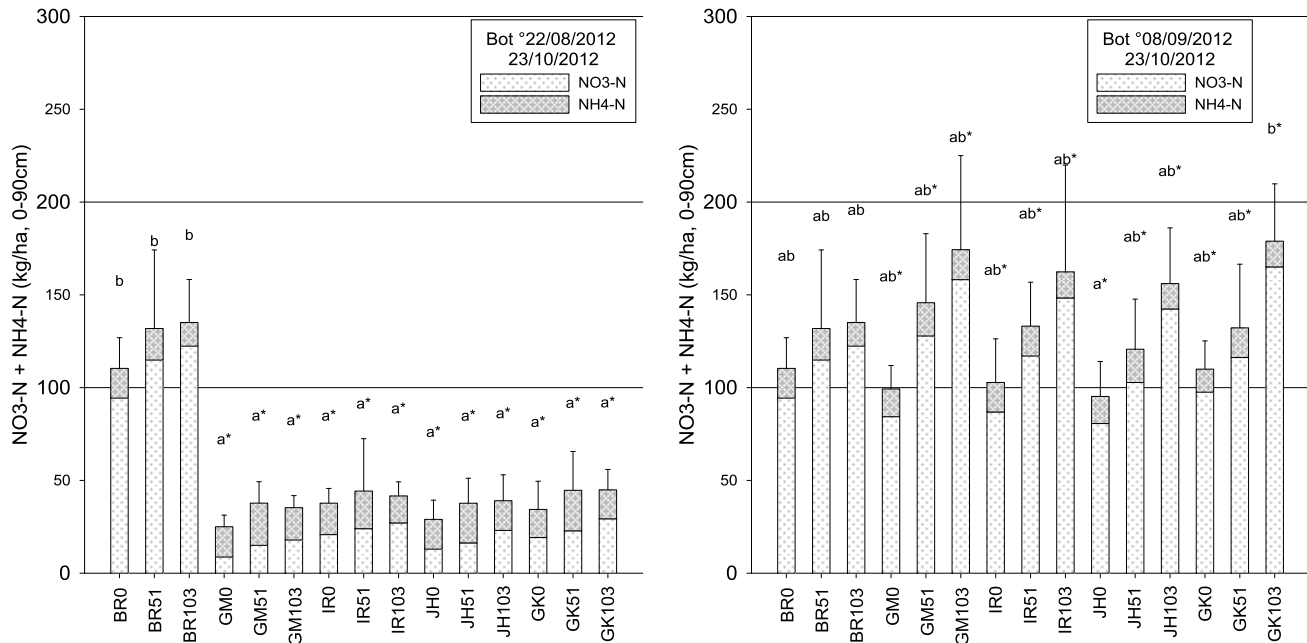
De resultaten voor N_{\min} waren in het 2^e proefjaar zeer verschillend van locatie tot locatie: deze zijn grotendeels toe te schrijven aan de al dan niet goede ontwikkeling van de vanggewassen, zoals vermeld in hoofdstuk 3.5.2.2 en 3.5.3.2. De initiële N_{\min} -gehalten kort na de oogst van de wintergranen waren voor alle locaties vergelijkbaar en lagen tussen 40 en 80 kg N ha⁻¹. In Rukkelingen-Loon werden initieel wel relatief hoge hoeveelheden ammonium aangetroffen in de 3 bodemlagen. Ook in Oostende werden 4 weken na bemesting nog relatief hoge hoeveelheden ammonium teruggevonden, voornamelijk in de bovenste laag van de 60N en 120N objecten. In Merelbeke werd door de graanstoppel meer N uit de mest geïmmobiliseerd dan op andere locaties: eind augustus was op de braakbehandeling geen duidelijk effect van de bemestingstrappen waarneembaar. Dit was wellicht het gevolg van verschillen in hoeveelheden en de samenstelling van de oogstresten; ook verschillen in textuur en weersomstandigheden kunnen een belangrijke rol gespeeld hebben.

2. Effect van het zaaitijdstip op N_{\min}

Het effect van het zaaitijdstip op N_{\min} was het hele najaar significant op alle locaties met uitzondering van Oostende. In vergelijking met het 1^e proefjaar waren de verschillen in N_{\min} tussen de zaaitijdstippen groot. Dit was het effect van een combinatie van de iets latere zaaidatum voor de 2^e zaai (met uitzondering van Merelbeke) en de minder gunstige weersomstandigheden: in augustus en de eerste helft van september viel er weinig neerslag. In

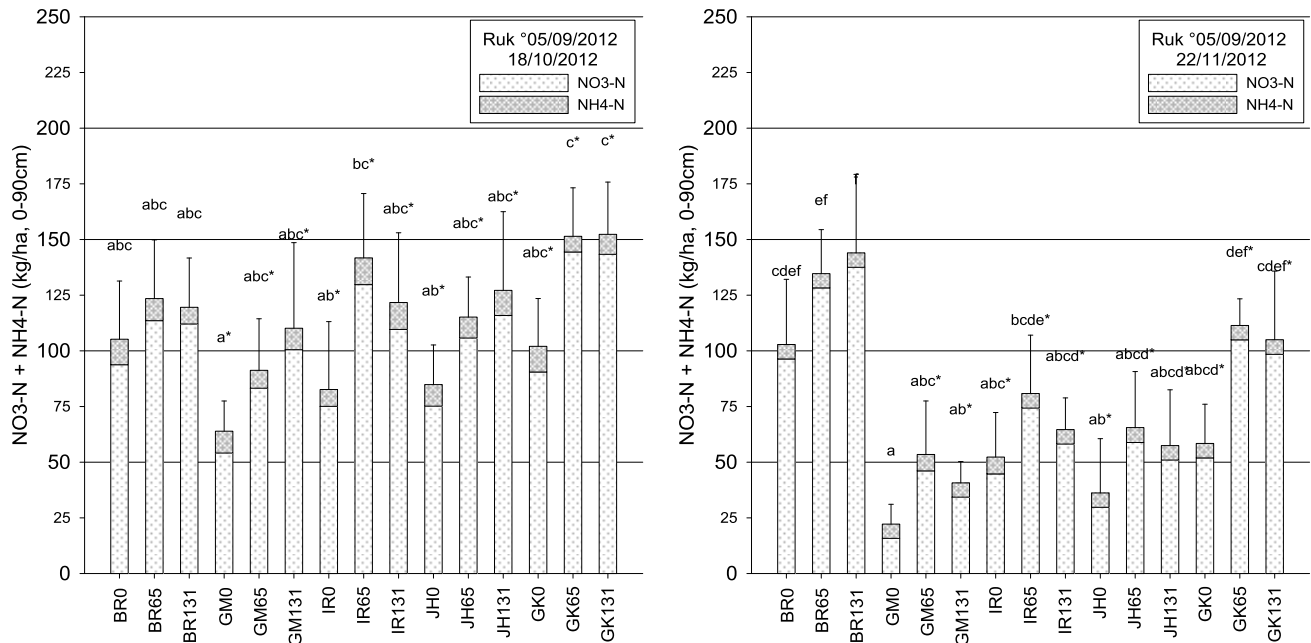
Oostende waren de verschillen tussen beide zaaitijdstippen bijzonder klein omdat beide zaaitijdstippen zich niet voldoende konden ontwikkelen.

De 2^e zaai gebeurde het laatst in Bottelare (de kleibodem in Oostende buiten beschouwing gelaten) en daar waren ook de verschillen tussen beide zaaitijdstippen het grootst (Figuur 29). In oktober was N_{min} voor de 1^e zaai onder alle vanggewassen sterk afgenomen t.o.v. de braak. Het effect van de bemestingsdosis was beperkt. Voor de 2^e zaai waren er weinig verschillen tussen de vanggewassen en de braakbehandeling en tussen de vanggewassen onderling. Het effect van bemesting was meer uitgesproken. Uit de profielen blijkt duidelijk dat er voor alle behandelingen van de 2^e zaai neerwaartse migratie van de N_{min} optrad tussen begin en eind oktober.



FIGUUR 29: MINERALE BODEMSTIKSTOF OP 23 OKTOBER IN BOTTELARE VOOR DE 1^E ZAAI (LINKS) EN DE 2^E ZAAI (RECHTS).

Ook in Rukkelingen-Loon was N_{min} eind oktober meer afgenomen voor de 1^e zaai dan voor de 2^e zaai. Desondanks nam N_{min} onder vanggewassen van de 2^e zaai tussen oktober en november toch nog aanzienlijk af, terwijl voor de braakbehandeling nagenoeg geen verandering werd waargenomen. De neerwaartse migratie van N_{min} reikte in Rukkelingen-Loon minder diep dan in Bottelare, zowel op de braak als onder vanggewassen; dit was wellicht het gevolg van de kleinere neerslaghoeveelheid en de zwaardere textuur. Daardoor konden de vanggewassen van de 2^e zaai in Rukkelingen-Loon nog een deel van de diepere N_{min} recupereren. Het effect van de bemestingsdosis bleef weliswaar zichtbaar (Figuur 30).



FIGUUR 30: MINERALE BODEMSTIKSTOF VOOR DE 2^E ZAAI IN RUKKELINGEN-LOON OP 18 OKTOBER (LINKS) EN 22 NOVEMBER (RECHTS).

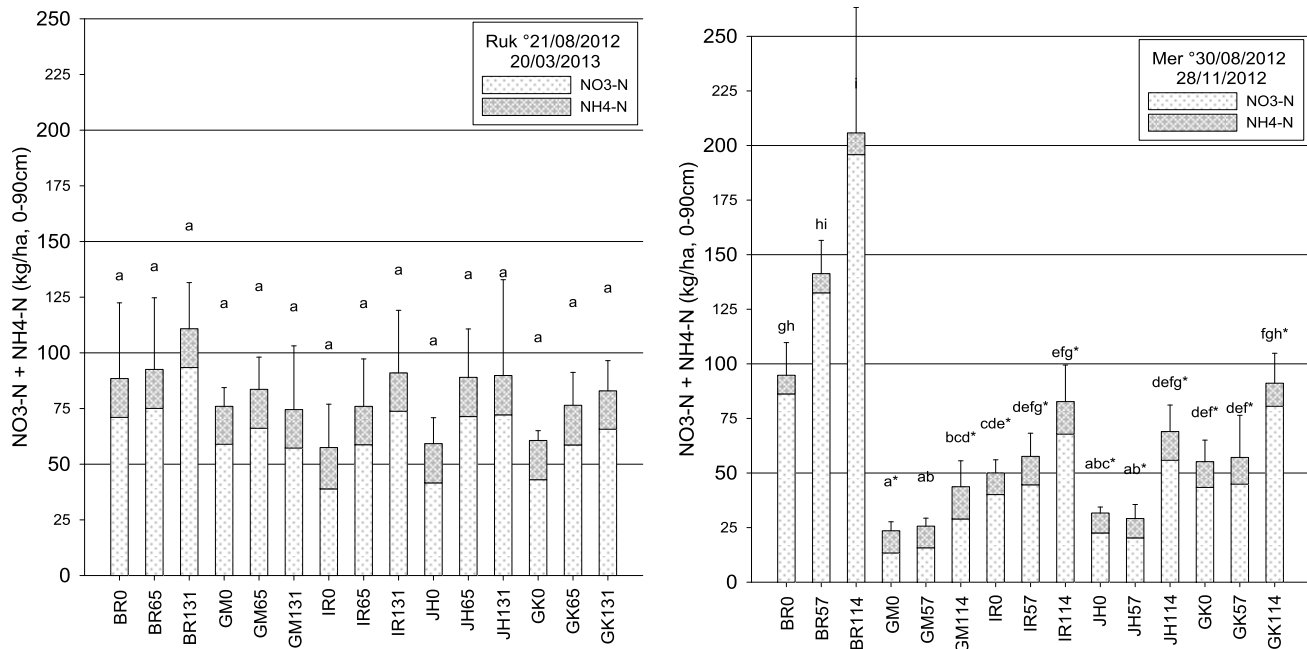
In het voorjaar werden voor N_{min} enkel significante verschillen aangetroffen tussen overeenkomstige behandelingen van het 1^e en 2^e zaaitijdstip voor de niet-winterharde vanggewassen in Merelbeke: N_{min} was significant hoger onder gele mosterd en Japanse haver van het 2^e zaaitijdstip.

3. Effect van de bemestingsdosis op N_{min}

Het effect van de bemestingsdosis hing nauw samen met het zaaitijdstip en slechts in beperkte mate met het soort vanggewas.

Voor de 1^e zaai waren er slechts heel kleine verschillen te zien voor N_{min} en dit voor alle bemonsteringstijdstippen. In Oostende, waar de vanggewassen zich niet goed ontwikkelden, konden de bemestingstrappen nog goed waargenomen worden. 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 (Figuur 31). In het 1^e proefjaar was dit veel minder duidelijk: de vanggewassen werden toen ook ingewerkt in januari, maar vooraf niet geklepeld. In Merelbeke was het effect van de bemesting enkel waarneembaar onder de niet-winterharde vanggewassen in het voorjaar.

Voor de 2^e zaai zijn de bemestingstrappen in het najaar overal goed waarneembaar. Enkel in Merelbeke, waar de 2^e zaai het vroegst gezaaid werd, zijn er onder vanggewassen geen grote verschillen te zien tussen de 0N en de 60N-trap (Figuur 31).



FIGUUR 31: MINERALE BODEMSTIKSTOF VOOR DE 1^E ZAAI EIND MAART IN RUKKELINGEN-LOON (LINKS) EN VOOR DE 2^E ZAAI EIND NOVEMBER IN MERELBEKE (RECHTS).

4. Effect van het soort vanggewas op N_{min}

Het effect van het soort vanggewas is waarneembaar in Bottelare, Merelbeke en Rukkelingen-Loon. In het najaar was N_{min} bij tijdige zaai onder alle vanggewassen vergelijkbaar. Analoog aan het 1^e proefjaar waren gele mosterd en Japanse haver bij laattijdige zaai beter in staat de achterstand in te halen dan Italiaans raaigras en het grasklavermengsel. In Rukkelingen-Loon – waar de vanggewassen begin december geklepeld werden – was N_{min} in januari lager voor Italiaans raaigras en grasklaver dan voor gele mosterd en Japanse haver. Dit was wellicht het gevolg van een combinatie van enerzijds de verderzetting van de N-opname door Italiaans raaigras en grasklaver en anderzijds de N-vrijstelling uit een grotere hoeveelheid geklepelde biomassa voor gele mosterd en Japanse haver. Op de andere locaties waren er in januari geen significante verschillen tussen de vanggewassen, maar was N_{min} vaak significant groter onder braak dan onder vanggewassen. In het voorjaar was N_{min} in Merelbeke kleiner onder de winterharde dan onder de niet-winterharde vanggewassen, wat verklaard kan worden door de hernomen N-opname en de beperkte N-vrijstelling uit winterharde vanggewassen.

3.7 STATISTISCHE EVALUATIE VAN HET EFFECT VAN DE BEMESTING

3.7.1 EFFECT VAN DE BEMESTING OP MINERALE N IN DE BODEM EN N-OPNAME

In hoofdstukken 3.5.2 en 3.6.3 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.

3.7.1.1 EFFECT VAN DE BEMESTING OP MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM

Eerst en vooral dient het duidelijk te zijn dat de minerale N in de bodem weliswaar een maatstaf is voor potentiële N-verliezen, maar dat elke momentopname beïnvloed wordt door de reeds opgetreden uitspoeling of denitrificatie maar ook door de immobilisatie en de opname door het gewas. Om al deze processen mee in rekening te brengen,

werden modelsimulaties uitgevoerd (zie hoofdstuk 4). Desalniettemin is de kans op N-verliezen in de periode volgend op de bemonstering significant verschillend indien significante verschillen in het N_{\min} -gehalte worden waargenomen. Aangezien de kans op N-verliezen relevant wordt vanaf de maand oktober, werden in het najaar enkel de N_{\min} -gehaltenes voor de periode oktober-november statistisch vergeleken. Na de winter gaven de resultaten (hoofdstuk 3.6.3) aan dat de verschillen in januari steeds klein waren. Pas in het voorjaar ontstaan door mineralisatie opnieuw verschillen; aangezien deze bij natte en koude weersomstandigheden nog steeds aanleiding kunnen geven tot N-verliezen (bv. bij afwezigheid van een volgteelt), werden ook voor het voorjaar de N_{\min} -gehaltenes statistisch vergeleken.

Er kon geen variantieanalyse (ANOVA) worden uitgevoerd aangezien voor de verschillende groepen binnen de dataset geen homogeniteit van varianties kon worden bekomen met eenzelfde soort transformatie, zowel voor als na opsplitsen van de dataset in subsets (per locatie, per zaaitijdstip en per bemonsteringstijdstip omwille van significante interactie tussen de verschillende factoren). Daarom werd het N_{\min} -gehalte per subset paarsgewijs vergeleken a.d.h.v. een gepaarde t-test. Er werd voor een gepaarde t-test gekozen om het blokeffect binnen de proefpercelen zo goed mogelijk mee te nemen. De normaliteit van de verschillen tussen de herhalingen werd nagegaan: in 93,0% 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 (Tabel 10 en Tabel 11) zijn gebaseerd op individuele vergelijkingen en werden niet gecorrigeerd volgens Bonferroni, aangezien tientallen vergelijkingen gebaseerd op telkens slechts 4 herhalingen werden getest. Positieve en negatieve individuele verschillen tussen overeenkomstige bemeste en niet-bemeste behandelingen werden eenzijdig getest en werden significant genoemd indien de p-waarde < 0,05.

TABEL 10: NIET-GE CorrIGEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN HET N_{\min} -GEHALTE VAN DE BODEM (0-90CM OF °0-60CM) TUSSEN BEMESTE (60 EN 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 1^E PROEFJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN EENZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN. P-WAARDEN < 0,05 VOOR SIGNIFICANTE POSITIEVE VERSCHILLEN ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID EN DUIDEN OP EEN HOGER N_{\min} -GEHALTE ONDER BEMESTE BEHANDELINGEN. SIGNIFICANTE NEGATIEVE VERSCHILLEN ZIJN MET EEN * AANGEDUID EN DUIDEN OP EEN LAGER N_{\min} -GEHALTE ONDER BEMESTE BEHANDELINGEN.

OKTOBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
BR60 - BR0	0.436	0.213	0.096	0.255	0.008	0.448	0.096	0.255
GM60 - GM0	0.247	0.397	0.329	0.234	0.279	0.343	0.069	0.291
IR60 - IR0	0.390	0.150	0.498	0.008	0.091	0.158	0.450	0.008
JH60 - JH0	0.297	0.399	0.124	0.152	0.364	0.052	0.259	0.027
GK60 - GK0	-	0.237	0.221	0.004	-	0.234	0.046	0.022
BR120 - BR0	0.034	0.121	0.355	0.212	0.002	0.457	0.355	0.212
GM120 - GM0	0.319	0.091	0.305	0.141	0.117	0.049	0.072	0.050
IR120 - IR0	0.126	0.329	0.328	0.094	0.003	0.276	0.371	0.067
JH120 - JH0	0.204	0.262	0.232	0.401	0.113	0.496	0.250	0.025
GK120 - GK0	-	0.392	0.440	0.006	-	0.223	0.203	0.010

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
BR60 - BR0	0.182	0.326	0.325°	0.007	0.053	0.195	0.325°	0.007
GM60 - GM0	0.203	0.462	0.350°	0.212	0.323	0.205	0.039°	0.061
IR60 - IR0	0.365	0.222	0.453°	0.270	0.101	0.001	0.020°	0.240

JH60 - JH0	0.411	0.060	0.227°	0.400	0.003*	0.195	0.115°	0.045
GK60 - GK0	-	0.153	0.166°	0.253	-	0.266	0.184°	0.381
BR120 - BR0	0.027	0.175	0.336°	0.009	0.003	0.031	0.336°	0.009
GM120 - GM0	0.027	0.362	0.080°	0.123	0.137	0.045	0.137°	0.021
IR120 - IR0	0.338	0.146	0.339°	0.081	0.144	0.137	0.008°	0.041
JH120 - JH0	0.090	0.381	0.070°	0.179	0.248	0.100	0.246°	0.020
GK120 - GK0	-	0.075	0.325°	0.078	-	0.286	0.443°	0.098

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
BR60 - BR0	0.136	0.453	0.386	0.222	0.404	0.291	0.386	0.222
GM60 - GM0	0.292	0.403	0.153	0.042	0.419	0.189	0.170	0.009
IR60 - IR0	0.057	0.206	0.479	0.388	0.001	0.280	0.089	0.132
JH60 - JH0	0.057	0.258	0.347	0.033	0.004	0.207	0.438	0.059
GK60 - GK0	-	0.050	0.478	0.151	-	0.056	0.308	0.172
BR120 - BR0	0.096	0.188	0.463	0.024	0.319	0.223	0.463	0.024
GM120 - GM0	0.476	0.108	0.009	0.050	0.315	0.274	0.330	0.010
IR120 - IR0	0.096	0.162	0.183	0.265	0.034	0.053	0.154	0.039
JH120 - JH0	0.109	0.082	0.356	0.001	0.027	0.131	0.428	0.002
GK120 - GK0	-	0.010	0.402	0.128	-	0.026	0.182	0.047

TABEL 11: NIET-GECORRIGEEDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN HET N_{MIN} -GEHALTE VAN DE BODEM (0-90CM) TUSSEN BEMESTE (60 EN 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 2^E PROEFJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN EENZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN. P-WAARDEN < 0,05 VOOR SIGNIFICANTE POSITIEVE VERSCHILLEN ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID EN DUIDEN OP EEN HOGER N_{MIN} -GEHALTE ONDER BEMESTE BEHANDELINGEN. ER WERDEN GEEN SIGNIFICANTE NEGATIEVE VERSCHILLEN AANGETROFFEN.

OKTOBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
BR60 - BR0	0.249	0.056	0.399	0.057	0.249	0.056	0.399	0.057
GM60 - GM0	0.028	0.234	0.316	0.123	0.028	0.460	0.294	0.094
IR60 - IR0	0.350	0.026	0.256	0.169	0.001	0.386	0.106	0.009
JH60 - JH0	0.025	0.047	0.232	0.421	0.044	0.433	0.062	0.058
GK60 - GK0	0.220	0.230	-	0.097	0.189	0.307	-	0.017
BR120 - BR0	0.057	0.033	0.001	0.022	0.057	0.033	0.001	0.022
GM120 - GM0	0.037	0.374	0.052	0.036	0.015	0.093	0.104	0.071
IR120 - IR0	0.323	0.114	0.088	0.256	0.037	0.055	0.018	0.105
JH120 - JH0	0.158	0.001	0.035	0.174	0.016	0.026	0.014	0.054
GK120 - GK0	0.088	0.151	-	0.169	0.002	0.013	-	0.008

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
BR60 - BR0	0.362	0.003	0.002	0.013	0.362	0.003	0.002	0.013

GM60 - GM0	0.281	0.141	0.213	0.500	0.163	0.267	0.034	0.038
IR60 - IRO	0.329	0.072	0.081	0.063	0.079	0.098	0.001	0.012
JH60 - JH0	0.262	0.333	0.107	0.043	0.051	0.266	0.134	0.027
GK60 - GK0	0.469	0.288	-	0.204	0.292	0.421	-	0.013
BR120 - BRO	0.006	0.007	0.031	0.032	0.006	0.007	0.031	0.032
GM120 - GM0	0.071	0.116	0.148	0.107	0.080	0.033	0.019	0.001
IR120 - IRO	0.120	0.365	0.002	0.450	0.025	0.025	0.028	0.100
JH120 - JH0	0.304	0.031	0.059	0.082	0.013	0.006	0.073	0.182
GK120 - GK0	0.007	0.001	-	0.101	0.005	0.013	-	0.066

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
BR60 - BRO	0.037	0.135	0.226	0.245	0.037	0.135	0.226	0.245
GM60 - GM0	0.163	0.257	0.244	0.228	0.051	0.160	0.287	0.075
IR60 - IRO	0.373	0.269	0.341	0.103	0.333	0.361	0.170	0.238
JH60 - JH0	0.469	0.050	0.083	0.064	0.166	0.084	0.100	0.363
GK60 - GK0	0.275	0.052	-	0.060	0.315	0.161	-	0.107
BR120 - BRO	0.490	0.074	0.083	0.053	0.490	0.074	0.083	0.053
GM120 - GM0	0.164	0.084	0.041	0.465	0.015	0.006	0.060	0.335
IR120 - IRO	0.183	0.473	0.283	0.084	0.315	0.352	0.099	0.037
JH120 - JH0	0.107	0.039	0.036	0.146	0.077	0.082	0.156	0.416
GK120 - GK0	0.444	0.207	-	0.020	0.381	0.458	-	0.063

Uit de gepaarde t-testen tussen overeenkomstige bemeste en niet-bemeste behandelingen werd slechts in één geval een significant negatief verschil in het N_{\min} -gehalte aangetroffen: in Bottelare was in november 2011 het N_{\min} -gehalte lager onder JH60 dan onder JH0 (Tabel 10). Er werden over beide proefjaren wel meerdere significante positieve verschillen in het N_{\min} -gehalte aangetroffen (Tabel 10, Tabel 11), wat er voor die behandelingen op wees dat een bemesting een stijging van het N_{\min} -gehalte veroorzaakte. Het aantal individueel significante hogere N_{\min} -gehalten door toedoen van een bemesting wordt zichtbaar beïnvloed door de diverse oogsttijdstippen, zaaitijdstippen, bemestingsniveaus, vanggewassen en locaties/proefjaren. Opvallend is dat de N_{\min} -gehalten onder braak in het najaar niet in alle situaties significant verschillend zijn (vooral voor het 1^e proefjaar). Aangezien uitspoeling voor de winter niet waarschijnlijk is (zie ook simulaties hoofdstuk 4) kan dit (deels) toegeschreven worden aan immobilisatie van N door mineralisatie van 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. Indien de individuele resultaten onder vanggewassen worden samengevat over de 8 locaties/2 proefjaren heen (Tabel 12), blijkt dat er steeds een hoger percentage individueel significante verschillen werd teruggevonden voor de 2^e zaai dan voor de 1^e zaai. Een hogere bemesting resulteerde eveneens in een hoger percentage individueel significante verschillen. Voor de 2^e zaai werden in het najaar relatief meer individueel significante verschillen aangetroffen dan in het voorjaar, maar dit was veel minder uitgesproken wanneer enkel de vóór 1 september ingezaaide vanggewassen in rekening werden gebracht (waarden vermeld tussen haakjes in Tabel 11). Ook voor de 1^e zaai waren de cijfers voor najaar en voorjaar vergelijkbaar.

TABEL 12: PERCENTAGE INDIVIDUEEL SIGNIFICANTE POSITIEVE VERSCHILLEN IN HET N_{\min} -GEHALTE TUSSEN BEMESTE EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN VOOR DE 4 VANGGEWASSEN, DE 8 LOCATIES EN BEIDE PROEFJAREN SAMEN (NAJAAR = OKTOBER + NOVEMBER). VOOR DE 2^E ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES OOK DE PERCENTAGES WEERGEGEVEN INDIEN ENKEL DE LOCATIES IN REKENING GEBRACHT WERDEN WAAR DE VANGGEWASSEN VOOR 1 SEPTEMBER WERDEN INGEZAAID.

	Zaai 1		Zaai 2	
	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
Najaar	12	17	32 (21)	48 (42)
Voorjaar	10	23	23 (16)	33 (42)

Om overkoepelende statistisch onderbouwde besluiten te bekomen over het effect van de bemesting op het N_{\min} -gehalte onder verschillende vanggewassen, kunnen gepaarde t-testen uitgevoerd worden over de 8 locaties/2 proefjaren heen. Aangezien $n \geq 30$ werd normaliteit van de dataset verondersteld op basis van de centrale limietstelling. De beoordeling van de resulterende p-waarden (Tabel 13) dient te gebeuren met inachtneming van de Bonferroni-correctie. Om de test voldoende streng te houden diende de Bonferroni-correctie zorgvuldig te worden toegepast: daarom werd de braakbehandeling niet in rekening gebracht, werden de 60N en 120N bemestingstrappen apart beoordeeld en werd onderscheid gemaakt tussen 2 benaderingen: ofwel werden het najaar en het voorjaar apart beoordeeld, ofwel werden beide samen beoordeeld. Dit leidde tot een totaal van respectievelijk 8 of 16 vergelijkingen per bemestingsniveau. 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.

TABEL 13: NIET-GE CorrIGEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN HET N_{\min} -GEHALTE TUSSEN BEMESTE (60 OF 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN IN HET NAJAAR (OKTOBER + NOVEMBER) EN IN HET VOORJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN TWEEZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN OVER ALLE LOCATIES EN BEIDE PROEFJAREN HEEN. P-WAARDEN $< 0,007$ ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID, P-WAARDEN TUSSEN 0,007 EN 0,013 ZIJN IN HET ORANJE AANGEDUID.

NAJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
BR	0,000	0,000	0,000	0,000
GM	0,034	0,000	0,000	0,000
IR	0,074	0,001	0,000	0,000
JH	0,025	0,000	0,001	0,000
GK	0,079	0,000	0,004	0,000

VOORJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
BR	0,017	0,000	0,038	0,001
GM	0,723	0,377	0,458	0,010
IR	0,079	0,070	0,035	0,307
JH	0,007	0,014	0,111	0,006
GK	0,147	0,183	0,801	0,484

Uit Tabel 13 blijkt dat er in het najaar geen significante verschillen gevonden worden voor de 60N bemesting onder vroeg ingezaaide vanggewassen. In het voorjaar wordt enkel onder Japanse haver een significant verschil teruggevonden. Voor de braakbehandeling voor de 1^e en 2^e zaai werden niet altijd dezelfde p-waarden bekomen aangezien in het 1^e proefjaar op 2 locaties (Bottelare en Lemberge) voor beide zaaitijdstippen een aparte braakbehandeling werd aangelegd.

Het effect van de bemesting (60N en 120N) op het N_{\min} -gehalte onder laat ingezaaide vanggewassen blijkt 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, kunnen de p-waarden uit Tabel 13 herschreven worden (Tabel 14). Door reductie van de dataset diende in het voorjaar ($n < 30$) normaliteit aangetoond te worden. Dit werd bereikt voor 80% van de gevallen a.d.h.v. een Kolmogorov-Smirnov-test of Shapiro-Wilk-test. Op basis daarvan werd aangenomen dat de achterliggende populaties normaal verdeeld waren en gepaarde t-testen konden worden uitgevoerd.

TABEL 14: NIET-GECORRIGEEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN HET N_{\min} -GEHALTE TUSSEN BEMESTE (60 OF 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN IN HET NAJAAR (OKTOBER + NOVEMBER) EN IN HET VOORJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN TWEEZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN OVER ALLE LOCATIES EN BEIDE PROEFJAREN HEEN, ONDER VOORWAARDE DAT DE VANGGEWASSEN VAN DE 2^E ZAAI WERDEN INGEZAAID VOOR 1 SEPTEMBER. P-WAARDEN < 0,007 ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID; P-WAARDEN TUSSEN 0,007 EN 0,013 ZIJN IN HET ORANJE AANGEDUID.

NAJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
BR	0,000	0,000	0,000	0,000
GM	0,034	0,000	0,074	0,000
IR	0,074	0,001	0,118	0,000
JH	0,025	0,000	0,693	0,000
GK	0,079	0,000	0,523	0,000

VOORJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
BR	0,017	0,000	0,264	0,017
GM	0,723	0,377	0,268	0,003
IR	0,079	0,070	0,023	0,703
JH	0,007	0,014	0,001	0,001
GK	0,147	0,183	0,843	0,097

Door als voorwaarde te stellen dat vanggewassen ingezaaid moeten worden vóór 1 september, waren er in het najaar zowel onder vroege als late vanggewassen géén significante verschillen meer in het N_{\min} -gehalte door toedoen van een bemesting met 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 aantoont dat de mineralisatie uit de mest in het voorjaar (na uitspoeling) beperkt is. Daarentegen werden voor Japanse haver wel significante verschillen tussen de 0N- en de 60N-trap aangetoond, welke worden toegeschreven aan verschillen in N_{\min} -vrijstelling uit het bemeste en niet-bemeste afgestorven vanggewas.

In Tabel 15 worden tot slot de overeenkomstige gemiddelde verschillen in het N_{\min} -gehalte in de bodem (in kg N ha^{-1}) weergegeven. Onder veggewassen blijken zelfs significante verschillen relatief klein t.o.v. de meetfout in de praktijk (± 10 kg N ha^{-1}). Voor de braakbehandeling voor de 1^e en 2^e zaai werden opnieuw geen identieke cijfers bekomen aangezien in het 1^e proefjaar op 2 locaties (Bottelare en Lemberge) voor beide zaaitijdstippen een aparte braakbehandeling werd aangelegd.

TABEL 15: GEMIDDELDE VERSCHILLEN (KG N HA^{-1}) IN HET N_{\min} -GEHALTE (0-90 CM) TUSSEN BEMESTE (60 OF 120 KG N HA^{-1}) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN IN HET NAJAAR (OKTOBER + NOVEMBER) EN IN HET VOORJAAR. DE GEMIDDELDE VERSCHILLEN WERDEN BEREKEND OVER ALLE LOCATIES EN BEIDE PROEFJAREN HEEN, ZIJ HET ONDER VOORWAARDE DAT DE VANGGEWASSEN VAN DE 2^E ZAAI WERDEN INGEZAAID VOOR 1 SEPTEMBER. SIGNIFICANTE VERSCHILLEN WORDEN HIER AANGEDUID MET EEN * (SIGNIFICANT REKENING HOUDEND MET NAJAAR EN VOORJAAR SAMEN) OF MET EEN ** (SIGNIFICANT REKENING HOUDEND MET ENKEL NAJAAR OF ENKEL VOORJAAR).

NAJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
BR	16*	34*	15*	48*
GM	3	9*	3	10*
IR	4	8*	4	14*
JH	4	8*	1	13*
GK	3	8*	2	21*

VOORJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
BR	7	15*	4	15
GM	1	4	5	18*
IR	6	6	8	1
JH	10**	11	10*	26*
GK	7	4	0	2

3.7.1.2 EFFECT VAN DE BEMESTING OP DE N-OPNAME

Indien onder veggewassen significante verschillen werden vastgesteld tussen het N_{\min} -gehalte op een bemeste en een niet-bemeste behandeling, diende onderzocht te worden of de N-vrijstelling uit de mest gecompenseerd werd door een voldoende grote extra N-opname van het bemeste veggewas. Enkel indien dit niet het geval was, kon het significant verschil in het N_{\min} -gehalte (tenminste deels) toegeschreven worden aan een te beperkte opname van de toegediende N door het veggewas. Het is noodzakelijk beide negatief te formuleren: om een statistische type II fout te voorkomen kunnen immers enkel significante verschillen voor beide variabelen met elkaar vergeleken worden.

De fractie N vrijgesteld uit de mest werd berekend per oogstijdstip en per locatie op basis van de richtcijfers in Tabel 16. De bovengrondse N-opbrengst van het veggewas (N_{plant}) werd verminderd met deze minerale fractie en wordt in dit rapport verder $N_{\text{plant-mest}}$ genoemd.

TABEL 16: FRACTIE N VRIJGESTELD UIT DE VARKENSMENGMEST.

Oogstijdstip	Eind oktober	Eind november	Voorjaar
N vrijgesteld (%)	60	65	70

Significante negatieve verschillen in $N_{\text{plant-mest}}$ tussen bemeste en niet-bemeste behandelingen wezen dusdanig onmiddellijk op een onvolledige opname van de N vrijgesteld uit de mest. $N_{\text{plant-mest}}$ werd net als in hoofdstuk 3.7.1.1 paarsgewijs getest met behulp van een t-test, aangezien niet voldaan werd aan de voorwaarden bij het uitvoeren van een variantieanalyse (ANOVA). In 92,3% 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 (Tabel 17 en Tabel 18) zijn gebaseerd op individuele vergelijkingen en werden niet gecorrigeerd volgens Bonferroni, aangezien tientallen vergelijkingen gebaseerd op telkens slechts 4 herhalingen werden getest. Negatieve individuele verschillen tussen overeenkomstige bemeste en niet-bemeste behandelingen werden eenzijdig getest en werden significant genoemd indien de p-waarde < 0,05.

TABEL 17: NIET-GE CorrIGEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN $N_{\text{PLANT-MEST}}$ TUSSEN BEMESTE (60 EN 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 1^E PROEFJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN EENZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN. P-WAARDEN < 0,05 VOOR SIGNIFICANTE NEGATIEVE VERSCHILLEN ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID EN DUIDEN OP EEN ONVOLLEDIGE OPNAME VAN DE UIT DE MEST VRIJGESTELDE N.

OKTOBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
GM60 - GM0	0.013	0.043	0.023	0.221	0.001	0.049	0.002	0.495
IR60 - IR0	0.002	0.294	0.006	0.012	0.000	0.006	0.008	0.156
JH60 - JH0	0.002	0.019	0.001	0.058	0.001	0.016	0.001	0.116
GK60 - GK0	-	0.006	-	0.010	-	0.006	-	0.000
GM120 - GM0	0.001	0.003	0.001	0.027	0.001	0.010	0.004	0.109
IR120 - IR0	0.000	0.022	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002
JH120 - JH0	0.001	0.004	0.000	0.007	0.001	0.005	0.000	0.158
GK120 - GK0	-	0.010	-	0.002	-	0.001	-	0.000

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
GM60 - GM0	0.126	0.012	0.012	0.187	0.012	0.033	0.086	0.178
IR60 - IR0	0.002	0.104	0.001	0.417	0.000	0.004	0.004	0.405
JH60 - JH0	0.003	0.006	0.005	0.230	0.000	0.012	0.005	0.139
GK60 - GK0	-	0.006	0.000	0.055	-	0.001	0.001	0.009
GM120 - GM0	0.004	0.006	0.001	0.009	0.000	0.009	0.005	0.040
IR120 - IR0	0.001	0.011	0.000	0.027	0.000	0.002	0.001	0.019
JH120 - JH0	0.004	0.002	0.001	0.087	0.001	0.006	0.000	0.283
GK120 - GK0	-	0.002	0.000	0.016	-	0.002	0.000	0.001

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
GM60 - GM0	0.002	0.001	-	0.001	0.003	0.000	-	0.006
IR60 - IR0	0.000	0.023	-	0.058	0.001	0.026	-	0.004
JH60 - JH0	0.002	0.000	-	0.078	0.014	0.003	-	0.002
GK60 - GK0	-	0.000	-	0.000	0.003	0.048	-	0.006

GM120 - GM0	0.002	0.000	-	0.000	0.001	0.000	-	0.000
IR120 - IR0	0.000	0.007	-	0.001	0.000	0.001	-	0.001
JH120 - JH0	0.000	0.000	-	0.000	0.009	0.001	-	0.000
GK120 - GK0	-	0.000	-	0.001	0.000	0.001	-	0.001

TABEL 18: NIET-GE CorrIGEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN $N_{\text{PLANT-MEST}}$ TUSSEN BEMESTE (60 EN 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 2^E PROEFJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN EENZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN. P-WAARDEN < 0,05 VOOR SIGNIFICANTE NEGATIEVE VERSCHILLEN ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID EN DUIDEN OP EEN ONVOLLEDIGE OPNAME VAN DE UIT DE MEST VRIJGESTELDE N.

OKTOBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	0.203	0.004	-	0.045	-	0.289	-	0.001
IR60 - IR0	0.189	0.145	-	0.018	-	0.025	-	-
JH60 - JH0	0.247	0.008	0.000	0.001	-	0.024	0.000	-
GK60 - GK0	0.166	0.131	-	0.062	-	0.011	-	-
GM120 - GM0	0.016	0.111	-	0.017	-	0.175	-	0.001
IR120 - IR0	0.074	0.360	-	0.001	-	0.039	-	-
JH120 - JH0	0.057	0.000	0.000	0.001	-	0.073	0.000	-
GK120 - GK0	0.176	0.317	-	0.017	-	0.001	-	-

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	0.321	0.031	0.000	0.028	0.012	0.091	0.000	0.000
IR60 - IR0	0.195	0.125	0.000	0.010	0.000	0.010	0.000	0.007
JH60 - JH0	0.226	0.008	0.000	0.001	0.000	0.034	0.000	0.002
GK60 - GK0	0.046	0.276	-	0.000	-	0.019	-	-
GM120 - GM0	0.010	0.010	0.000	0.001	0.000	0.407	0.000	0.000
IR120 - IR0	0.015	0.092	0.000	0.001	0.000	0.012	0.000	0.001
JH120 - JH0	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.012	0.000	0.000
GK120 - GK0	0.001	0.280	-	0.001	-	0.001	-	-

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	0.037	0.001	-	-	0.003	0.004	-	-
IR60 - IR0	0.156	0.072	-	-	0.001	0.001	-	-
JH60 - JH0	0.014	0.032	-	-	0.014	0.001	-	-
GK60 - GK0	0.248	0.072	-	-	0.003	0.005	-	-
GM120 - GM0	0.005	0.000	-	-	0.001	0.000	-	-
IR120 - IR0	0.055	0.131	-	-	0.000	0.000	-	-
JH120 - JH0	0.007	0.007	-	-	0.009	0.001	-	-
GK120 - GK0	0.028	0.383	-	-	0.000	0.004	-	-

Het aantal individueel significante p-waarden (Tabel 17 en Tabel 18) is erg groot en kan verschillende oorzaken hebben:

1. Onvolledige opname van de fractie N vrijgesteld uit de mest door een te beperkte opnamecapaciteit van de vanggewassen => dit moet zich weerspiegelen in significante verschillen in het N_{\min} -gehalte van de bodem.
2. Onvolledige opname van de fractie N vrijgesteld uit de mest door immobilisatie van de N die optrad bij mineralisatie van de graanstoppel => dit moet zich weerspiegelen in het uitblijven van significante verschillen in het N_{\min} -gehalte van de bodem.
3. Overschatting van de fractie N vrijgesteld uit de mest.
4. Onderschatting van de extra ondergrondse N-opbrengst door toedoen van de bemesting => in bovenstaande benadering worden verschillen in ondergrondse N-opbrengst immers niet in rekening gebracht.

Aangezien het aantal significante verschillen in het N_{\min} -gehalte relatief gezien beperkt was en bovendien niet altijd significante verschillen werden aangetroffen voor het N_{\min} -gehalte tussen de wel en niet bemeste braakbehandelingen, is N-immobilisatie waarschijnlijk een belangrijke factor. Dit hield in dat een beperkte extra opname van het vanggewas toch voldoende kon zijn om de niet-geïmmobiliseerde minerale fractie N uit de mest te neutraliseren.

Indien echter significante verschillen waargenomen werden voor het N_{\min} -gehalte, kon nu ook nagegaan worden of deze samenvielen met een significant onvolledige opname van de N vrijgesteld uit de mest. Hiertoe werden de resultaten uit Tabel 10, Tabel 11, Tabel 17 en Tabel 18 vergeleken (Tabel 19 en Tabel 20). Indien het vanggewas niet geoogst kon worden omdat het onvoldoende ontwikkeld of reeds ingewerkt was, werd uiteraard aangenomen dat de N vrijgesteld uit de mest niet volledig kon worden opgenomen.

TABEL 19: EVALUATIE VAN DE BEMESTING ONDER VANGGEWASSEN VOOR HET 1^E PROEFJAAR: IS ER EEN INDIVIDUEEL SIGNIFICANT POSITIEF VERSCHIL ($P < 0,05$) IN HET N_{\min} -GEHALTE VAN DE BODEM, EN IS DIT TOE TE SCHRIJVEN AAN EEN INDIVIDUEEL SIGNIFICANT ($P < 0,05$) ONVOLLEDIGE OPNAME VAN DE TOEGEDIENDE MEST DOOR HET VANGGEWAS?

OKTOBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
GM60 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
IR60 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
JH60 - JH0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
GK60 - GK0	-	NEEN	NEEN	JA	-	NEEN	JA	JA
GM120 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN
IR120 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN
JH120 - JH0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
GK120 - GK0	-	NEEN	NEEN	JA	-	NEEN	NEEN	JA

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
GM60 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
IR60 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	JA	NEEN
JH60 - JH0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
GK60 - GK0	-	NEEN	NEEN	NEEN	-	NEEN	NEEN	NEEN

GM120 - GM0	JA	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	JA
IR120 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	JA
JH120 - JH0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
GK120 - GK0	-	NEEN	NEEN	NEEN	-	NEEN	NEEN	NEEN

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK	STD
GM60 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN	JA
IR60 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN
JH60 - JH0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN
GK60 - GK0	-	NEEN	NEEN	NEEN	-	NEEN	NEEN	NEEN
GM120 - GM0	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA
IR120 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	JA
JH120 - JH0	NEEN	NEEN	NEEN	JA	JA	NEEN	NEEN	JA
GK120 - GK0	-	JA	NEEN	NEEN	-	JA	NEEN	JA

NEEN	Geen significant verschil in N_{min}
NEEN	Significant verschil in N_{min} maar geen significant verschil in $N_{plant-mest}$
JA	Significant verschil in N_{min} en een significant verschil in $N_{plant-mest}$
-	Vanggewas niet meegenomen op deze locatie

TABEL 20: EVALUATIE VAN DE BEMESTING ONDER VANGGEWASSEN VOOR HET 2^E PROEFJAAR: IS ER EEN INDIVIDUEEL SIGNIFICANT VERSCHIL ($P < 0,05$) IN HET N_{MIN} -GEHALTE VAN DE BODEM, EN IS DIT TOE TE SCHRIJVEN AAN EEN INDIVIDUEEL SIGNIFICANT ($P < 0,05$) ONVOLLEDIGE OPNAME VAN DE TOEGEDIENDE MEST DOOR HET VANGGEWAS?

OKTOBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN
IR60 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	JA
JH60 - JH0	NEEN	JA	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN
GK60 - GK0	NEEN	NEEN	-	NEEN	NEEN	NEEN	-	JA
GM120 - GM0	JA	NEEN	NEEN	JA	JA	NEEN	NEEN	NEEN
IR120 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	JA	NEEN
JH120 - JH0	NEEN	JA	JA	NEEN	JA	NEEN	JA	NEEN
GK120 - GK0	NEEN	NEEN	-	NEEN	JA	JA	-	JA

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	JA
IR60 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	JA
JH60 - JH0	NEEN	NEEN	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN	JA
GK60 - GK0	NEEN	NEEN	-	NEEN	NEEN	NEEN	-	JA
GM120 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA	JA
IR120 - IRO	NEEN	NEEN	JA	NEEN	JA	JA	JA	NEEN

JH120 - JH0	NEEN	JA	NEEN	NEEN	JA	JA	NEEN	NEEN
GK120 - GK0	JA	NEEN	-	NEEN	JA	JA	-	NEEN

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
IR60 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
JH60 - JH0	NEEN	JA	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
GK60 - GK0	NEEN	NEEN	-	NEEN	NEEN	NEEN	-	NEEN
GM120 - GM0	NEEN	NEEN	JA	NEEN	JA	JA	NEEN	NEEN
IR120 - IRO	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	JA
JH120 - JH0	NEEN	JA	JA	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN	NEEN
GK120 - GK0	NEEN	NEEN	-	JA	NEEN	NEEN	-	NEEN

NEEN	Geen significant verschil in N_{\min}
NEEN	Significant verschil in N_{\min} maar geen significant verschil in $N_{\text{plant-mest}}$
JA	Significant verschil in N_{\min} en een significant verschil in $N_{\text{plant-mest}}$
-	Vanggewas niet meegenomen op deze locatie

De vergelijking in Tabel 19 en Tabel 20 toont aan dat voor 84,1% van alle situaties waar een significant verschil gevonden werd in het N_{\min} -gehalte van de bodem, ook een significant verschil gevonden werd in $N_{\text{plant-mest}}$. Dit staat ons toe te stellen dat het significant verschil in het N_{\min} -gehalte deels toegeschreven kon worden aan een onvolledige opname van de toegediende N door het vanggewas.

Toch resulteerde een onvolledige opname niet steeds in een significant hoger N_{\min} -gehalte in de bodem. Het is dus de combinatie van een gedeeltelijke immobilisatie door de stoppel en een gedeeltelijke opname door de vanggewassen die ervoor gezorgd heeft dat de N vrijgesteld uit de toegediende mest voor een lage bemestingsdosis (60 kg N ha^{-1}) niet leidde tot significante verschillen in het N_{\min} -gehalte in de bodem (Tabel 15). Het immobilisatie-effect wordt verder toegelicht in hoofdstuk 5.2.2.2.

3.7.2 EFFECT VAN DE BEMESTING OP DE C-OPBRENGST

Het effect van de bemesting op de bodemminerale N en de N-opname door het vanggewas staat centraal in deze studie. De evaluatie in hoofdstuk 3.7.1 wees uit dat er geen negatieve effecten aangetoond konden worden voor een bemesting met 60 kg N ha^{-1} . Er konden echter ook geen positieve effecten aangetoond worden: bemesting van het vanggewas veroorzaakt géén dusdanig grote extra opname van N_{\min} dat het risico op N-verliezen significant kleiner wordt. Een niet-bemest vanggewas ontwikkelt zich dan ook op voldoende wijze om de N op te nemen die vrijgesteld wordt na de oogst van het wintergraan. Is het dan wel aangewezen een landbouwer toe te staan het vanggewas te bemesten?

Om deze vraag te beantwoorden, dient rekening gehouden te worden met de andere redenen waarom een landbouwer voor een vanggewas kiest. Een bijkomend voordeel van vanggewassen is de bijdrage tot de opbouw van organische C in de bodem. Bemesting van het vanggewas zou kunnen leiden tot een hogere bovengrondse C-opbrengst en dus een hogere bijdrage tot de opbouw van bodemorganische stof. Ook de bemesting zelf brengt een extra hoeveelheid C aan. Andere voordelen van een bemest vanggewas die gepaard zouden gaan met een betere ontwikkeling en hogere biomassa zijn o.a. een efficiëntere bestrijding van erosie en onkruiden. De betere

ontwikkeling van de veggewassen onder bemesting was ook visueel waarneembaar op de proefvelden (zie foto's in Bijlage 4).

Om de eerder gestelde vraag te beantwoorden diende statistisch nagegaan te worden of de bemesting resulteerde in significant hogere C-opbrengsten. Aangezien veggewassen in de praktijk ingewerkt worden van november tot april, werden de C-opbrengsten van veggewassen met en zonder bemesting enkel vergeleken eind november en in het voorjaar.

Er kon geen variantieanalyse (ANOVA) worden uitgevoerd aangezien voor de verschillende groepen binnen de dataset geen homogeniteit van varianties kon worden bekomen, zowel voor als na opsplitsen van de dataset in subsets (per locatie, per zaaitijdstip en per bemonsteringstijdstip omwille van significante interactie tussen de verschillende factoren). Daarom werden de C-opbrengsten per subset paarsgewijs vergeleken a.d.h.v. een gepaarde t-test. De normaliteit van de verschillen tussen de herhalingen werd nagegaan: in 95,8% van de gevallen werd een normale verdeling van de 4 herhalingen aangetoond a.d.h.v. een Shapiro-Wilk-test. Hieruit werd besloten dat de achterliggende populaties normaal verdeeld waren, zodat het uitvoeren van gepaarde t-testen mogelijk was. De p-waarden van de gepaarde t-testen (Tabel 21, Tabel 22) zijn gebaseerd op individuele vergelijkingen en werden niet gecorrigeerd volgens Bonferroni, aangezien tientallen vergelijkingen gebaseerd op telkens slechts 4 herhalingen werden getest. Positieve individuele verschillen tussen overeenkomstige bemeste en niet-bemeste behandelingen werden eenzijdig getest en werden significant genoemd indien de p-waarde < 0,05.

TABEL 21: NIET-GE CorrIGEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN C-OPBRENGST TUSSEN BEMESTE (60 EN 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 1^E PROEFJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN EENZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN. P-WAARDEN < 0,05 VOOR SIGNIFICANTR POSITIEVE VERSCHILLEN ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID.

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
	behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK
GM60 - GM0	0.014	0.088	0.021	0.008	0.003	0.077	0.070	0.006
IR60 - IR0	0.076	0.053	0.142	0.010	0.002	0.003	0.195	0.008
JH60 - JH0	0.005	0.009	0.006	0.027	0.000	0.216	0.041	0.018
GK60 - GK0	-	0.024	0.051	0.018	-	0.016	0.040	0.015
GM120 - GM0	0.006	0.076	0.035	0.001	0.001	0.053	0.053	0.006
IR120 - IR0	0.004	0.048	0.031	0.000	0.014	0.074	0.061	0.003
JH120 - JH0	0.001	0.047	0.030	0.090	0.014	0.008	0.005	0.019
GK120 - GK0	-	0.076	0.018	0.001	-	0.004	0.054	0.002

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
	behandeling	BOT	LEM	RUK	STD	BOT	LEM	RUK
GM60 - GM0	0.032	0.303	-	0.002	0.006	0.407	-	0.040
IR60 - IR0	0.156	0.173	-	0.038	0.136	0.080	-	0.015
JH60 - JH0	0.005	0.047	-	0.002	0.067	0.489	-	0.418
GK60 - GK0	-	0.004	-	0.001	-	0.113	-	0.005
GM120 - GM0	0.010	0.053	-	0.018	0.038	0.400	-	0.005
IR120 - IR0	0.257	0.207	-	0.004	0.026	0.011	-	0.016
JH120 - JH0	0.018	0.010	-	0.005	0.039	0.100	-	0.077
GK120 - GK0	-	0.018	-	0.003	-	0.002	-	0.001

TABEL 22: NIET-GECORRIGEEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN C-OPBRENGST TUSSEN BEMESTE (60 EN 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 2^E PROEFJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN EENZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN. P-WAARDEN < 0,05 VOOR SIGNIFICANTR POSITIEVE VERSCHILLEN ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID.

NOVEMBER	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	0.003	0.330	0.320	0.020	0.061	0.416	0.152	0.015
IR60 - IR0	0.155	0.058	0.292	0.042	0.013	0.292	0.156	0.061
JH60 - JH0	0.216	0.018	0.421	0.039	0.046	0.273	0.453	0.319
GK60 - GK0	0.211	0.006	-	0.001	-	0.101	-	-
GM120 - GM0	0.027	0.070	0.231	0.008	0.201	0.012	0.110	0.105
IR120 - IR0	0.005	0.002	0.384	0.005	0.066	0.012	0.022	0.004
JH120 - JH0	0.010	0.004	0.191	0.033	0.032	0.056	0.295	0.064
GK120 - GK0	0.012	0.001	-	0.026	-	0.023	-	-

VOORJAAR	Zaai 1				Zaai 2			
behandeling	BOT	MER	OOS	RUK	BOT	MER	OOS	RUK
GM60 - GM0	0.317	0.446	-	-	0.149	0.344	-	-
IR60 - IR0	0.087	0.022	-	-	0.048	0.419	-	-
JH60 - JH0	0.307	0.294	-	-	0.419	0.303	-	-
GK60 - GK0	0.074	0.009	-	-	0.475	0.091	-	-
GM120 - GM0	0.283	0.001	-	-	0.246	0.400	-	-
IR120 - IR0	0.023	0.001	-	-	0.278	0.068	-	-
JH120 - JH0	0.499	0.071	-	-	0.127	0.245	-	-
GK120 - GK0	0.030	0.002	-	-	0.192	0.035	-	-

Het aantal individueel significante p-waarden (Tabel 21, Tabel 22) wordt zichtbaar beïnvloed door de diverse oogsttijdstippen, zaaitijdstippen, bemestingsniveaus en locaties/proefjaren. Zo werden in Oostende, waar de vanggewassen zich niet goed ontwikkelden, nagenoeg geen significante verschillen in C-opbrengst waargenomen. De verschillen tussen de locaties/proefjaren kunnen beschouwd worden als een steekproef van de praktijksituatie in Vlaanderen. Indien de individuele resultaten worden samengevat over de 8 locaties/2 proefjaren heen (Tabel 23), blijkt dat er steeds een hoger percentage individueel significante verschillen werd teruggevonden voor de 1^e zaai dan voor de 2^e zaai, hoewel dit minder uitgesproken werd indien voor de 2^e zaai enkel de locaties in rekening gebracht werden waar de vanggewassen voor 1 september werden ingezaaid. Een hogere bemesting resulteerde eveneens in een hoger percentage individueel significante verschillen. In november werden relatief meer individueel significante verschillen aangetroffen dan in het voorjaar, zij het dat er hierbij rekening gehouden moet worden dat niet op alle locaties geoogst werd in het voorjaar. Tijdens de winter verdween C uit de vanggewassen, maar dit gebeurt wellicht voornamelijk naar de bodem (door bladval of onder vorm van opgeloste organische koolstof).

TABEL 23: PERCENTAGE INDIVIDUEEL SIGNIFICANTE VERSCHILLEN IN C-OPBRENGST VOOR ALLE LOCATIES EN VOOR BEIDE PROEFJAREN SAMEN. VOOR DE 1^E ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES OOK DE PERCENTAGES WEERGEGEVEN INDIEN OOSTENDE NIET IN REKENING WERD GEBRACHT. VOOR DE 2^E ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES DE PERCENTAGES WEERGEGEVEN INDIEN ENKEL DE LOCATIES IN REKENING GEBRACHT WERDEN WAAR DE VANGGEWASSEN VOOR 1 SEPTEMBER WERDEN INGEZAAID.

	Zaai 1		Zaai 2	
	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
November	57 (63)	77 (85)	50 (58)	57 (68)
Voorjaar	53 (53)	68 (68)	26 (27)	47 (60)

Om overkoepelende statistisch onderbouwde besluiten te bekomen over het effect van de bemesting op de C-opbrengst van de verschillende vanggewassen, kunnen ook gepaarde t-testen uitgevoerd worden over de 8 locaties heen. Daarbij dient dan wel een Bonferroni-correctie toegepast worden. Voor $n \geq 30$ werd normaliteit van de dataset verondersteld op basis van de centrale limietstelling. In 95% van de resterende gevallen ($n < 30$) kon normaliteit worden aangetoond a.d.h.v. een Kolmogorov-Smirnov-test of Shapiro-Wilk-test, op basis waarvan werd aangenomen dat de achterliggende populaties normaal verdeeld waren en gepaarde t-testen konden worden uitgevoerd. De beoordeling van de resulterende p-waarden (Tabel 24) dient te gebeuren met inachtneming van de Bonferroni-correctie. Om de test voldoende sterk te houden diende de Bonferroni-correctie zorgvuldig te worden toegepast: analoog aan de evaluatie voor N_{\min} (zie 3.7.1.1) werden de 60N en 120N bemestingstrappen apart beoordeeld. Dit is bovendien een logische keuze op basis van de evaluatie voor N_{\min} , aangezien bleek dat een bemesting van 120 kg N ha^{-1} leidde tot verhoogde N_{\min} -gehalten onder vanggewassen. Voor de C-opbrengst is dus enkel de beoordeling voor de 60N-bemestingstrap van belang. Beide zaaitijdstippen werden net als voor N_{\min} samen beoordeeld. Wel werden, in tegenstelling tot voor N_{\min} , najaar en voorjaar steeds samen beoordeeld aangezien vanggewassen in de praktijk ingewerkt worden op beide tijdstippen. Dit leidde tot een totaal van 16 vergelijkingen per bemestingsniveau. 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 $< 0,007$.

TABEL 24: NIET-GE CorrIGEERDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN C-OPBRENGST TUSSEN BEMESTE (60 OF 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN TWEEZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN OVER ALLE LOCATIES EN BEIDE PROEFJAREN HEEN. P-WAARDEN $< 0,007$ ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID. VOOR DE 1^E ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES OOK DE P-WAARDEN WEERGEGEVEN INDIEN OOSTENDE NIET IN REKENING WERD GEBRACHT. VOOR DE 2^E ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES DE P-WAARDEN WEERGEGEVEN INDIEN ENKEL DE LOCATIES IN REKENING GEBRACHT WERDEN WAAR DE VANGGEWASSEN VOOR 1 SEPTEMBER WERDEN INGEZAAID.

NOVEMBER	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
GM	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,001 (0,002)	0,000 (0,000)
IR	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)
JH	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)
GK	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)

VOORJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
GM	0,102 (0,102)	0,001 (0,001)	0,113 (0,163)	0,029 (0,045)
IR	0,004 (0,004)	0,000 (0,000)	0,003 (0,011)	0,000 (0,000)

JH	0,000 (0,000)	0,002 (0,002)	0,543 (0,555)	0,013 (0,037)
GK	0,001 (0,001)	0,000 (0,000)	0,007 (0,005)	0,000 (0,000)

Deze statistische interpretatie toont aan dat er voor alle vanggewassen een positief effect is van de bemesting op de C-opbrengst eind november. In het voorjaar is dit effect nog steeds aanwezig voor de meeste vanggewassen, maar niet voor gele mosterd bij een 60N-bemesting. Voor de later gezaaide niet-winterharde vanggewassen is het positief effect van de bemesting op de C-opbrengst 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.

In Tabel 25 worden tot slot de overeenkomstige verschillen in de bovengrondse C-opbrengst (in kg C ha⁻¹) weergegeven. Deze varieerden tussen 26 en 450 kg C ha⁻¹ indien de slecht ontwikkelde (Oostende) en de na 1 september ingezaaide vanggewassen werden meegenomen, of tussen 24 en 514 kg C ha⁻¹ indien deze niet werden meegenomen.

TABEL 25: GEMIDDELDE VERSCHILLEN (KG C HA⁻¹) IN DE BOVENGRONDSE C-OPBRENGST TUSSEN BEMESTE (60 OF 120 KG N HA⁻¹) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR. DE GEMIDDELDE VERSCHILLEN WERDEN BEREKEND OVER ALLE LOCATIES EN BEIDE PROEFJAREN HEEN. SIGNIFICANTE VERSCHILLEN ZIJN MET EEN * AANGEDUID. VOOR DE 1^E ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES OOK DE GEMIDDELDE VERSCHILLEN WEERGEGEVEN INDIEN OOSTENDE NIET IN REKENING WERD GEBRACHT. VOOR DE 2^E ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES DE GEMIDDELDE VERSCHILLEN WEERGEGEVEN INDIEN ENKEL DE LOCATIES IN REKENING GEBRACHT WERDEN WAAR DE VANGGEWASSEN VOOR 1 SEPTEMBER WERDEN INGEZAAID.

NOVEMBER	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
GM	316* (361*)	413* (472*)	149* (203*)	261* (403*)
IR	184* (210*)	362* (413*)	115* (152*)	195* (263*)
JH	342* (391*)	450* (514*)	145* (215*)	245* (339*)
GK	204* (204*)	323* (323*)	105* (105*)	190* (190*)

VOORJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
GM	157 (157)	406* (406*)	123 (135)	106 (114)
IR	185* (185*)	353* (353*)	99* (98)	131* (157*)
JH	304*(304*)	399* (399*)	26 (24)	168 (139)
GK	261* (261*)	417* (417*)	140 (174*)	260* (339*)

3.7.3 GECOMBINEERDE EVALUATIE VAN DE EFFECTEN VAN DE BEMESTING

De resultaten van het effect van de bemesting op het N_{min}-gehalte in de bodem enerzijds (Tabel 14) en op de bovengrondse C-opbrengst anderzijds (Tabel 24) maken het mogelijk beide effecten samen te evalueren. Een dergelijke evaluatie geeft antwoord op de vraag of het bemesten van een vanggewas voordelen oplevert naar C-opbouw zonder het risico op N-verliezen te vergroten (Tabel 26). Voor een bemesting met 60 kg N ha⁻¹ kan deze vraag positief beantwoord worden voor alle vanggewassen in het najaar, maar in het voorjaar enkel voor de winterharde vanggewassen. Er werd echter eerder aangehaald dat een hoger N_{min}-gehalte in het voorjaar niet noodzakelijk tot hogere N-verliezen moet leiden en dat het aandeel C_{plant} dat verloren gaat tijdens de winter waarschijnlijk ook grotendeels in de bodem terecht komt.

TABEL 26: GECOMBINEERDE EVALUATIE VAN DE BEMESTING VAN VANGGEWASSEN: IS ER EEN SIGNIFICANTE TOENAME IN DE C-OPBRENGST EN GAAT DIT SAMEN MET HET UITBLIJVEN VAN EEN SIGNIFICANTE TOENAME IN HET N_{MIN}-GEHALTE IN DE BODEM? DE

EVALUATIE HOUDT REKENING MET ALLE VANGGEWASSEN VAN DE PROEFOPZET DIE GEZAAID ZIJN VOOR 1 SEPTEMBER. VOOR HET NAJAAR WERD REKENING GEHOUDEN MET DE C-OPBRENGST IN NOVEMBER EN MET HET N_{\min} -GEHALTE IN OKTOBER ÉN NOVEMBER.

NAJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
GM	JA	NEEN	JA	NEEN
IR	JA	NEEN	JA	NEEN
JH	JA	NEEN	JA	NEEN
GK	JA	NEEN	JA	NEEN

VOORJAAR	Zaai 1		Zaai 2	
vanggewas	0-60N	0-120N	0-60N	0-120N
GM	NEEN	JA	NEEN	NEEN
IR	JA	JA	NEEN	JA
JH	NEEN	JA	NEEN	NEEN
GK	JA	JA	JA	JA

JA	Significant verschil in C_{plant} en geen significant verschil in N_{\min}
NEEN	Significant verschil in C_{plant} en een significant verschil in N_{\min}
NEEN	Geen significant verschil in C_{plant} en geen significant verschil in N_{\min}

3.8 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 raaigras en het grasklavermengsel vertoonden steeds de kleinste N-opbrengsten. In het voorjaar was de N-opbrengst het grootst voor Italiaans raaigras en Japanse haver, gevolgd door grasklaver en gele mosterd.

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 Engels raaigras + klaver is toe te schrijven 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.

Statistische analyse van de resultaten per locatie en per behandeling toonde aan dat significante verschillen in het N_{\min} -gehalte tussen bemeste en niet-bemeste vanggewassen in 84% van de gevallen gepaard ging met een significant onvolledige opname door het vanggewas van de N vrijgesteld uit de toegediende mest. Omgekeerd resulteerde een onvolledige opname niet steeds in een significant hoger N_{\min} -gehalte in de bodem. Ook op de braakbehandeling werden in het najaar, voordat uitspoeling plaatsgreep, niet altijd significante verschillen teruggevonden. Het beperkt aantal significante verschillen is wellicht te wijten aan de immobilisatie door de graanstoppel van de N vrijgesteld uit de toegediende mest.

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 statistische conclusies te trekken, was het noodzakelijk op oordeelkundige wijze een Bonferroni-correctie toe te passen. Daartoe werd de dataset verruimd door de resultaten van de verschillende locaties over beide proefjaren samen te beoordelen. Hierbij werd ervan uitgegaan dat de verschillende locaties over beide proefjaren een steekproef vormen voor de praktijksituatie in Vlaanderen. Daar waar vanggewassen werden ingezaaid na 1 september, werd de 2^e zaai niet mee opgenomen in de dataset.

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 bovenstaande analyses kan 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-bemeste vanggewassen ontwikkelden zich op voldoende wijze om de N op te nemen die vrijgesteld wordt 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 HET EU-ROTATE_N MODEL

Het EU-rotate_N model is het resultaat van een onderzoeksproject (2003-2006), gefinancierd door de Europese Commissie (5e kaderprogramma). Dit project werd uitgevoerd door een consortium van Warwick HRI (VK), HDRA (VK), BOLAP (Duitsland), IVIA en CSIC (Spanje), Bioforsk (Noorwegen), DJF (Denemarken) en ISOR (Italië). De doelstelling van het project was een beslissingsondersteunend model te ontwikkelen om de effecten van verschillende rotaties en bemestingsregimes op de N-cyclus te vergelijken en te bepalen welke maatregelen leiden tot een combinatie van maximale gewasopbrengsten en minimale N-verliezen. De sterkte van het model is dat het alle belangrijke processen van de N-cyclus - mineralisatie, gewasopname, immobilisatie, uitspoeling en denitrificatie - kan simuleren voor opeenvolgende jaren.

De verschillende processen van de N-cyclus zijn in het model ondergebracht in een reeks van modules, waarvan de meeste gestuurd worden door de weersomstandigheden. Alle berekeningen worden uitgevoerd op dagelijkse basis. Initiële N_{\min} -gehaltenes en bodemvochtgehaltenes worden door de gebruiker ingegeven. Ruimtelijk rekent het model in balkjes van 5 x 5 cm: verticaal is de bodem ingedeeld in 40 lagen van 5 cm en horizontaal is er een indeling in stroken van 5 cm breed (parallel aan de gewasrijen).

De mineralisatiemodule is gebaseerd op het Daisy-model (Hansen et al., 1991) en maakt gebruik van drie pools, telkens bestaande uit een traag en een snel mineraliseerbare fractie, zowel voor de bodemorganische stof, voor de verschillende vormen van toegevoegde organische stromen als voor de microbiële biomassa. Naast de mineralisatie worden ook de denitrificatie, vervluchtiging, uitspoeling en opname gesimuleerd, zodat via een balansmethode dagelijks het N_{\min} -gehalte berekend kan worden voor elke bodemlaag.

De module rond waterbeweging in de bodem berekent de infiltratie en daaraan gekoppeld de nitraatuitspoeling. De bodemfysische parameters bepalen het watervasthoudend vermogen van elke bodemlaag en afhankelijk van de textuur infiltreert dagelijks een deel van het water naar de volgende bodemlaag. Input in de bovenste bodemlaag is de netto som van neerslag, evapotranspiratie en runoff. Het model staat ook capillaire opstijging toe.

De opnamemodule houdt rekening met zowel de potentiële N-opname als met de actuele N-vraag van de plant. De plant kan m.a.w. niet meer opnemen dan het wortelstelsel kan aanleveren. De potentiële N-opname hangt af van de hoeveelheid N_{\min} die aanwezig is in een bodemcel, maar ook van de wortellengte in die bodemcel en van de plantspecifieke opname-efficiëntie. De wortelgroei en wortellengte worden gesimuleerd op dagelijkse basis en houdt rekening met verschillende groeifases. De actuele N-vraag van de plant wordt bepaald relatief t.o.v. de biomassa en is afhankelijk van de temperatuur en de N-concentratie in de plant. De actuele N-vraag is begrensd

door een maximum. Een deel van de opgenomen N wordt ook weer vrijgesteld door afsterven van een deel van de biomassa. Voor N-fixerende planten wordt de opname enkel bepaald door de actuele N-vraag van de plant.

Een meer gedetailleerde modelbeschrijving is weergegeven in Bijlage 22.

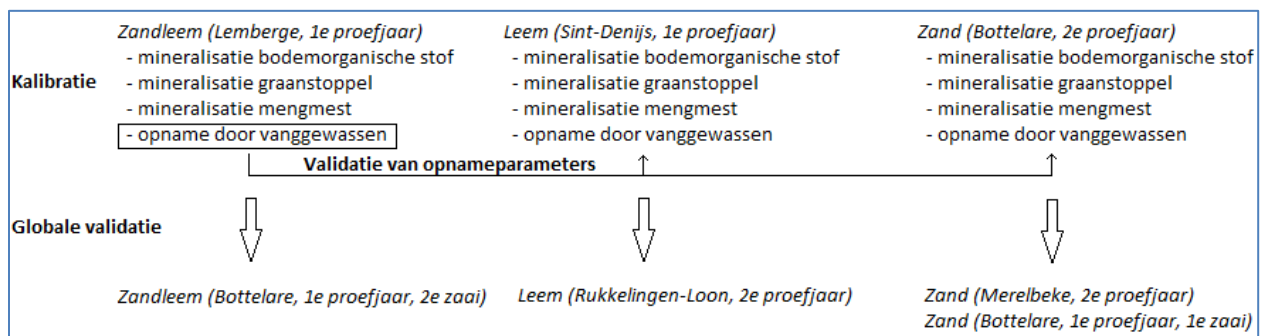
4.3 INITIËLE SIMULATIES

Initiële simulaties met het EU-rotate_N model toonden de noodzaak aan van een kalibratie en brachten eveneens enkele moeilijkheden aan het licht: het simuleren van 2 opeenvolgende kalenderjaren met het gebruik van sommige vanggewassen in de rotatie bleek onmogelijk. Na communicatie met de ontwerpers van het model werd vastgesteld dat de modelsimulatie afgebroken wordt op het moment dat niet-winterharde vanggewassen afsterven bij lage temperaturen. In samenspraak werd besloten het probleem te omzeilen door een oogst van de vanggewassen te simuleren waarbij het maaisel volledig op het veld achterblijft en eventueel ingewerkt wordt.

4.4 KALIBRATIE EN VALIDATIE EU-ROTATE_N MODEL

Na grondige analyse van de zeer uitgebreide set modelparameters, werd besloten het model stapsgewijs te kalibreren met het softwarepakket PEST. Hierbij kunnen enkel parameters geschat worden die geen invloed uitoefenen op de modeloutput in alle voorafgaande stappen. Aangezien er met PEST maar zoveel parameters geschat kunnen worden als dat er waarnemingen zijn, werd voor elke stap een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de meest kritische parameters te identificeren. Er werden steeds minimale en maximale parameterwaarden gedefinieerd om te voorkomen dat de kalibratie leidde tot parameterwaarden die sterk afwijken van de oorspronkelijke modelparameters.

Een overzicht van de kalibratie en validatie is weergegeven in Figuur 32. De kalibratie werd uitgevoerd op 3 verschillende bodemtexturen: zandleem (Lemberge, 1^e proefjaar), leem (Sint-Denijs, 1^e proefjaar) en zand (Bottelare, 2^e proefjaar). Op klei werd geen kalibratie uitgevoerd omwille van de beperkte ontwikkeling van de vanggewassen op het perceel in Oostende.



FIGUUR 32: SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE KALIBRATIE EN VALIDATIE VAN DE MODELPARAMETERS.

De kalibratie werd uitgevoerd in 4 stappen. In een eerste stap werden de mineralisatieparameters voor bodemorganische stof gekalibreerd aan de hand van de resultaten van de incubatieproeven. In een tweede stap werden de mineralisatieparameters voor de graanstoppel gekalibreerd aan de hand van de veldmetingen voor de niet-bemeste braakbehandeling (BR0). In een derde stap werden de mineralisatieparameters voor de mengmest gekalibreerd aan de hand van de veldmetingen voor de bemeste braakbehandelingen (BR60 en BR120). In de vierde stap werden de opnameparameters voor de verschillende vanggewassen gekalibreerd aan de hand van de veldresultaten voor alle behandelingen met vanggewassen. Deze kalibratie werd enkel uitgevoerd op de

intermediaire textuursoort zandleem; we namen aan dat de textuur geen rechtstreeks effect heeft op de opnameparameters. Daarom werden de voor zandleem gekalibreerde opnameparameters ook toegepast op leem en zand, wat overeenkomt met een validatie van deze parameters voor die texturen.

Tot slot werd een globale 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.

4.4.1 KALIBRATIE OP ZANDLEEM

4.4.1.1 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF (ZANDLEEM)

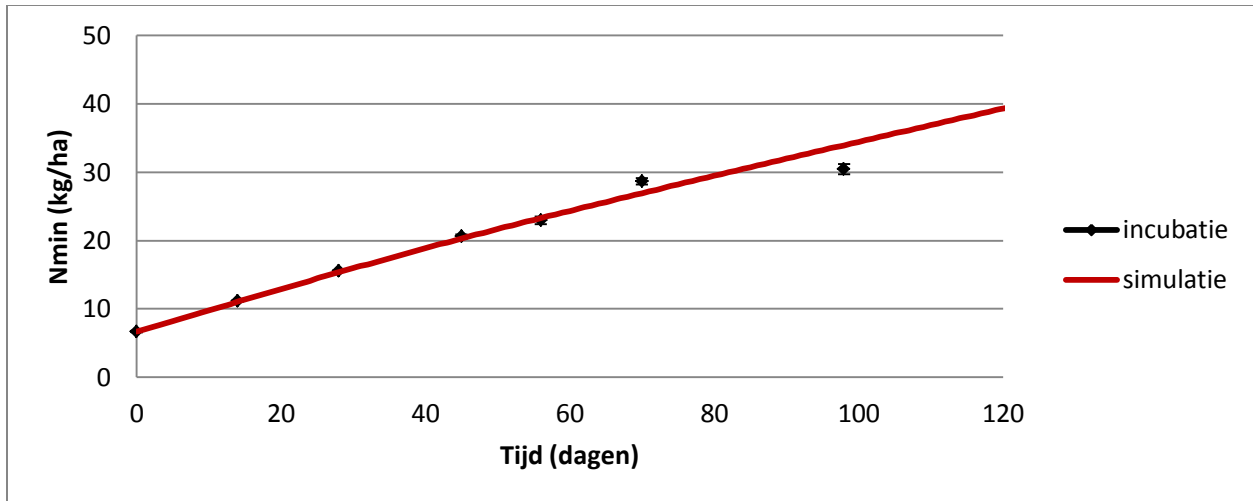
In een eerste stap dienden de parameters voor de mineralisatie van de bodemorganische stof gekalibreerd te worden. Hiertoe werden de resultaten van de incubatieproef op BR0 (ter bepaling van de N-mineralisatie) gebruikt. Deze incubatieproef werd uitgevoerd op de niet-bemeste braakpercelen bemonsterd begin januari, waarbij verondersteld wordt dat het effect van de in augustus ingewerkte oogstresten (wintergerst) te verwaarlozen is. De gemeten C:N-verhouding van de bodemorganische stof was 12,1.

De simulatie van de eerste stap werd uitgevoerd zoals voor de incubatieproef: een laag van 12 cm bij constante temperatuur (15°C) en bij constante regenval die de vochtverliezen door evaporatie net compenseren. De N-depositie werd op 0 gezet. De bodemfysische parameters (Tabel 27) werden geschat met behulp van pedotransferfuncties (BBS Topsoil, BBS Subsoil, Brakensiek, Mayr-Jarvis) op basis van de textuur, de bodemdichtheid en het organisch stofgehalte.

TABEL 27: VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE ($\text{CM}^3 \text{ CM}^{-3}$) BIJ VERWELKINGSPUNT (θ_{WP}), BIJ VELDCAPACITEIT (θ_{FC}) EN BIJ VERZADIGING (θ_{SAT}) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN LEMBERGE.

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
θ_{WP}	0,08	0,08	0,10
θ_{FC}	0,22	0,21	0,22
θ_{SAT}	0,46	0,46	0,46

De kalibratie leverde uitstekende resultaten. De gemiddelde absolute afwijking tussen de gesimuleerde en de gemeten N_{min} -gehalten was $1,00 \text{ kg N ha}^{-1}$ en de gemiddelde afwijking was $0,32 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Figuur 33). Aangezien bij de kalibratie gewichten werden toegekend omgekeerd evenredig met de variatie op de metingen, verschilt de grootte van de afwijking van punt tot punt.

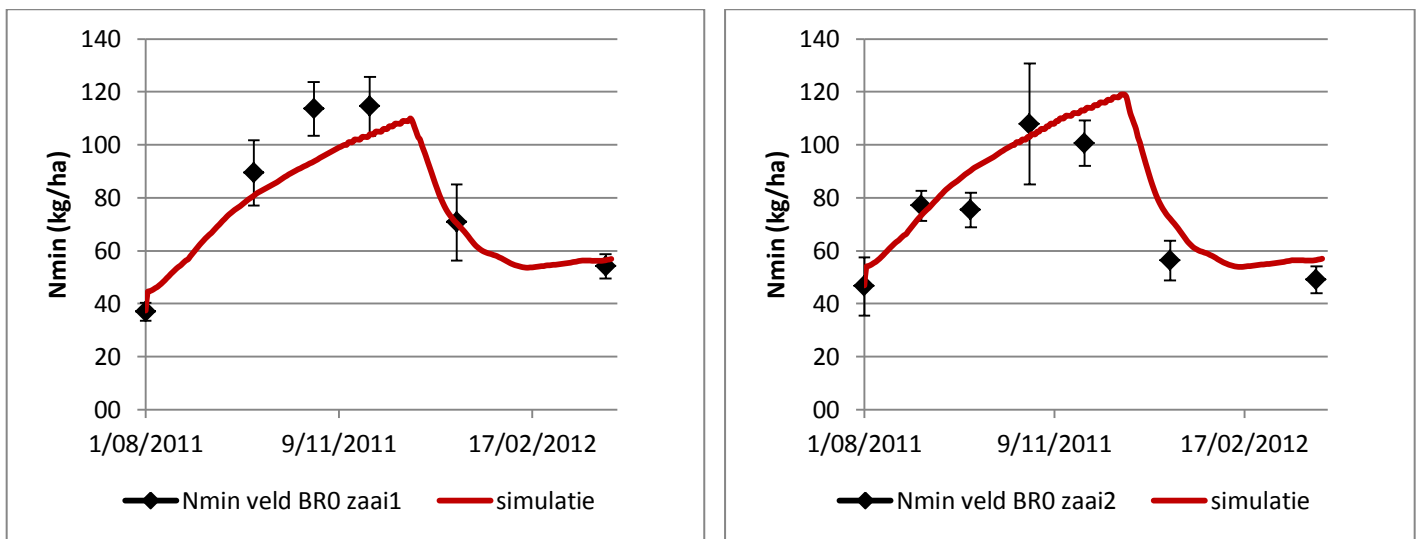


FIGUUR 33: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALE N-CONCENTRATIES IN DE BODEM ALS GEVOLG VAN N-MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF VOOR DE GEÏNCUBEERDE BRO-BEHANDELING. VOOR DE GEMETEN WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN EN (KLEINE) STANDAARD AFWIJINGEN WEERGEGEVEN.

4.4.1.2 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT DE GRAANSTOPPEL (ZANDLEEM)

In een tweede stap werden de parameters voor de mineralisatie van de oogstresten van het wintergraan gekalibreerd. Hiertoe werd de resultaten van de metingen in het veld voor BRO gebruikt. De tweede stap van de kalibratie werd uitgevoerd met de weersgegevens van Lemberge. Het bodemprofiel werd gekarakteriseerd voor 3 lagen van 30 cm, elk met een eigen set geschatte of gekende parameters (bodempysische parameters, organische stofgehalte, textuur). Een reeks andere parameters (drogestofopbrengst, C- en N-gehalte van de oogstresten van de wintergerst) werden bepaald op basis van de metingen uit eigen aanvullend onderzoek naar de oogstresten (zij het dat dit onderzoek in 2012 uitgevoerd werd).

Opnieuw leverde de kalibratie zeer goede resultaten (Figuur 34). De gemiddelde absolute afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten waarden waren kleiner dan 10 kg N ha^{-1} ; de gemiddelde afwijking was negatief voor de 1^e zaai en positief voor de 2^e zaai (overzicht residuen in Bijlage 21).

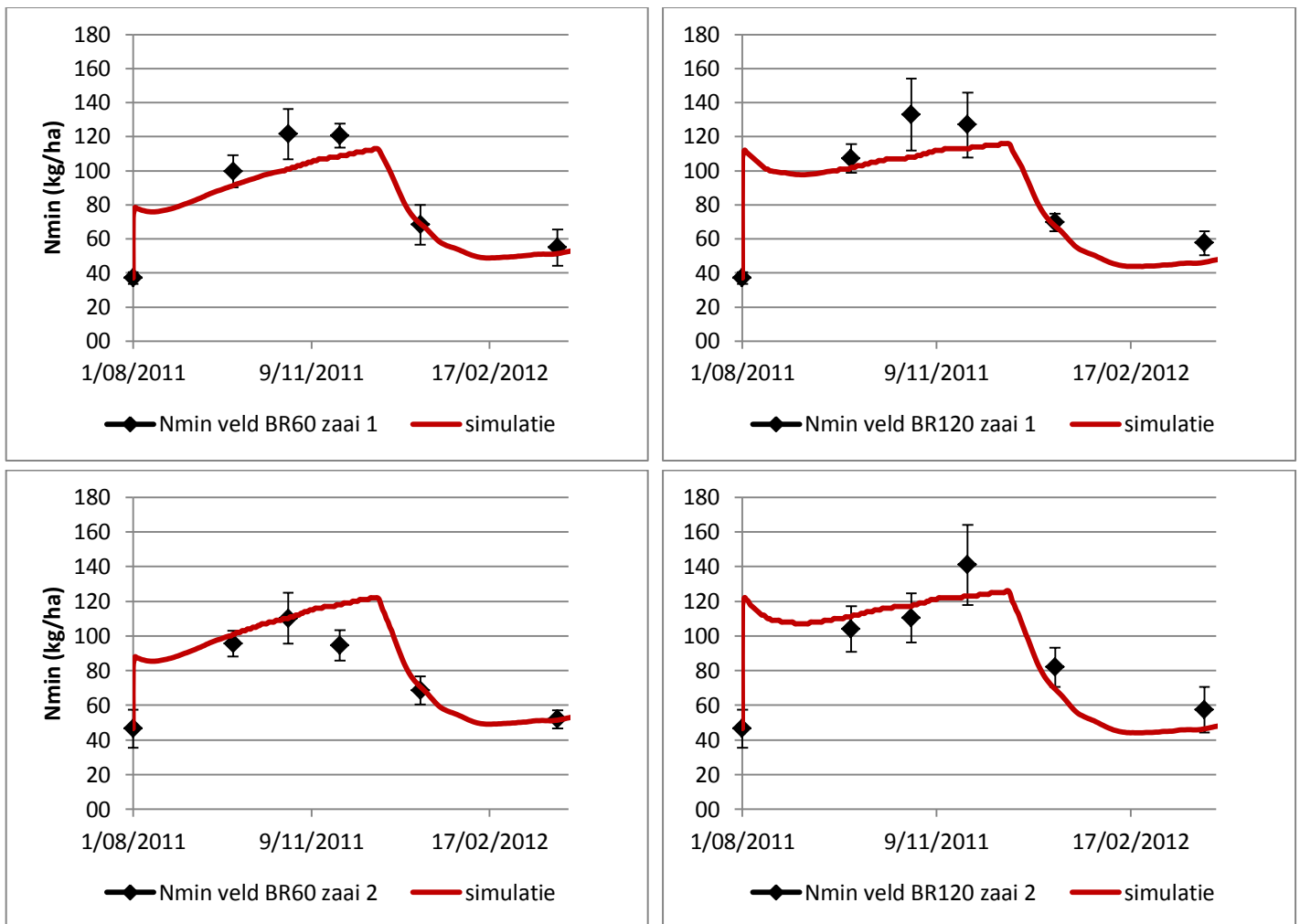


FIGUUR 34: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALE N-CONCENTRATIES IN DE BODEM ALS GEVOLG VAN N-MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF EN OOGSTRESTEN VOOR HET 1^E PROEFJAAR IN LEMBERGE (BRO-BEHANDELING 1^E ZAAI LINKS EN 2^E ZAAI RECHTS).

4.4.1.3 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT DE MENGMEEST (ZANDLEEM)

In een derde stap werden de parameters voor de mineralisatie van de mengmest gekalibreerd op basis van de N_{\min} -metingen voor de bemeste braakbehandelingen (BR60, BR120) in het veld. Het drogestofgehalte, de totale hoeveelheid N en C in de mest en het NH_4^+ -gehalte werden bepaald op basis van de resultaten van de mestanalyses.

De kalibratie verliep succesvol (Figuur 35). De gemiddelde absolute afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten waarden waren kleiner dan 12 kg N ha^{-1} . Voor BR60 was de gemiddelde afwijking negatief voor de 1^e zaai en positief voor de 2^e zaai. Voor BR120 werd het N_{\min} -gehalte in de bodem voor beide zaaitijdstippen onderschat door de simulatie: er werd telkens een negatieve gemiddelde afwijking bekomen (Bijlage 21).



FIGUUR 35: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALE N-CONCENTRATIES IN DE BODEM ALS GEVOLG VAN N-MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF, OOGSTRESTEN EN VARKENSMENGMEEST VOOR HET 1^E PROEFJAAR IN LEMBERGE (BR60 LINKS, BR120 RECHTS; 1^E ZAAI BOVEN EN 2^E ZAAI ONDER).

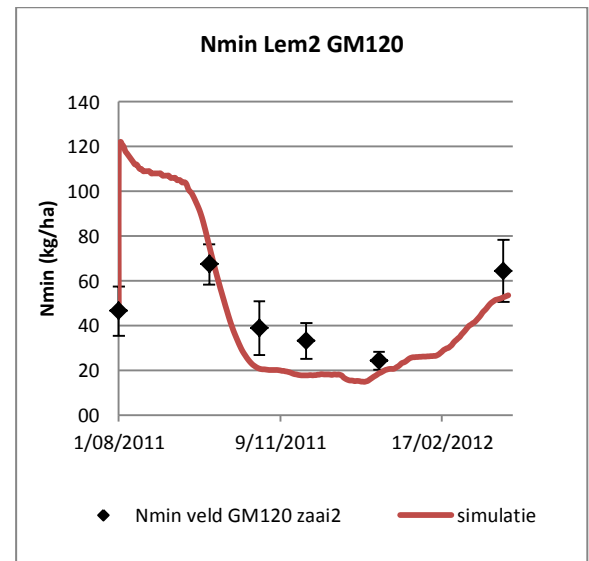
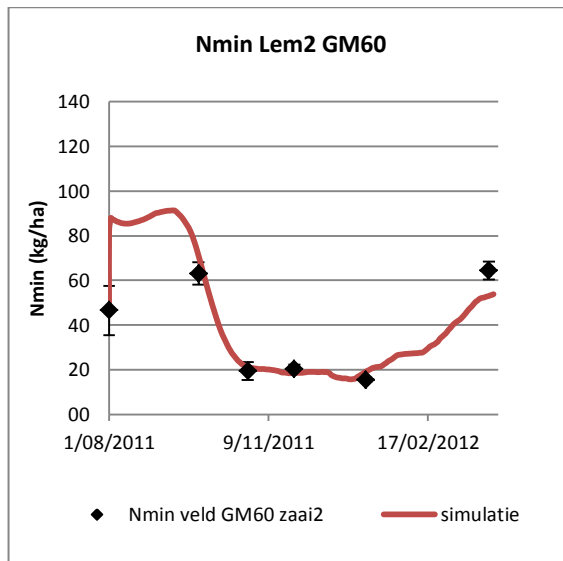
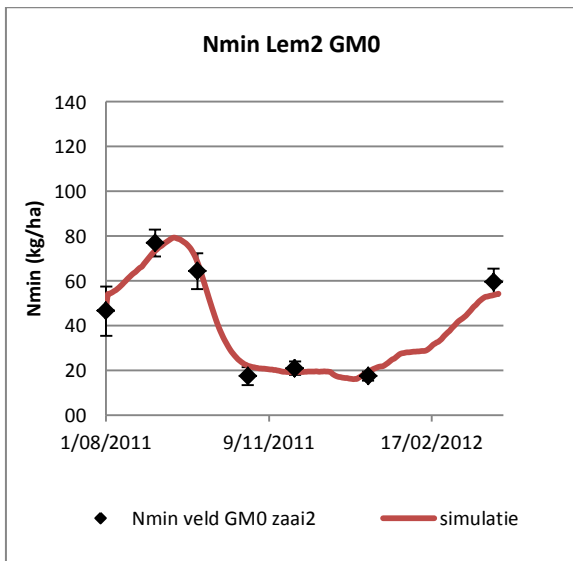
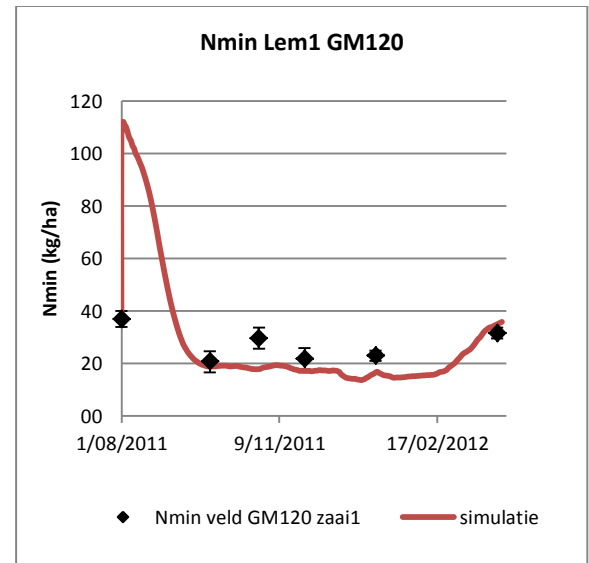
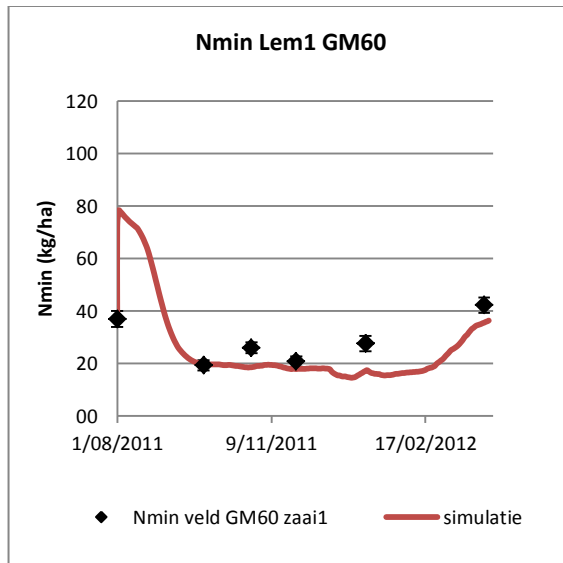
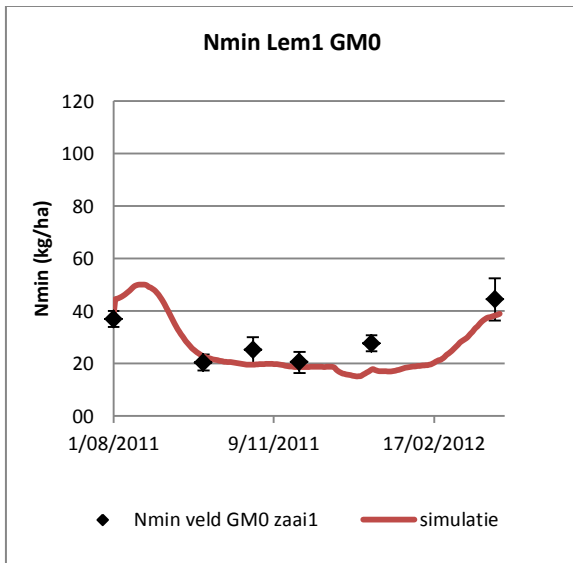
4.4.1.4 KALIBRATIE OPNAMEPARAMETERS VAN DE VANGGEWASSEN (ZANDLEEM)

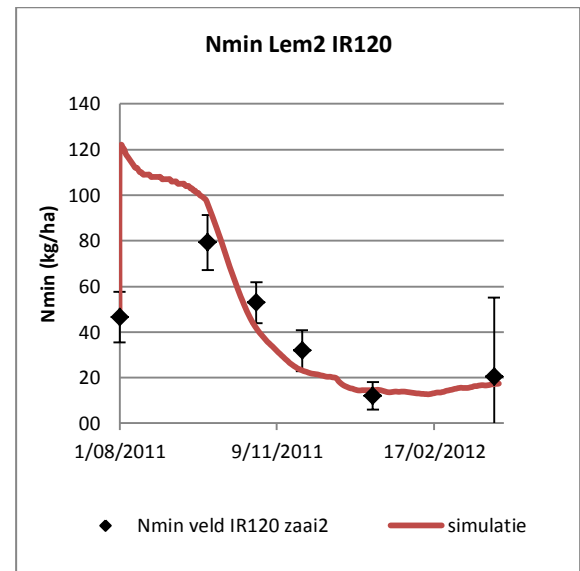
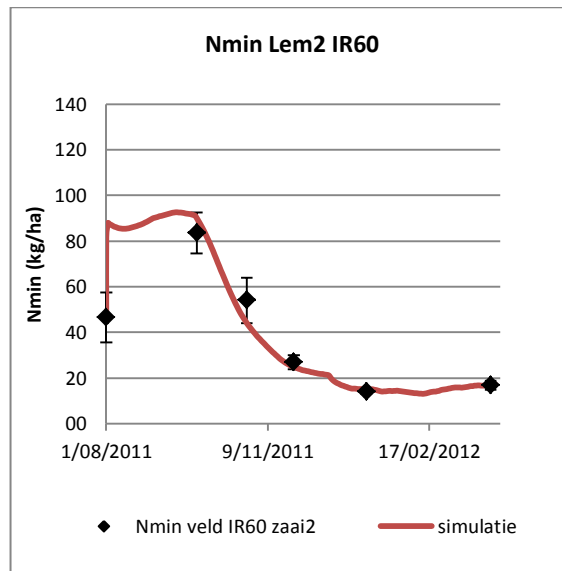
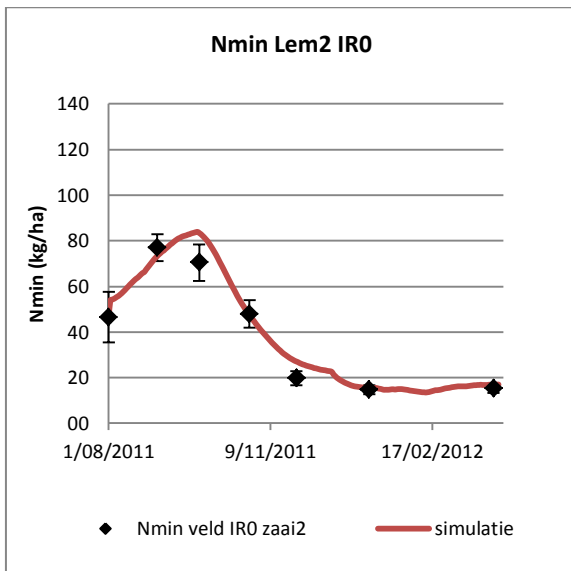
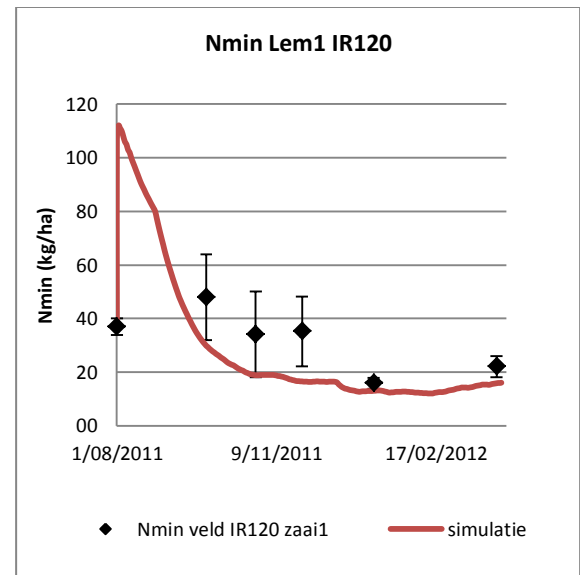
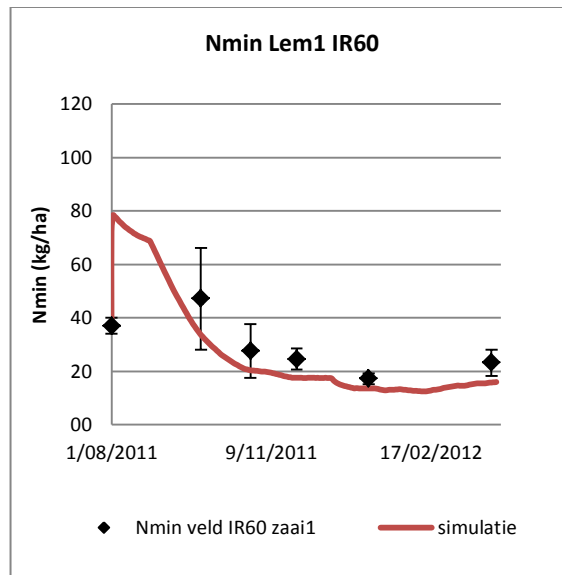
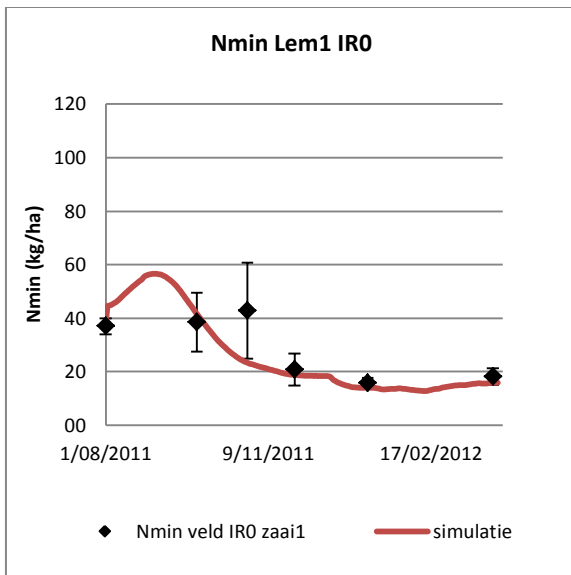
In een vierde en laatste stap dienden de groei- en opnameparameters van de vanggewassen gekalibreerd te worden. Dit kon niet meer door enkel het N_{\min} -gehalte van de bodem in rekening te brengen. Ook de bovengrondse N-opbrengst (N_{plant}) en de drogestofopbrengst werden meegenomen in de kalibratie. De drogestofopbrengst bepaalt immers tevens de C:N-verhouding, welke van belang is bij de mineralisatie van afgestorven plantendelen. Bovendien kan de drogestofopbrengst een invloed hebben op de transpiratie en dus

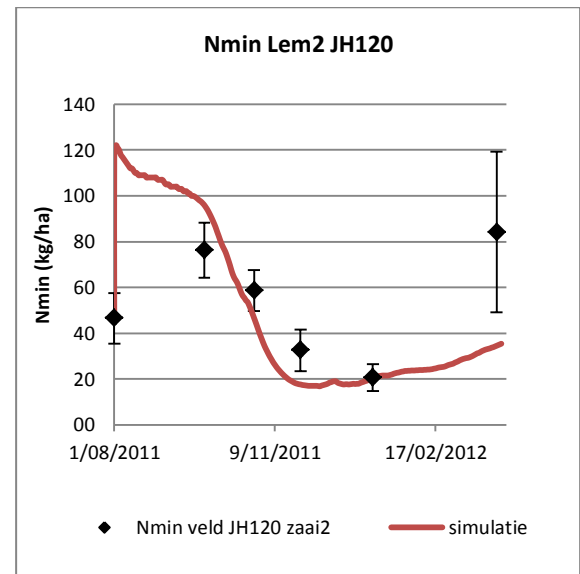
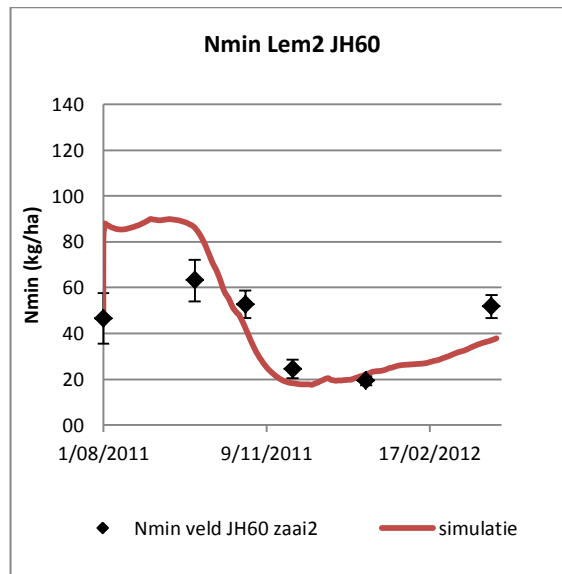
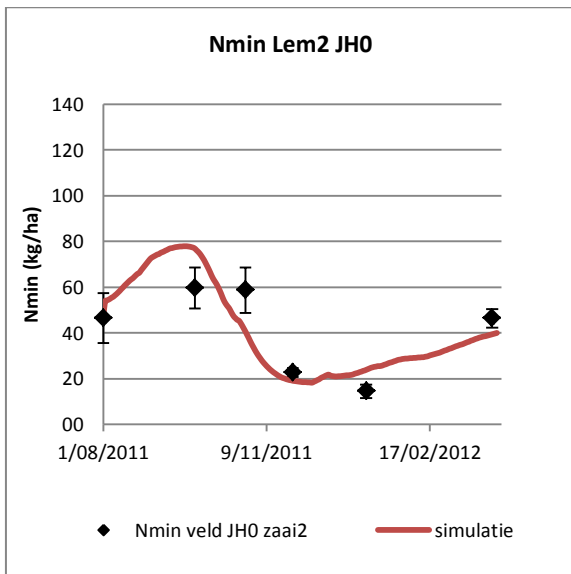
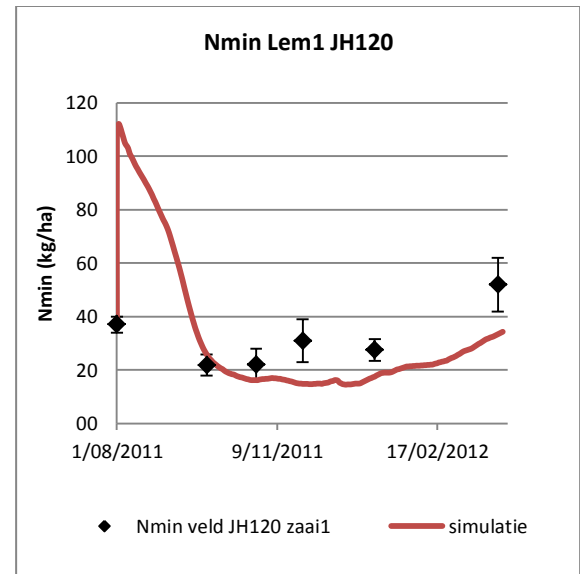
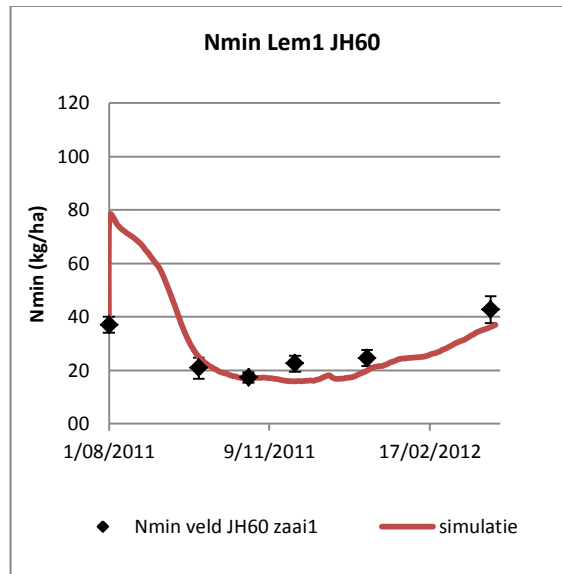
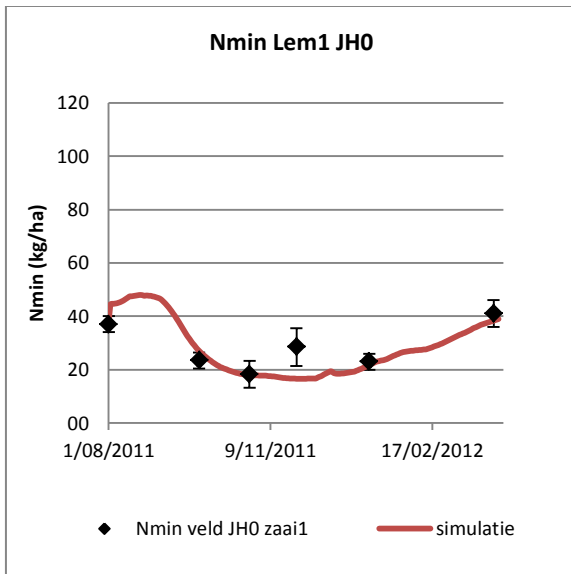
ook op de uitspoeling en de denitrificatie. Een beperkt aantal parameters omtrent de bijdrage van de ondergrondse biomassa werd ingeschat op basis van eigen aanvullend onderzoek uitgevoerd in beide proefjaren.

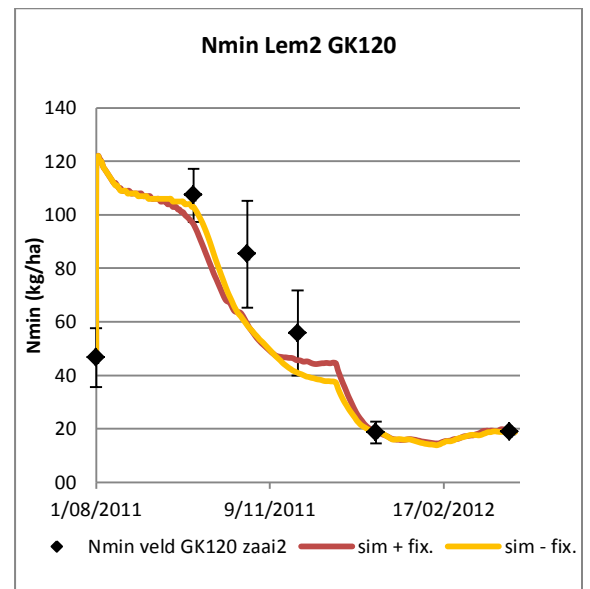
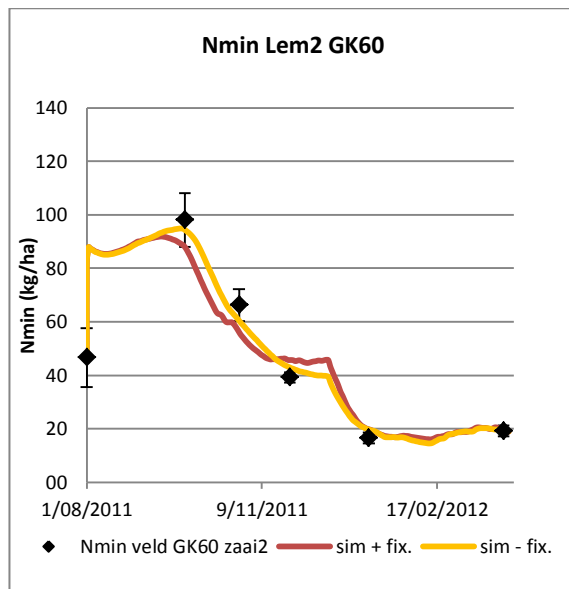
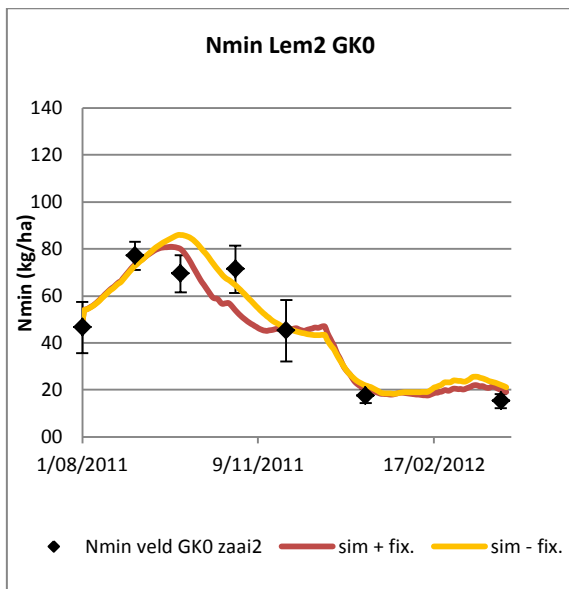
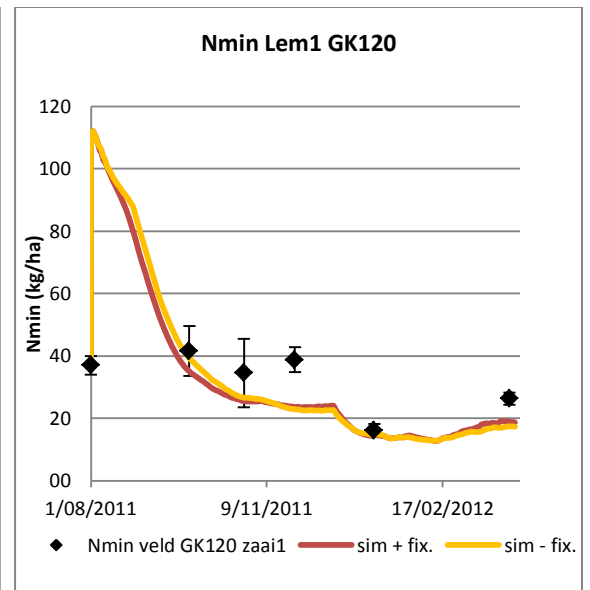
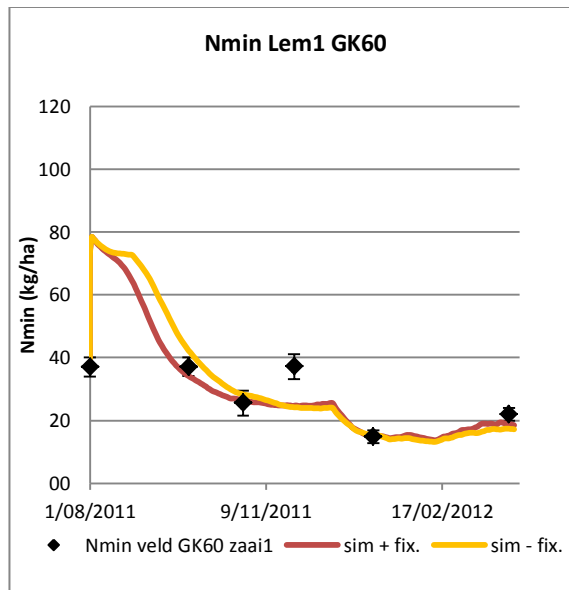
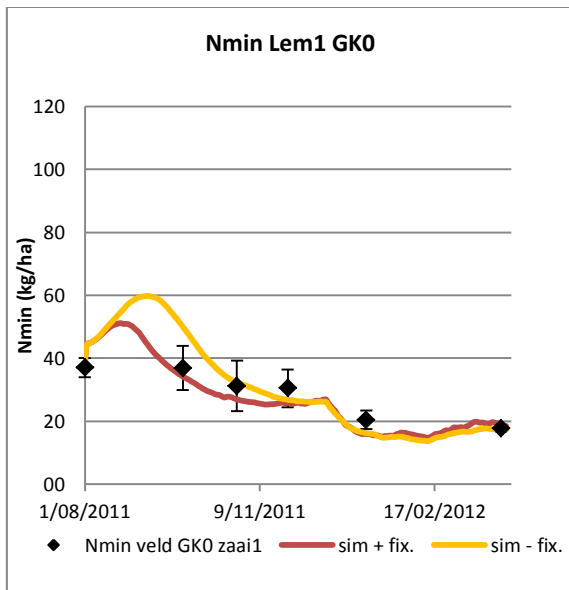
In de kalibratie van de opnameparameters werd voor het grasklavermengsel in eerste instantie aangenomen dat er sprake is van N-fixatie door de klavercomponent. Hierdoor werd de N-opbrengst onafhankelijk van de bemestingsdosis, hetgeen niet overeenkwam met de waarnemingen in het veld. Er is echter geen mogelijkheid voorzien in het model om de N-fixatie af te zwakken, het gaat immers om een Boleaanse parameter (ja of neen). Op basis van het aandeel klaver in het grasklavermengsel zou per behandeling beslist kunnen worden omtrent deze parameter (ja of neen). Er werd daarom besloten de opnameparameters nogmaals te kalibreren zonder daarbij enige N-fixatie in rekening te brengen.

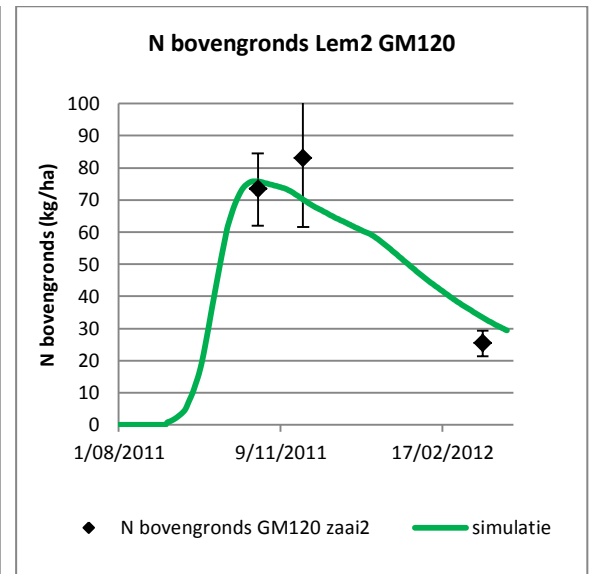
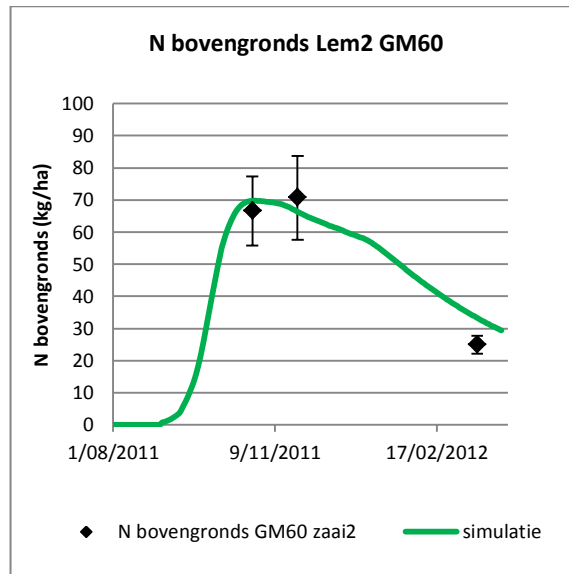
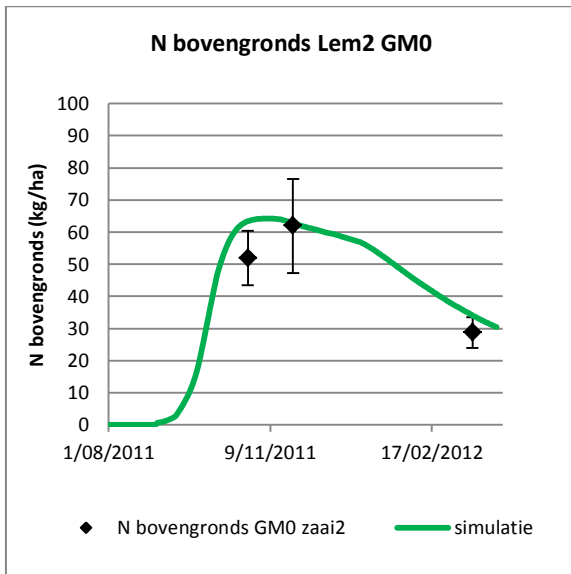
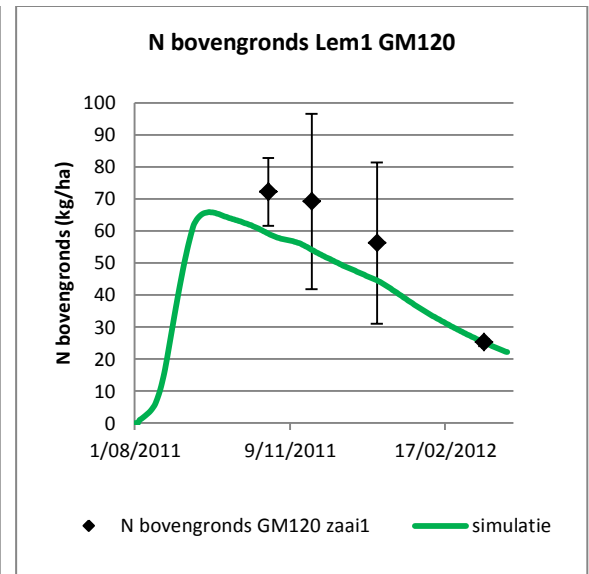
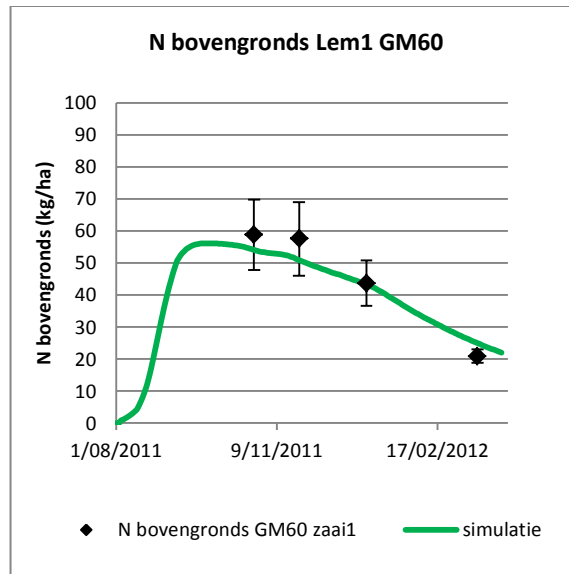
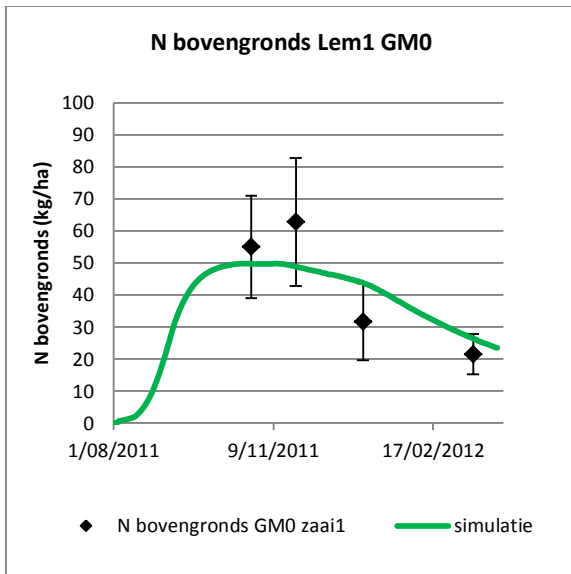
De gemiddelde absolute afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten waarden (N_{\min} en N_{plant}) waren kleiner dan 15 kg N ha^{-1} op één geval na (JH120, 2^e zaai); hiervoor bleek de standaard afwijking van de gemeten N_{\min} in het voorjaar echter erg groot te zijn. Algemeen werd met name op de bemeste behandelingen zowel N_{\min} als N_{plant} meestal lichtjes onderschat door de simulatie (Bijlage 21). Dit bewees dat de kalibratie in een evenwichtige oplossing resulteerde. Ondanks deze beperkte onderschatting waren dit opnieuw uitstekende resultaten (Figuur 36).

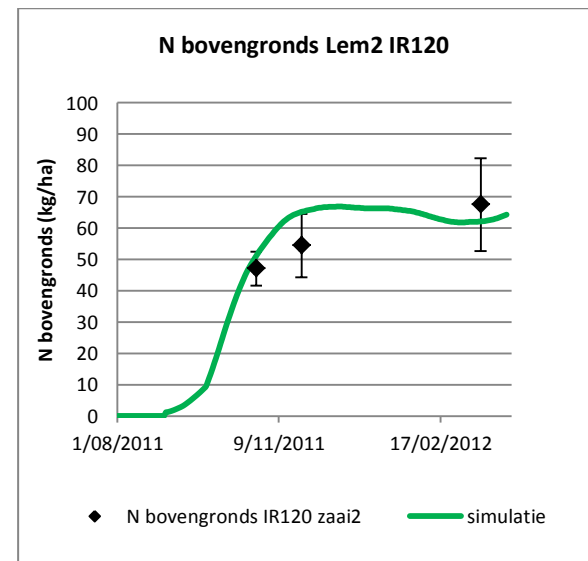
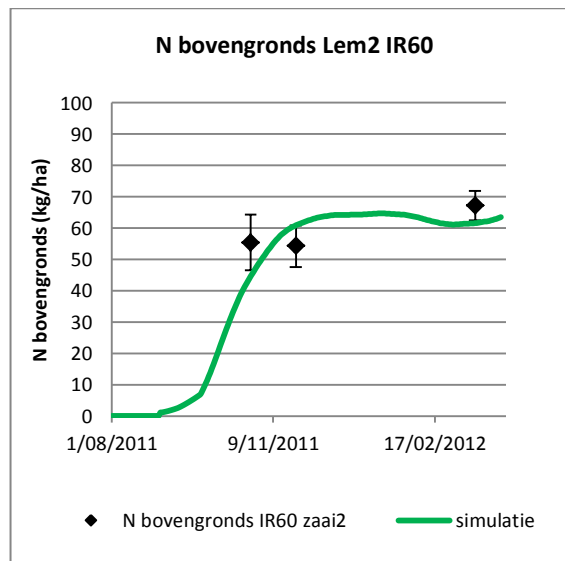
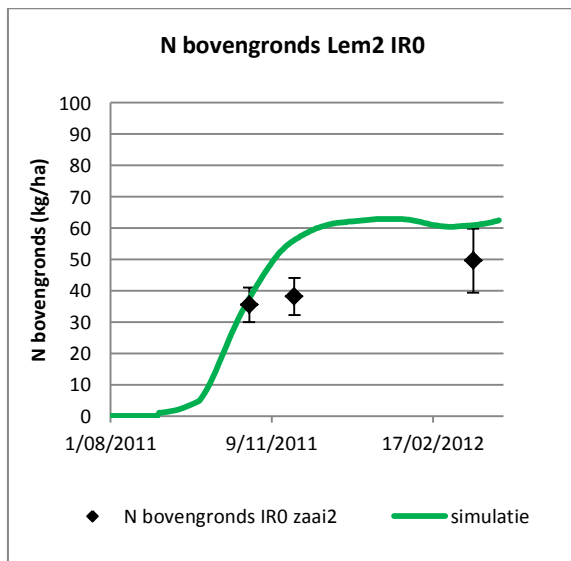
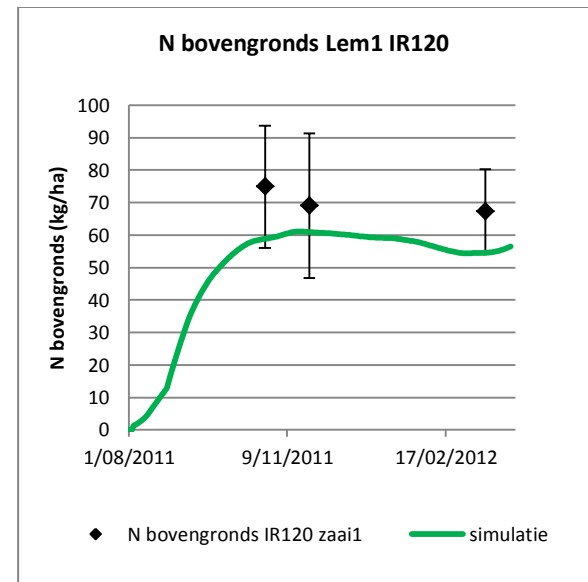
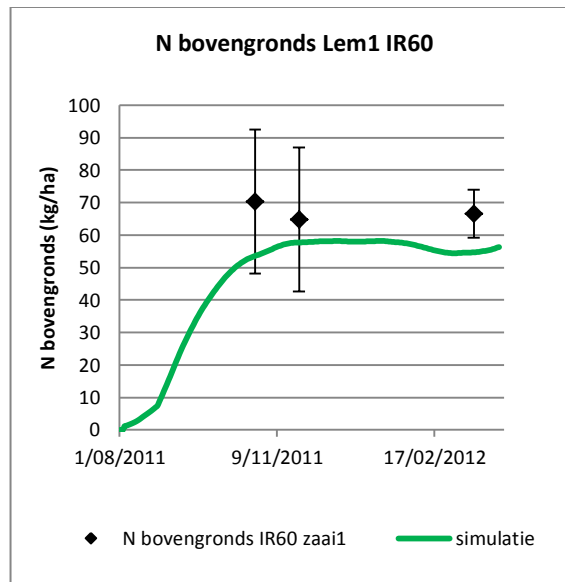
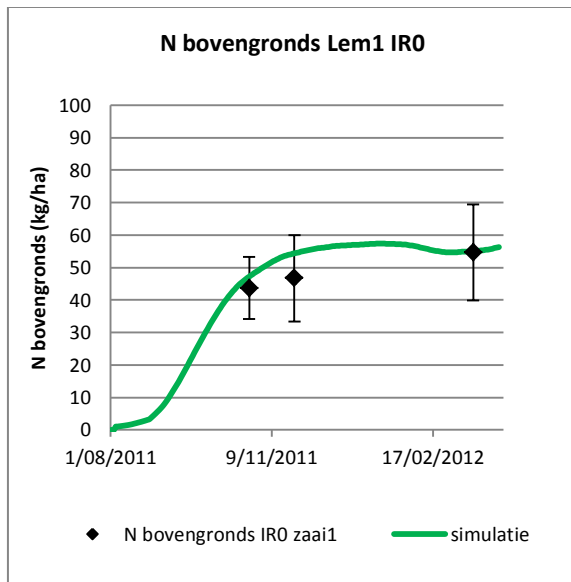


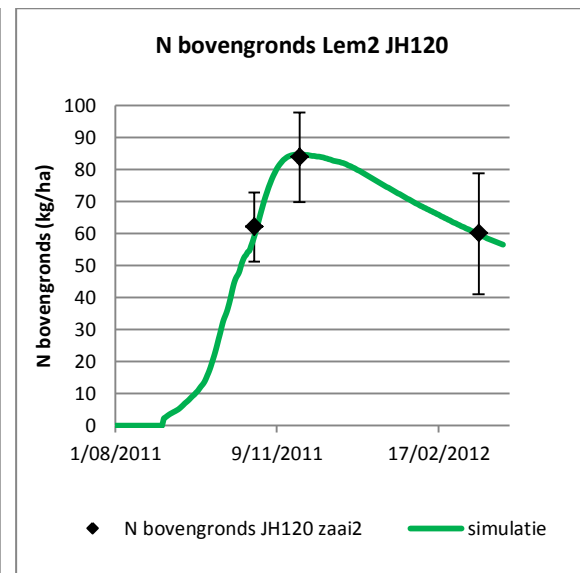
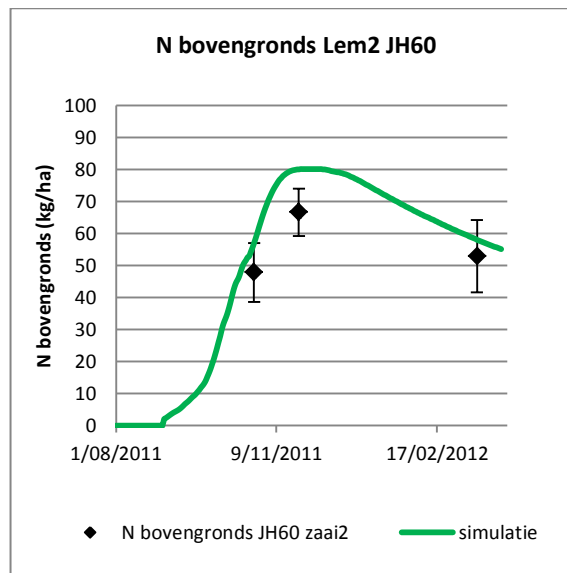
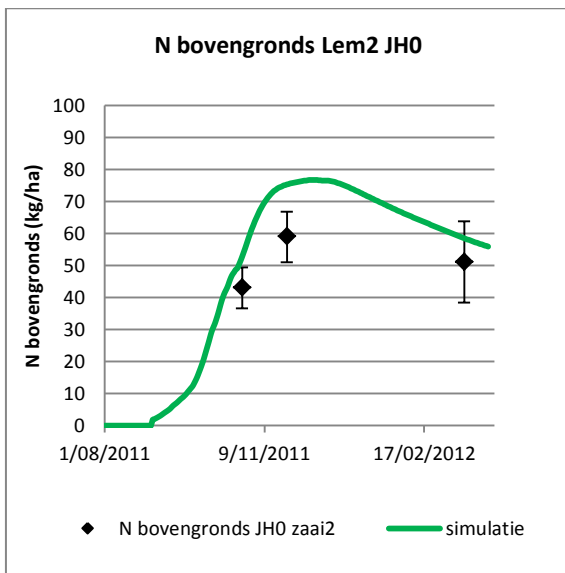
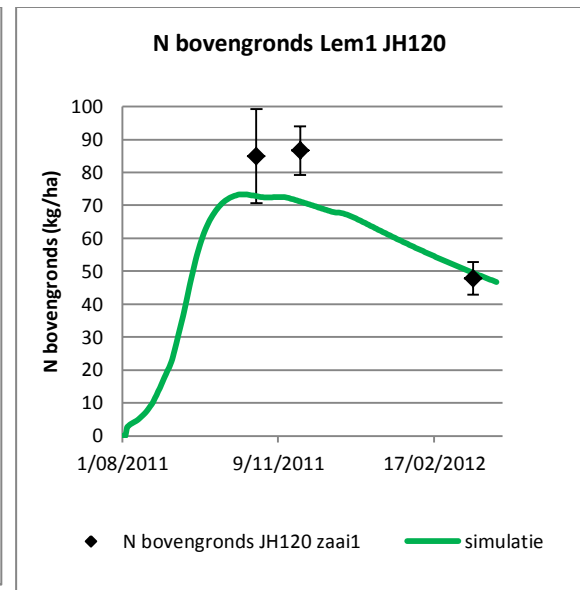
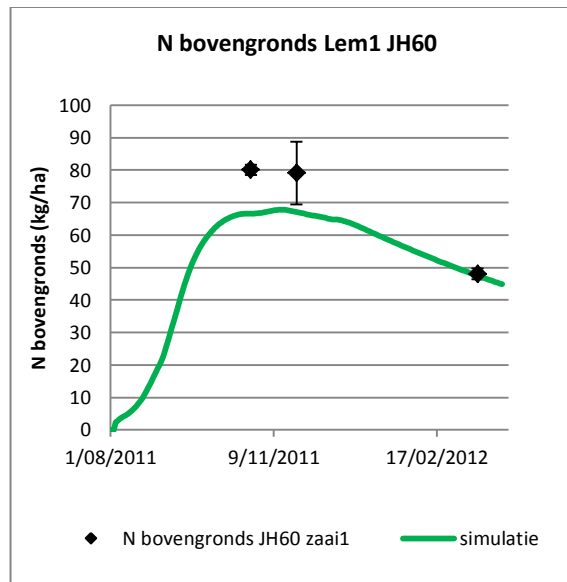
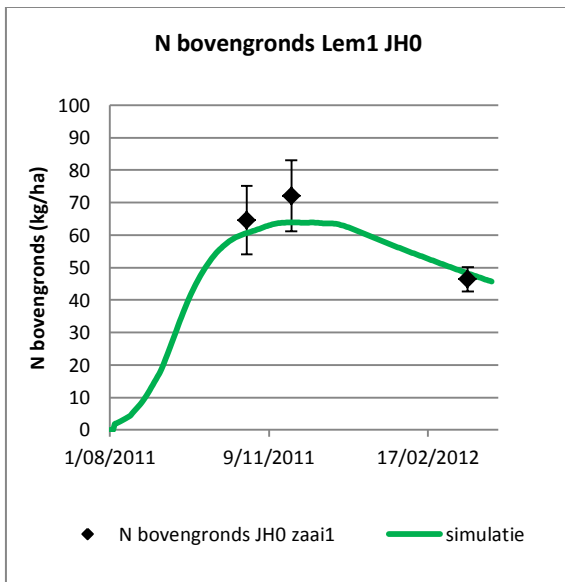


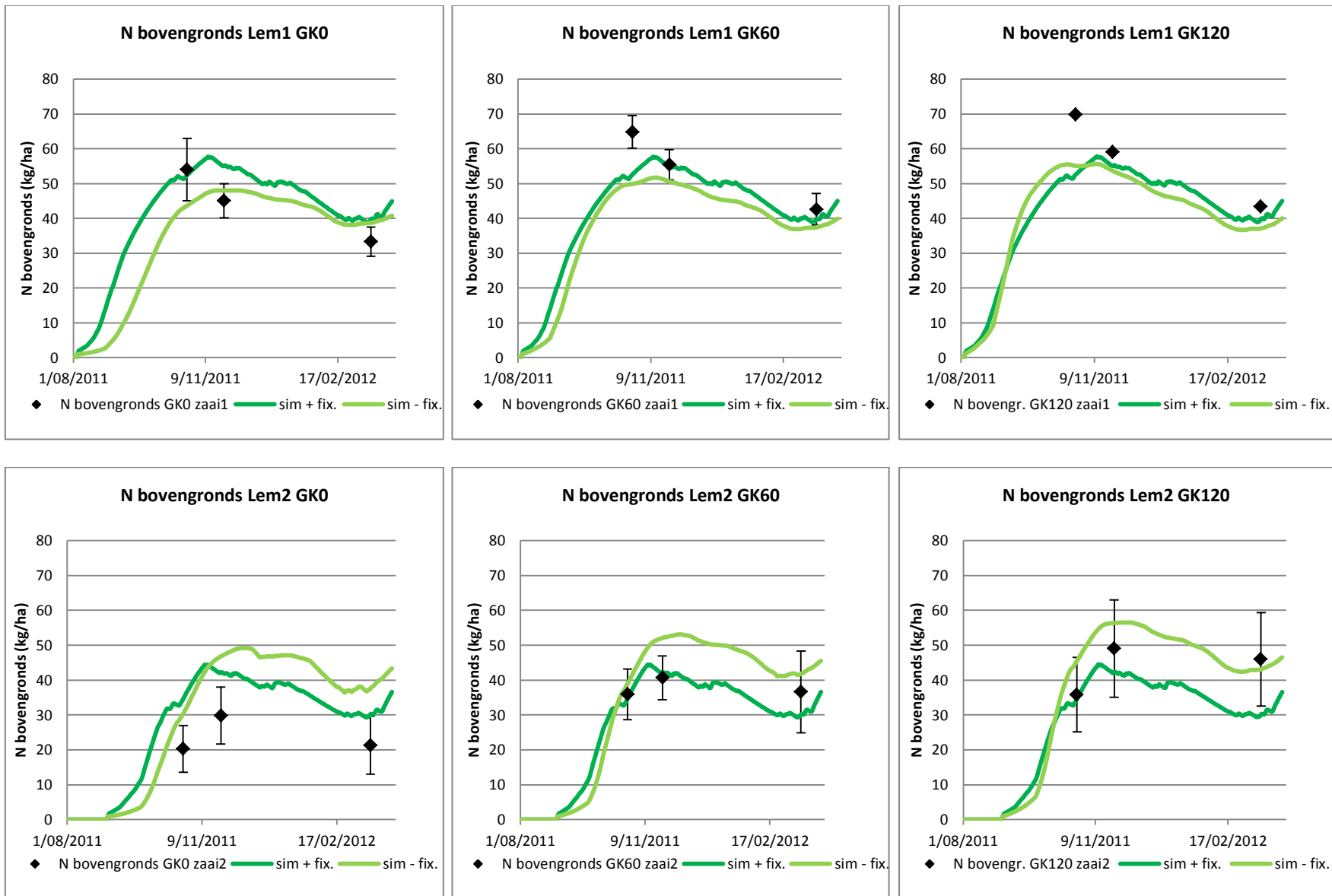










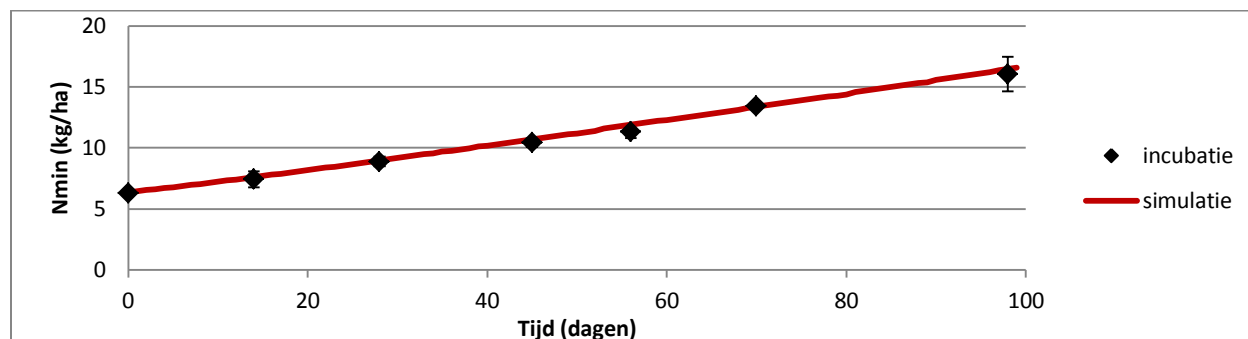


FIGUUR 36: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALE N-CONCENTRATIES IN DE BODEM EN BOVENGRONDSE N-OPBRENGSTEN ONDER VANGGEWASSEN VOOR HET 1^E PROEFJAAR IN LEMBERGE.

4.4.2 KALIBRATIE EN VALIDATIE OP LEEM

4.4.2.1 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF (LEEM)

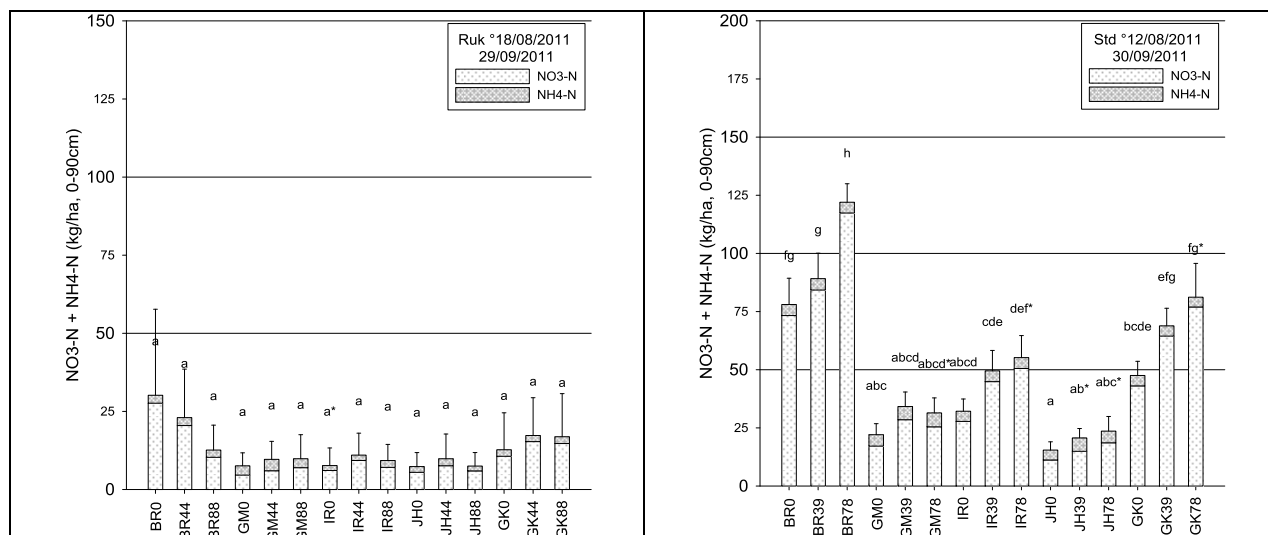
Op leem werd initieel voor de dataset van Rukkelingen-Loon (1^e proefjaar) gekozen, aangezien met de bodem van dat proefperceel eveneens een incubatieproef werd uitgevoerd. Op basis van de resultaten van deze proef werden de modelparameters voor mineralisatie uit bodemorganische stof succesvol gekalibreerd. De gemiddelde absolute afwijking was 0,25 kg N ha⁻¹ en de gemiddelde afwijking was 0,24 kg N ha⁻¹ (Figuur 37).



FIGUUR 37: SIMULATIE EN GEMETEN N-MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF OP LEEM IN EEN INCUBATIEPROEF BIJ 15°C.

4.4.2.2 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT DE GRAANSTOPPEL EN UIT DE MENGREST (LEEM)

De veldresultaten van Rukkelingen-Loon vertoonden geen verschillen in het N_{min}-gehalte tussen de 3 bemestingstrappen op de braakbehandeling (Figuur 38). Dit werd reeds toegeschreven aan immobilisatie door de stoppel, maar het was niet mogelijk een dergelijke grote immobilisatie op een realistische wijze te simuleren met het model. De hoeveelheid oogstresten (graanstoppel) en de C:N-verhouding wijken bij een dergelijke simulatie immers te ver af van richtcijfers uit de literatuur en eigen onderzoeksresultaten (de oogstresten van de wintergranen werden bemonsterd in het 2^e proefjaar). Misschien ging in de realiteit een deel van de vrijgestelde N verloren door vervluchtiging. Dit proces wordt ook gesimuleerd door het model, maar aangezien daar geen metingen van voorhanden zijn, is een inschatting erg willekeurig. Omwille van deze onzekerheden leek het ons correcter de mineralisatie van de graanstoppel en de mengrest te kalibreren op basis van de veldresultaten van Sint-Denijs, waarvoor de bemestingstrappen op de braak wel duidelijk waarneembaar waren (Figuur 38).



FIGUUR 38: MINERAAL STIKSTOFGEHALTE EIND SEPTEMBER 2011 IN RUKKELINGEN-LOON (LINKS) EN SINT-DENIJS (RECHTS).

Bovendien kwamen de textuur, de pH en het organisch koolstofgehalte van beide bodems relatief goed overeen (Tabel 28), waardoor het ons geoorloofd leek de voor Rukkelingen-Loon gekalibreerde parameters voor mineralisatie uit bodemorganische stof toe te passen op de veldsituatie voor Sint-Denijs.

TABEL 28: FYSISCH EN CHEMISCH BODEMEIGENSCHAPPEN VOOR RUKKELINGEN-LOON EN SINT-DENIJS.

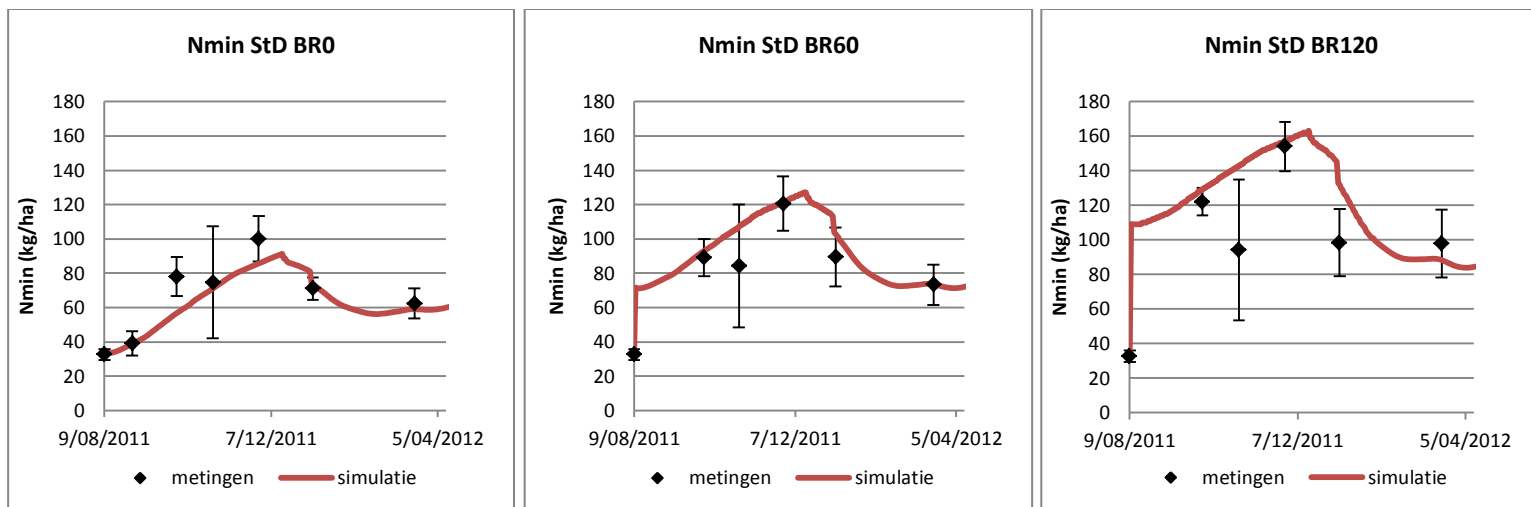
	Rukkelingen-Loon	Sint-Denijs
Zand (%)	7,5	10,5
Leem (%)	74,5	76,5
Klei (%)	17,9	13,0
OC (%)	1,18	1,07
pH-KCl	6,8	6,8
P (mg/100g)	28	19
K (mg/100g)	19	22
Mg (mg/100g)	14	17
Ca (mg/100g)	258	257
Na (mg/100g)	3,8	<2,0

Bij het uitvoeren van de kalibratie werd zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de beschikbare informatie over de samenstelling van de mengmest en de oogstresten (stoppel, stroresten en wortels van wintertarwe, gegevens van 2^e proefjaar). Op basis van de textuur, de bulkdensiteit en het organische stofgehalte werd met behulp van pedotransferfuncties het volumetrisch vochtgehalte bij het verwelkingspunt, bij veldcapaciteit en bij verzadiging bepaald (Tabel 29).

TABEL 29: VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE (CM³ CM⁻³) BIJ VERWELKINGSPUNT (θ_{WP}), BIJ VELDCAPACITEIT (θ_{FC}) EN BIJ VERZADIGING (θ_{SAT}) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN SINT-DENIJS.

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
θ_{WP}	0,11	0,14	0,14
θ_{FC}	0,28	0,30	0,30
θ_{SAT}	0,50	0,50	0,50

De kalibratie verliep erg succesvol (Figuur 39). De gesimuleerde en gemeten N_{min} -gehalten kwamen, rekening houdend met de standaard afwijkingen op de metingen, goed overeen. De gemiddelde absolute afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten waarden waren kleiner dan 10 kg N ha⁻¹ voor BR0 en BR60 en 20 kg N ha⁻¹ voor BR120. Het N_{min} -gehalte werd door de simulatie onderschat voor BR0 en overschat voor BR60 en BR120 (Bijlage 21).



FIGUUR 39: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALISATIE IN HET VELD (SINT-DENIJS) UIT DE BODEMORGANISCHE STOF EN DE GRAANSTOPPEL (BR0) EN UIT DE BODEMORGANISCHE STOF, DE GRAANSTOPPEL EN DE MENGMEEST (BR60 EN BR120).

4.4.3 VALIDATIE VAN DE OPNAMEPARAMETERS (LEEM)

De voor Lemberge gekalibreerde modelparameters voor de opname van de 4 verschillende vanggewassen werden gevalideerd op de dataset van Sint-Denijs. Zowel het gesimuleerde N_{\min} -gehalte als de bovengrondse N-opbrengst werden geëvalueerd t.o.v. de veldmetingen (Bijlage 11, Bijlage 12 en Bijlage 21). Voor het grasklavermengsel worden resultaten getoond zowel met als zonder het in rekening brengen van de N-fixatie.

Voor gele mosterd werden zowel voor de N-opbrengst als voor het N_{\min} -gehalte erg performante simulaties bekomen. Voor de 1^e zaai werd voor GM0 een te lage en voor GM120 een te hoge N-opbrengst gesimuleerd. Dit leidde echter niet tot een slecht simulatie van het N_{\min} -gehalte in het najaar. In het voorjaar was het gesimuleerde N_{\min} -gehalte onder GM0 wel lager dan de metingen.

Voor Italiaans raigras werden relatief goede simulaties bekomen, hoewel de gesimuleerde N-opbrengsten voor alle behandelingen iets te hoog lagen, met name op de 120N-bemestingstrap in het voorjaar. Ondanks deze te hoge opbrengsten werd voor geen van de behandelingen een te laag N_{\min} -gehalte gesimuleerd.

Voor Japanse haver werden eveneens performante simulaties bekomen, zij het dat het gesimuleerde N_{\min} -gehalte vooral bij de 2^e zaai iets te hoog lag. De bovengrondse N-opbrengsten werden echter wel correct gesimuleerd.

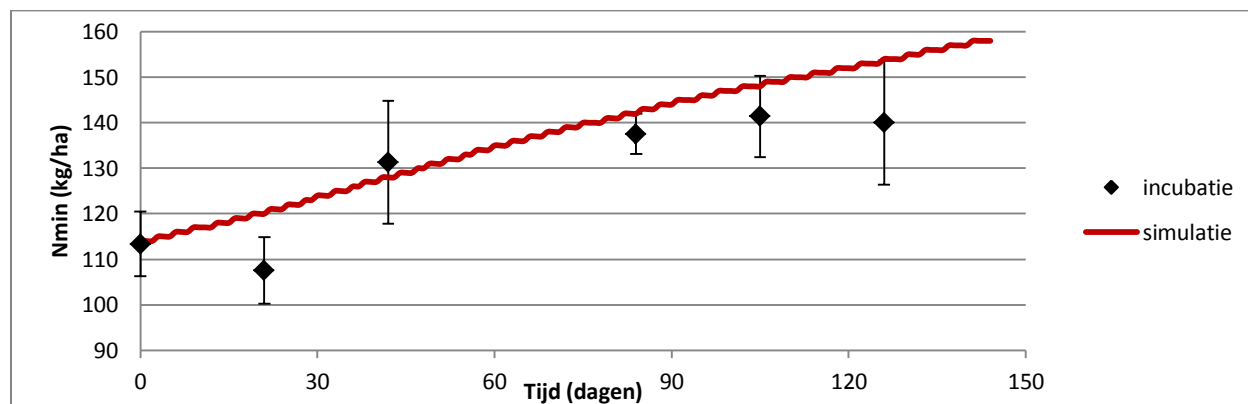
Voor het grasklavermengsel waren de simulaties iets minder performant maar zeker aanvaardbaar. Bij het in rekening brengen van de N-fixatie was de gesimuleerde N-opbrengst voor de 3 bemestingstrappen identiek, wat niet overeenstemde met de metingen. Zonder N-fixatie werden er wel verschillen in N-opbrengsten gesimuleerd tussen de 3 bemestingstrappen, maar werd de N-opbrengst op de 60N- en 120N-trap overschat voor het 2^e zaaitijdstip.

Met uitzondering van het grasklavermengsel geeft de validatie van de opnameparameters dus erg goede resultaten. Op basis daarvan werd besloten geen aanvullende kalibratie uit te voeren voor deze parameters. Het is immers voordelig 1 set aan opnameparameters te hebben die geldig is voor verschillende bodemtypes, aangezien niet elke bodem overeenkomt met de hier gekalibreerde bodemtypes.

4.4.4 KALIBRATIE EN VALIDATIE OP ZAND

4.4.4.1 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF (ZAND)

Op zand werd voor het 1^e proefjaar geen incubatieproef uitgevoerd. Voor het 2^e proefjaar werd aanvullend onderzoek gevoerd naar de mineralisatie van stoppel en stro, waarbij ook de mineralisatie van bodemorganische stof in de zandbodem van Bottelare werd opgevolgd. Op basis van de resultaten van deze proef werden de modelparameters voor mineralisatie uit bodemorganische stof succesvol gekalibreerd. De gemiddelde absolute afwijking tussen de gesimuleerde en de gemeten N_{\min} -gehalten was $8,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ en de gemiddelde afwijking was $6,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Figuur 40).



FIGUUR 40: SIMULATIE EN GEMETEN N-MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF OP ZAND IN EEN INCUBATIEPROEF BIJ 15°C.

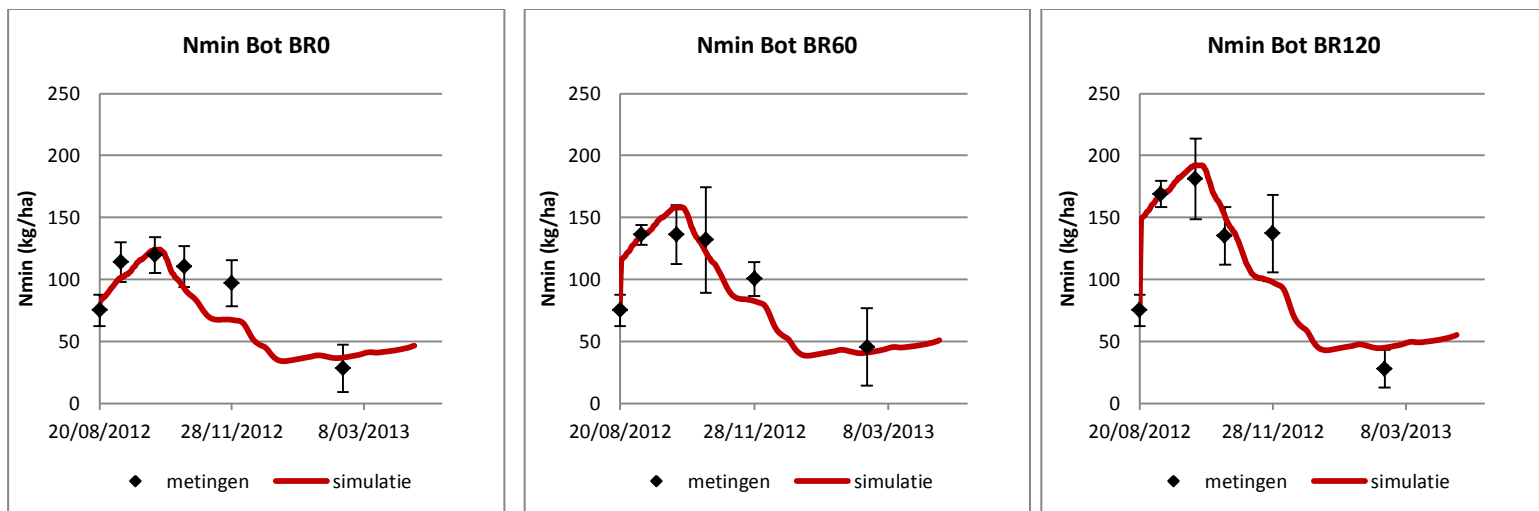
4.4.4.2 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT DE GRAANSTOPPEL EN UIT DE MENGMEEST

Bij het uitvoeren van de kalibratie werd opnieuw zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de beschikbare informatie over de samenstelling van de mengmest en de oogstresten (stoppel, stroresten en wortels van triticale). Op basis van de textuur, de bulkdensiteit en het organische stofgehalte werd met behulp van pedotransferfuncties het volumetrisch vochtgehalte bij het verwelkingspunt, bij veldcapaciteit en bij verzadiging bepaald (Tabel 30).

TABEL 30: VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) BIJ VERWELKINGSPUNT (θ_{WP}), BIJ VELDCAPACITEIT (θ_{FC}) EN BIJ VERZADIGING (θ_{SAT}) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN BOTTELARE (2^E PROEFJAAR).

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
θ_{WP}	0,05	0,04	0,04
θ_{FC}	0,15	0,13	0,12
θ_{SAT}	0,44	0,44	0,44

De kalibratie verliep, rekening houdend met de standaard afwijkingen op de metingen, relatief succesvol (Figuur 41), hoewel eind november systematisch een beperkte overschatting van het N_{\min} -gehalte werd waargenomen. Een aannemelijke verklaring hiervoor is dat de werkelijke uitspoeling in het najaar trager verliep dan de gesimuleerde, aangezien bij bemonstering herhaaldelijk waargenomen werd dat het proefveld slecht gedraineerd was. De gemiddelde absolute afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten waarden waren kleiner dan 17 kg N ha^{-1} (Bijlage 21).



FIGUUR 41: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALISATIE IN HET VELD (BOTTELARE) UIT DE BODEMORGANISCHE STOF EN DE GRAANSTOPPEL (BR0) EN UIT DE BODEMORGANISCHE STOF, DE GRAANSTOPPEL EN DE MENGMEEST (BR60 EN BR120).

4.4.5 VALIDATIE VAN DE OPNAMEPARAMETERS (ZAND)

De voor Lemberge gekalibreerde modelparameters voor de opname van de 4 verschillende vanggewassen werden gevalideerd op de dataset van Bottelare. Zowel het gesimuleerde N_{\min} -gehalte als de bovengrondse N-opbrengst werden geëvalueerd t.o.v. de veldmetingen (Bijlage 13, Bijlage 14 en Bijlage 21).

Voor alle vanggewassen van het 1^e zaaitijdstip werden iets te hoge bovengrondse N-opbrengsten gesimuleerd. Voor het grasklavermengsel met N-fixatie op de 120N-bemestingstrap waren de gesimuleerde N-opbrengsten lager dan de metingen. Net als op leem worden de opbrengsten voor grasklaver van het 1^e zaaitijdstip beter gesimuleerd bij het niet in rekening brengen van de N-fixatie. Ondanks de hogere gesimuleerde N-opbrengsten voor alle vanggewassen van het 1^e zaaitijdstip liggen de gesimuleerde N_{\min} -gehalten in de bodem niet ver van de metingen, met uitzondering van het N_{\min} -gehalte eind november, maar dit valt samen met wat geobserveerd werd op de braakpercelen.

Voor de vanggewassen van het 2^e zaaitijdstip (gezaaid op 8 september 2012) zijn de gesimuleerde N-opbrengsten veel groter dan de metingen en zijn de gesimuleerde N_{\min} -gehalten voor alle behandelingen veel te laag.

Uit deze validatie is gebleken dat de opnameparameters die gekalibreerd werden a.d.h.v. de dataset van Lemberge (1^e proefjaar) in Bottelare tijdens het 2^e proefjaar enkel aanvaardbare resultaten opleverden voor de vroeg ingezaaide vanggewassen. Waarschijnlijk is dit het gevolg van een combinatie van de minder gunstige weersomstandigheden tijdens het 2^e proefjaar en de erg late inzaaidatum (8 september in Bottelare t.o.v. 30 augustus in Lemberge).

4.5 GLOBALE VALIDATIE

4.5.1 INLEIDING

Een kalibratie van modelparameters resulteert in een parameterset die gebonden kan zijn aan de omstandigheden waarvoor de kalibratie uitgevoerd werd. Indien de modelparameters niet tevens gevalideerd worden, is het onzeker of modelsimulaties geëxtrapoleerd kunnen worden naar andere locaties onder andere weersomstandigheden. De op zandleem gekalibreerde parameters voor de N-opname werden reeds onderworpen aan een eerste validatie door ze te gaan toepassen na de kalibraties op leem en zand (zie ook Figuur 32). De gekalibreerde parameters voor mineralisatie uit bodemorganische stof, graanstoppel en mengmest werden echter

nog niet gevalideerd en het is aangewezen alle parameters samen te valideren. Een dergelijke globale validatie kon worden uitgevoerd door de gekalibreerde parameters te gebruiken in simulaties op proefpercelen met een gelijkaardige bodemtextuur, bij voorkeur aangelegd in een ander proefjaar. Op die manier zijn niet enkel de percelen maar ook de weersomstandigheden verschillend en kan worden nagegaan of locatie-effecten en/of weerseffecten kunnen worden waargenomen. Dit was echter niet altijd mogelijk: op zandleem werd in het 2^e proefjaar immers geen proefperceel aangelegd.

4.5.2 GLOBALE VALIDATIE OP ZAND

De globale validatie op zand werd uitgevoerd op de dataset van Merelbeke (2^e proefjaar) door hierop de gekalibreerde parameterset voor mineralisatie uit bodemorganische stof en mengmest op zand (Bottelare, 2^e proefjaar) toe te passen. Aangezien beide datasets uit het 2^e proefjaar komen, was er voor deze 2 parametersets dus enkel sprake van een locatie-effect en minder van een weerseffect. De parameterset voor opname en groei kon wel getest worden op beide effecten want werd gekalibreerd a.d.h.v. de metingen uit het 1^e proefjaar in Lemberge. Dit gold ook voor de mineralisatie uit de graanstoppel omdat de verkozen parameterset eveneens gekalibreerd werd op de dataset van Lemberge, aangezien het in Merelbeke, net als in Lemberge, om een graanstoppel van wintergerst ging. Alle niet-gekalibreerde parameters waarvoor informatie beschikbaar was (organische stofgehalte van de bodem, samenstelling van de mengmest en de graanstoppel, textuur, bulkdensiteit, pH, ...) werden opnieuw aangepast in de parameterbestanden. In het kader van aanvullend onderzoek werden voor Merelbeke het volumetrisch vochtgehalte bij het verwelkingspunt, bij veldcapaciteit en bij verzadiging effectief gemeten (Tabel 31), zodat deze niet geschat dienden te worden a.d.h.v. pedotransferfuncties. Als test werd de inschatting van deze parameters a.d.h.v. pedotransferfuncties vergeleken met de gemeten waarden. Rekening houdend met de standaard afwijkingen op de metingen bleek dat zij in het algemeen relatief goed ingeschat werden, hetgeen het gebruik van deze pedotransferfuncties op andere locaties rechtvaardigt.

TABEL 31: VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE (CM³ CM⁻³) BIJ VERWELKINGSPUNT (θ_{WP}), BIJ VELDCAPACITEIT (θ_{FC}) EN BIJ VERZADIGING (θ_{SAT}) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN MERELBEKE (2^E PROEFJAAR). HET GEMETEN VOCHTGEHALTE IS WEERGEGEVEN MET DE STANDAARD AFWIJING, HET GESCHAT VOCHTGEHALTE STAAT TUSSEN HAAKJES.

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
θ_{WP}	0,06 ± 0,02 (0,10)	0,06 ± 0,03 (0,10)	0,05 ± 0,02 (0,10)
θ_{FC}	0,20 ± 0,01 (0,19)	0,15 ± 0,03 (0,19)	0,14 ± 0,06 (0,19)
θ_{SAT}	0,45 ± 0,03 (0,44)	0,37 ± 0,03 (0,44)	0,36 ± 0,02 (0,44)

De simulaties van het N_{min}-gehalte (Bijlage 15) en de bovengrondse N-opbrengst (Bijlage 16) kunnen vergeleken worden met de metingen en zijn dus net als voor de kalibratie een maatstaf voor de validatie.

Het gesimuleerde N_{min}-gehalte op de braakbehandelingen lijkt de waarnemingen uit het veld relatief goed te voorspellen. De simulatie op de niet-bemeste braakbehandeling is nagenoeg perfect, maar op de bemeste behandelingen wordt de N-immobilisatie na het inwerken enigszins onderschat, wat leidt tot te hoge gesimuleerde N_{min}-gehalten eind augustus. Op de 60N-bemestingstrap ligt het gesimuleerde N_{min}-gehalte ook in september en oktober nog iets boven de metingen.

Onder alle vanggewassen van het 1^e zaaitijdstip komen het gesimuleerde en gemeten N_{min}-gehalte goed overeen, tenminste als voor het grasklavermengsel de N-fixatie niet in rekening wordt gebracht. Nochtans wordt de

bovengrondse N-opbrengst niet voor alle veggewassen performant gesimuleerd. Met name voor Japanse haver is de gesimuleerde N-opbrengst veel groter dan de metingen. Misschien is dit een gevolg van de competitie die optrad in het veld met de opslag van de wintergerst, die in Merelbeke zelfs gemaaid moest worden om het Italiaans raaigras en het grasklavermengsel voldoende ontwikkelingskansen te geven. Het is mogelijk dat de Japanse haver op de competitie met de wintergerst gereageerd heeft door meer ondergrondse biomassa te ontwikkelen. De ondergrondse N-opbrengsten werden echter niet bepaald in het veld en kunnen dus niet vergeleken worden met de gesimuleerde ondergrondse N-opbrengsten. Voor het grasklavermengsel kan opnieuw vastgesteld worden dat bij simulatie van de N-fixatie het N_{\min} -gehalte wordt overschat en de bovengrondse N-opbrengst sterk onderschat wordt op de 60N- en 120N-bemestingstrappen. Zonder simulatie van de N-fixatie zijn de resultaten echter goed voor de 1^e zaai van het grasklavermengsel.

Voor de 2^e zaai bemerken we dat het N_{\min} -gehalte goed gesimuleerd wordt op de 0N-bemestingstrap, maar niet altijd op de 60N- en 120N-bemestingstrap. Wellicht is dit het gevolg van een te beperkte immobilisatie, die reeds vermeld werd voor de bemeste braakbehandelingen. Desalniettemin worden de N-opbrengsten voor gele mosterd en Japanse haver goed gesimuleerd. Enkel voor Italiaans raaigras wordt er een overdreven positief effect van de bemesting op de N-opbrengst gesimuleerd. Voor het grasklavermengsel is er enkel een overschatting van de N-opbrengst indien geen N-fixatie in rekening wordt gebracht.

4.5.3 GLOBALE VALIDATIE OP LEEM

De globale validatie op leem werd uitgevoerd op de dataset van Rukkelingen-Loon (2^e proefjaar) door hierop de gekalibreerde parameterset voor mineralisatie uit bodemorganische stof (Rukkelingen-Loon, 1^e proefjaar) en uit de graanstoppel en de mengmest (Sint-Denijs, 1^e proefjaar) toe te passen. Voor simulatie van opname en groei van de veggewassen werd opnieuw de gekalibreerde parameterset uit Lemberge (1^e proefjaar) gebruikt. Alle niet-gekalibreerde parameters waarvoor informatie beschikbaar was (organische stofgehalte van de bodem, samenstelling van de mengmest en graanstoppel, textuur, bulkdensiteit, pH, ...) werden opnieuw aangepast in de parameterbestanden. Op basis van de textuur, de bulkdensiteit en het organische stofgehalte werd met behulp van pedotransferfuncties het volumetrisch vochtgehalte bij het verwelkingspunt, bij veldcapaciteit en bij verzadiging bepaald (Tabel 32).

TABEL 32: VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE ($CM^3 CM^{-3}$) BIJ VERWELKINGSPUNT (θ_{WP}), BIJ VELDCAPACITEIT (θ_{FC}) EN BIJ VERZADIGING (θ_{SAT}) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN RUKKELINGEN-LOON (2^E PROEFJAAR).

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
θ_{WP}	0,11	0,14	0,14
θ_{FC}	0,28	0,30	0,30
θ_{SAT}	0,50	0,50	0,50

De simulaties van het N_{\min} -gehalte (Bijlage 17) en de bovengrondse N-opbrengst (Bijlage 18) werden opnieuw met de metingen vergeleken als maatstaf voor de validatie.

Op de braakbehandelingen werd het N_{\min} -gehalte, rekening houdend met de standaard afwijkingen op de metingen, relatief goed voorspeld, met uitzondering van de 120N-bemestingstrap, waar het gesimuleerde N_{\min} -gehalte steeds te hoog lag. Op de 60N-bemestingstrap werd de uitspoeling tijdens de winter enigszins onderschat, waardoor het gesimuleerde N_{\min} -gehalte in januari ook boven de meting lag.

Voor de behandelingen met vanggewassen werd in Rukkelingen-Loon het klepelen (1 december) en inwerken (12 januari) van de vanggewassen gesimuleerd zoals dit in de realiteit werd uitgevoerd. Het klepelen veroorzaakte het onmiddellijke afsterven van de niet-winterharde vanggewassen (gele mosterd en Japanse haver), maar voor de winterharde vanggewassen werd een halvering van de bovengrondse biomassa en daaropvolgend een beperkte hergroei gesimuleerd.

Aangezien de simulaties op de BR120 niet erg performant waren, is het aangewezen voor de vanggewassen enkel de simulaties op de 0N- en 60N-bemestingstrappen mee te nemen in de beoordeling. De simulaties van het N_{\min} -gehalte waren voor alle vanggewassen van beide zaaitijdstippen behoorlijk goed, met uitzondering van het N_{\min} -gehalte voor het grasklavermengsel (zowel met als zonder N-fixatie), dat vooral voor het 1^e zaaitijdstip telkens te hoog werd ingeschat t.o.v. de metingen. Voor Japanse haver was dit in lichtere mate het geval. De bovengrondse N-opbrengsten werden eveneens behoorlijk goed gesimuleerd, hoewel voor gele mosterd en Italiaans raaigras een beperkte overschatting werd gesimuleerd op de 60N-bemestingstrap. De N-opbrengsten voor het grasklavermengsel werden duidelijk beter gesimuleerd zonder de N-fixatie in rekening te brengen. Voor het grasklavermengsel van het 2^e zaaitijdstip ontbraken metingen omwille van de erg beperkte opkomst van het gewas.

4.5.4 GLOBALE VALIDATIE OP LEMIG ZAND EN LICHT ZANDLEEM

Een laatste globale validatie werd uitgevoerd op de dataset van Bottelare (1^e proefjaar). Aangezien 1^e en 2^e zaaitijdstip werden aangelegd op 2 verschillende percelen, werd de validatie uitgevoerd met gekalibreerde parametersets overeenkomstig de bodemtextuur. Zo werden de gekalibreerde parametersets van Bottelare (2^e proefjaar) en Lemberge (1^e proefjaar) toegepast voor respectievelijk het 1^e en 2^e zaaitijdstip voor mineralisatie uit de bodemorganische stof, uit de graanstoppel en uit de mengmest. Voor simulatie van opname en groei van de vanggewassen werd voor beide zaaitijdstippen opnieuw de gekalibreerde parameterset uit Lemberge (1^e proefjaar) gebruikt. Het grasklaver werd niet meegenomen op deze proefpercelen. Alle niet-gekalibreerde parameters waarvoor informatie beschikbaar was (organische stofgehalte van de bodem, samenstelling van de mengmest en graanstoppel, textuur, bulkdensiteit, pH, ...) werden opnieuw aangepast in de parameterbestanden. Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen de samenstelling van triticale (1^e zaaitijdstip) en wintertarwe (2^e zaaitijdstip). Op basis van de textuur, de bulkdensiteit en het organische stofgehalte werd met behulp van pedotransferfuncties het volumetrisch vochtgehalte bij het verwelkingspunt, bij veldcapaciteit en bij verzadiging bepaald voor beide proefpercelen (Tabel 33 en Tabel 34).

TABEL 33: VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) BIJ VERWELKINGSPUNT (θ_{WP}), BIJ VELDCAPACITEIT (θ_{FC}) EN BIJ VERZADIGING (θ_{SAT}) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN BOTTELARE (1^E PROEFJAAR, 1^E ZAAITIJDS TIP).

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
θ_{WP}	0,05	0,05	0,05
θ_{FC}	0,16	0,14	0,14
θ_{SAT}	0,43	0,38	0,40

TABEL 34: VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) BIJ VERWELKINGSPUNT (θ_{WP}), BIJ VELDCAPACITEIT (θ_{FC}) EN BIJ VERZADIGING (θ_{SAT}) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN BOTTELARE (1^e PROEFJAAR, 2^e ZAAITJDSTIP).

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
θ_{WP}	0,06	0,06	0,06
θ_{FC}	0,18	0,17	0,19
θ_{SAT}	0,41	0,36	0,38

De simulaties van het N_{min} -gehalte (Bijlage 19) en de bovengrondse N-opbrengst (Bijlage 20) werden opnieuw met de metingen vergeleken als maatstaf voor de validatie.

Op de braakbehandelingen werd het N_{min} -gehalte relatief goed voorspeld door de simulaties, zij het dat de mineralisatie in de herfst iets te snel verliep voor het perceel van het 1^e zaaitijdstip. Op het perceel van het 2^e zaaitijdstip werd het N_{min} -gehalte onderschat op de 120N-bemestingstrap.

Voor gele mosterd lage de gesimuleerde N-opbrengsten telkens iets hoger dan de metingen en als gevolg werd het N_{min} -gehalte in het najaar enigszins onderschat. Voor Italiaans raaigras werden de bovengrondse N-opbrengsten zwaar overschat maar bleek het N_{min} -gehalte relatief goed gesimuleerd te zijn. Het is mogelijk dat zich in de realiteit een grotere ondergrondse biomassa ontwikkelde, die door het model als bovengrondse biomassa werd gesimuleerd. Voor Japanse haver werd enkel voor het 1^e zaaitijdstip ook een te hoge bovengrondse N-opbrengst gesimuleerd. Desondanks lagen de gesimuleerde N_{min} -gehaltenes initieel boven de gemeten waarden, hoewel vanaf eind oktober de simulaties en metingen vrij goed overeenkwamen. Voor het 2^e zaaitijdstip werden de bovengrondse N-opbrengsten beter gesimuleerd, mits een lichte onderschatting van het effect van de bemesting. De N_{min} -gehaltenes werden echter wat overschat. Dit wijst erop dat net als voor Italiaans raaigras ook voor Japanse haver de verhouding tussen bovengrondse en ondergrondse biomassa in het veld verschilde van de verhouding die werd gesimuleerd.

4.6 ALGEMENE EVALUATIE VAN DE KALIBRATIES EN VALIDATIES OP BASIS VAN DE RESIDUELEN

Voor elk van de 6 datasets die gebruikt werden voor de kalibratie en de validatie werden de residuen of de afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten N_{min} -gehaltenes en bovengrondse N-opbrengsten berekend (Bijlage 21). Deze residuen werden vervolgens vergeleken t.o.v. de overeenkomstige standaard afwijkingen op elk van de metingen. Hoe hoger de verhouding tussen beide, hoe kleiner de kans is dat de simulatie een goede voorspelling is van de gemeten waarde in het veld. Op basis van deze verhoudingen is het mogelijk de accuraatheid van de simulaties te vergelijken, zowel tussen de behandelingen als tussen de verschillende locaties (Tabel 35).

Voor het N_{min} -gehalte was de gemiddelde verhouding van de residuen t.o.v. de standaard afwijkingen algemeen het kleinst voor Lemberge en het grootst voor Rukkelingen-Loon. Bij vergelijking van de verschillende behandelingen was de 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 (Bijlage 11). De verhouding was het grootst voor het grasklavermengsel, met name voor het 1^e zaaitijdstip, waarbij echter zowel met als zonder het simuleren van de N-fixatie vergelijkbare cijfers gevonden werden. Voor het 1^e zaaitijdstip ging het ook voor het grasklavermengsel om

een overschatting van het gemeten N_{\min} -gehalte. Zowel voor Japanse haver als voor grasklaver was de overschatting groter bij een hogere bemestingsdosis.

TABEL 35: OVERZICHT VAN DE GEMIDDELTE VERHOUDING VAN DE RESIDUELEN T.O.V. DE STANDAARD AFWIJINGEN PER BEHANDELING VOOR HET GESIMULEERDE N_{\min} -GEHALTE OP DE 6 LOCATIES.

Proefjaar Locatie Zaaitijdstip	2011-2012						2012-2013						alle locaties	
	LEM		STD		BOT		MER		RUK		BOT			
	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2
BR0	0,8	1,5	0,7	0,7	1,8	1,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1
BR60	0,9	0,8	0,4	0,4	2,8	1,1	2,8	2,8	0,6	0,6	0,5	0,5	1,3	1,0
BR120	0,9	0,8	0,9	0,9	1,7	1,4	0,8	0,8	1,4	1,4	0,7	0,7	1,1	1,0
BR	0,9	1,0	0,6	0,6	2,1	1,4	1,5	1,5	0,9	0,9	0,7	0,7	1,1	1,0
GM0	1,3	0,9	2,3	1,5	1,8	1,7	1,0	2,0	2,5	1,1	1,0	2,3	1,6	1,6
GM60	2,2	1,9	2,0	0,8	2,4	2,3	2,2	2,9	1,3	0,8	3,2	4,3	2,2	2,2
GM120	1,9	1,3	1,3	0,6	2,7	2,9	1,6	4,2	3,6	1,2	1,4	1,3	2,1	1,9
GM	1,8	1,4	1,9	1,0	2,3	2,3	1,6	3,0	2,5	1,0	1,9	2,7	2,0	1,9
IR0	0,7	1,1	3,6	3,5	1,5	1,1	1,2	1,7	2,3	2,9	1,2	1,7	1,7	2,0
IR60	1,3	0,7	2,6	2,5	1,8	1,1	0,8	1,3	4,4	1,2	0,9	2,5	2,0	1,6
IR120	1,3	0,8	2,3	1,5	1,6	1,9	0,6	2,0	2,7	1,7	1,0	1,7	1,6	1,6
IR	1,1	0,9	2,8	2,5	1,6	1,4	0,9	1,7	3,2	1,9	1,0	2,0	1,8	1,7
JH0	0,8	2,1	6,5	6,1	2,9	2,8	2,3	1,9	1,6	1,2	1,4	1,6	2,6	2,6
JH60	1,3	2,0	3,0	3,9	3,6	5,5	1,2	3,5	3,4	0,6	2,3	2,0	2,5	2,9
JH120	1,7	1,2	2,3	5,1	4,4	3,6	1,8	1,2	6,8	2,0	2,9	2,6	3,3	2,6
JH	1,2	1,8	3,9	5,0	3,7	3,9	1,8	2,2	3,9	1,3	2,2	2,1	2,8	2,7
GK0 + fixatie	0,9	1,1	5,4	3,0	-	-	3,3	0,8	9,2	1,3	0,5	2,2	3,9	1,7
GK60 + fixatie	1,2	1,6	3,0	3,1	-	-	3,8	1,8	10,7	3,4	0,8	1,3	3,9	2,2
GK120 + fixatie	2,0	0,7	5,7	6,5	-	-	6,9	1,8	11,5	2,8	2,0	2,0	5,6	2,8
GK + fixatie	1,4	1,1	4,7	4,2	-	-	4,7	1,5	10,5	2,5	1,1	1,9	4,5	2,2
GK0 - fixatie	0,8	1,3	6,6	4,9	-	-	2,3	1,2	9,5	1,3	0,7	2,1	4,0	2,2
GK60 - fixatie	1,6	1,0	2,4	3,7	-	-	3,3	1,6	10,2	3,3	0,9	1,3	3,7	2,2
GK120 - fixatie	2,0	0,6	5,3	6,9	-	-	9,0	2,2	10,5	2,7	1,9	2,1	5,8	2,9
GK - fixatie	1,5	1,0	4,8	5,2	-	-	4,9	1,7	10,1	2,4	1,2	1,8	4,5	2,4
gemiddeld	1,3	1,2	3,1	3,1	2,4	2,3	2,5	1,9	5,2	1,7	1,3	1,8	2,6	2,0
gemiddeld Z1+Z2	1,2		3,1		2,3		2,2		3,4		1,6		2,3	

Voor de bovengrondse N-opbrengst was de gemiddelde verhouding van de residuen t.o.v. de standaard afwijkingen (Tabel 36) algemeen het kleinst voor Lemberge en het grootst voor Bottelare (1^e proefjaar). Bij vergelijking van de verschillende behandelingen bleek de accuraatheid 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 (Bijlage 21).

TABEL 36: OVERZICHT VAN DE GEMIDDELTE VERHOUDING VAN DE RESIDUELEN T.O.V. DE STANDAARD AFWIJINGEN PER BEHANDELING VOOR DE GESIMULEERDE BOVENGRONDSE N-OPBRENGST OP DE 6 LOCATIES.

Proefjaar Locatie Zaaitijdstip	2011-2012						2012-2013						gemiddeld	
	LEM		STD		BOT		MER		RUK		BOT			
	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2	zaai1	zaai2
GM0	0.7	0.9	1.3	0.6	6.7	2.8	1.2	0.8	3.9	2.6	2.3	7.5	2.7	2.5
GM60	0.8	1.2	5.1	0.5	1.6	12.6	2.3	1.8	15.4	2.9	1.3	7.7	4.4	4.5
GM120	0.6	0.9	2.8	2.5	2.4	14.7	1.9	4.5	12.3	3.7	1.7	7.1	3.6	5.6
GM	0.7	1.0	3.0	1.2	3.5	10.1	1.8	2.4	10.5	3.1	1.8	7.4	3.6	4.2
IR0	0.3	1.5	2.2	3.4	7.0	18.9	2.8	5.1	5.9	4.8	2.1	16.2	3.4	8.3
IR60	0.9	1.1	2.6	2.9	8.2	7.4	2.0	9.1	22.7	1.6	1.5	17.8	6.3	6.7
IR120	0.7	0.7	12.8	6.0	11.7	5.3	1.0	3.1	31.2	2.4	1.5	24.8	9.8	7.1
IR	0.6	1.1	5.9	4.1	9.0	10.5	1.9	5.8	20.0	2.9	1.7	19.6	6.5	7.3
JH0	0.5	1.4	1.9	0.9	4.3	1.1	5.4	1.3	15.2	0.5	5.0	4.7	5.4	1.6
JH60	3.5	1.1	1.2	2.0	7.7	5.4	5.5	1.2	11.7	1.1	3.6	5.4	5.5	2.7
JH120	1.1	0.1	7.0	4.2	3.1	3.2	11.1	3.0	9.3	0.7	3.0	1.7	5.7	2.1
JH	1.7	0.9	3.4	2.4	5.0	3.2	7.3	1.8	12.1	0.8	3.9	3.9	5.6	2.2
GK0 + fixatie	1.3	1.6	6.1	12.1	-	-	0.7	0.7	4.1	-	0.9	1.8	2.6	4.1
GK60 + fixatie	1.1	0.3	2.3	6.1	-	-	2.4	2.6	4.2	-	0.9	2.1	2.2	2.8
GK120 + fixatie	0.8	0.6	2.5	2.1	-	-	3.8	4.4	15.1	-	1.9	0.8	4.8	2.0
GK + fixatie	1.0	0.8	3.6	6.8	-	-	2.3	2.6	7.8	-	1.2	1.6	3.2	2.9
GK0 - fixatie	1.0	1.8	2.9	6.6	-	-	0.6	1.2	3.4	-	0.6	2.1	1.7	2.9
GK60 - fixatie	1.8	0.9	3.7	10.6	-	-	1.1	1.7	2.8	-	1.3	4.5	2.1	4.4
GK120 - fixatie	0.9	0.6	5.3	6.9	-	-	2.9	2.7	0.7	-	1.3	2.9	2.2	3.3
GK - fixatie	1.2	1.1	3.9	8.0	-	-	1.5	1.9	2.3	-	1.1	3.2	2.0	3.5
gemiddeld	1.1	1.0	4.0	4.5	5.8	7.9	3.0	2.9	10.5	2.3	1.9	7.2	4.4	4.3
gemiddeld Z1+Z2	1.0		4.2		6.9		2.9		6.4		4.5		4.3	

In aanvulling op de vaststellingen die gedaan werden bij de kalibratie en validatie van het model, geeft deze globale analyse van de residuen een duidelijk beeld op de verhouding tussen de accuraatheid van enerzijds het gesimuleerde N_{\min} -gehalte en anderzijds de gesimuleerde bovengrondse N-opbrengst. Een inaccurate simulatie van de bovengrondse N-opbrengst resulteerde immers niet steeds in een inaccurate simulatie van het N_{\min} -gehalte. Dit staft de eerder gemaakte veronderstelling 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. Met name voor Italiaans raagrass werd de relatieve opname van de ondergrondse biomassa voor alle behandelingen onderschat op alle locaties met uitzondering van Lemberge en Rukkelingen-Loon. Voor gele mosterd kon hetzelfde worden vastgesteld maar enkel op zand (Bottelare, 1^e en 2^e proefjaar).

4.7 GLOBALE BESPREKING VAN DE MODELOUTPUT

4.7.1 INLEIDING

De onderzoeksvraag is of een aanvullende bemesting van 60 kg N ha^{-1} op de graanstoppel gevolgd door het inzaaien van vanggewassen al dan niet leidt tot bijkomende N-verliezen. Met het gekalibreerde model was het mogelijk om voor de proefpercelen ook de N-verliezen te simuleren en de onderzoeksvraag te beantwoorden. Voor het grasklavermengsel werd steeds gebruik gemaakt van de gekalibreerde parameterset zonder de N-fixatie in rekening te brengen, aangezien dit duidelijkere verschillen simuleerde in bovengrondse N-opbrengst tussen de 3 bemestingstrappen, hetgeen ook op de proefpercelen werd waargenomen. Bovendien werd bij visuele inspectie aangetoond dat het aandeel klaver op geen enkele locatie erg groot was, hetgeen bevestigd werd door metingen in Lemberge en Merelbeke (zie deel 3.1.2).

De modeloutput voor de verschillende gekalibreerde en gevalideerde proefveldlocaties wordt weergegeven in Tabel 37 t.e.m. Tabel 42. In elke tabel wordt een overzicht gegeven van de N-dynamiek tussen het moment van het inwerken van de mest na de oogst van het wintergraan tot en met 31 maart van het daaropvolgende voorjaar. De verschillende N-inputs en N-outputs worden hieronder besproken.

4.7.2 DEPOSITIE

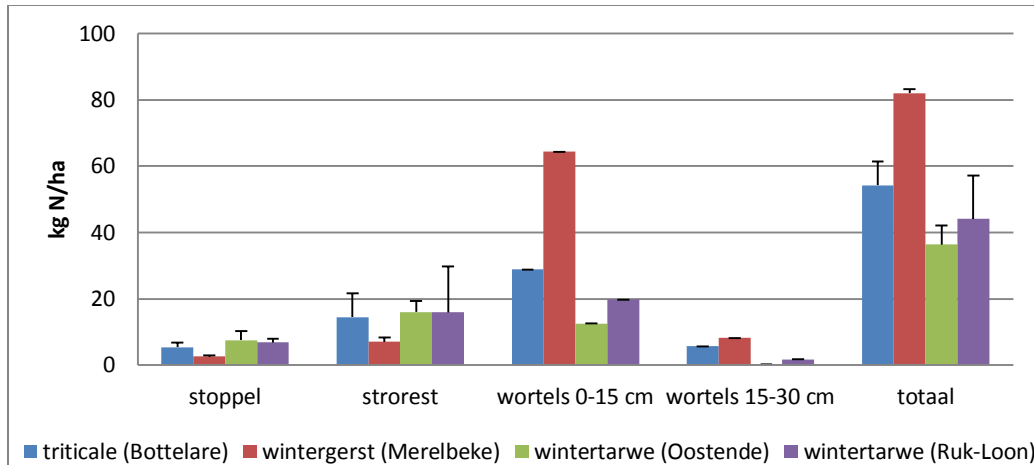
De weergegeven cijfers voor de depositie zijn telkens berekend op basis van de gemiddelde cijfers per gemeente uit het Mira Rapport (2011), waarbij rekening werd gehouden met de lengte van de simulatieperiode. De depositie in Limburg (Rukkelingen-Loon) is duidelijk kleiner dan in Oost- en West-Vlaanderen. De depositie vertoont geen verschillen tussen de verschillende behandelingen.

4.7.3 MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF

De weergegeven cijfers tonen de netto mineralisatie, aangezien naast afbraak ook opbouw van bodemorganische stof wordt gesimuleerd. De netto mineralisatie uit de bodemorganische stof varieert behoorlijk sterk tussen de locaties (afhankelijk van organische stofgehalte en bodemtextuur) maar vertoont in de meeste gevallen slechts kleine verschillen tussen de verschillende behandelingen. Een opvallende uitzondering daarop is de modeloutput voor Lemberge, waar bij toenemende bemesting de mineralisatie uit bodemorganische stof sterk blijkt af te nemen en zelfs negatief wordt op de 120N-bemestingstrap. Het lijkt erop dat bij bemesting een zeer snelle opbouw van bodemorganische stof gesimuleerd wordt. Dit is weliswaar mogelijk in beperkte mate (zoals in Merelbeke), maar de grote verschillen voor Lemberge zijn niet echt realistisch. Ook voor de behandelingen met (vooral winterharde) vanggewassen kunnen we in vele gevallen een kleine afname van de mineralisatie uit bodemorganische stof waarnemen, die wellicht ook veroorzaakt wordt door de opbouw van bodemorganische stof uit de biomassa van het vanggewas.

4.7.4 MINERALISATIE UIT TOEGEDIEND ORGANISCH MATERIAAL

De weergegeven cijfers tonen de bruto mineralisatie, aangezien er geen opbouw van toegediend organisch materiaal mogelijk is. De mineralisatie uit het toegediend organisch materiaal bundelt de mineralisatie uit de oogstresten van het graangewas (graanstoppel, strorest en wortels), uit de organische fractie van de mest en uit de afgestorven biomassa van de vanggewassen. Op de BR0-behandeling wordt enkel N vrijgesteld uit de oogstresten. We stellen vast dat uit de oogstresten van wintergerst 82 kg N ha^{-1} werd vrijgesteld op zandleem (Lemberge) en op leem (Merelbeke). Uit de oogstresten van wintertarwe werd 35 kg N ha^{-1} vrijgesteld op leem (Sint-Denijs en Rukkelingen-Loon) en 49 kg N ha^{-1} op licht zandleem (Bottelare, 1^e proefjaar, 2^e zaai). Uit de oogstresten van triticale werd op zand (Bottelare, 1^e proefjaar, 1^e zaai en 2^e proefjaar) 55 kg N ha^{-1} vrijgesteld. Dit komt in grote mate overeen met de cijfers die bekomen werden na metingen in het veld in 2012 (Figuur 42).



FIGUUR 42: STIKSTOFOPBRENGST VAN DE VERSCHILLENDE DELEN VAN OOGSTRESTEN VAN WINTERGRANEN GEMETEN IN AUGUSTUS 2012.

De verschillen in mineralisatie tussen de BR0-, de BR60- en de BR120-behandeling zijn toe te schrijven aan de vrijstelling van N uit de organische fractie van de mest. De grootte van deze vrijstelling varieert per locatie en is voornamelijk afhankelijk van het aandeel van de organische fractie van de mest.

De verschillen in mineralisatie tussen de behandelingen met vanggewassen en de overeenkomstige braakbehandelingen zijn toe te schrijven aan de vrijstelling uit de afgestorven biomassa. Dit gedeelte is ook uitgedrukt als een percentage van de totale N-opname vrijgesteld uit het vanggewas (zie deel 4.7.10).

4.7.5 OPBOUW MICROBIËLE BIOMASSA

De immobilisatie van N in de microbiële biomassa varieert sterk per locatie en hangt daarbij in grote mate af van de hoeveelheid N die vrijgesteld wordt uit de graanstoppel. Enkel voor Rukkelingen-Loon is de gesimuleerde immobilisatie onverklaarbaar hoog gezien de lage N-vrijstelling uit de graanstoppel. Voor Lemberge en Merelbeke wordt op de braakbehandelingen een toename van de immobilisatie gesimuleerd bij bemesting. Op de behandelingen met vanggewassen wordt bijkomend N geïmmobiliseerd uit de afgestorven biomassa.

4.7.6 MINERALE FRACTIE MEST

De minerale fractie van de mest werd bepaald op basis van de analysesresultaten.

4.7.7 UITSPOELING

Het verloop van de gesimuleerde uitspoeling is weergegeven in Figuur 43 en wordt per proefjaar besproken.

4.7.7.1 PROEFJAAR 2011-2012

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. Ook in de herfst trad echter reeds enige uitspoeling op, zij het in grotere mate op zand (Bottelare) dan op zandleem (Lemberge) en bijna niet op leem (Sint-Denijs). 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 combinatie van de opbouw van de microbiële biomassa en bodemorganische stof op zandleem (zie deel 4.7.3). De totale uitspoeling op de BR0-behandeling was afhankelijk van de locatie en de bodemtextuur: op zand 149 , op zandleem 76 en op leem 61 kg N ha^{-1} .

De aanwezigheid van vroeg ingezaaide vanggewassen zorgde steeds voor een grote afname van de uitspoeling 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 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 waargenomen t.o.v. de vroege zaai.

4.7.7.2 PROEFJAAR 2012-2013

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 niet-bemeste braakbehandeling (BRO) bedroeg 150 tot 160 kg N ha⁻¹ (Bottelare en Merelbeke) en 60 kg N ha⁻¹ op leem (Rukkelingen-Loon). 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.

Omwille van de late oogst in Bottelare en Rukkelingen-Loon konden de vanggewassen enkel in Merelbeke in de eerste helft van augustus ingezaaid worden. Net als in het eerste proefjaar lag 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.

4.7.8 GASVORMIG VERLIES

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 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.

4.7.9 OPNAME

De weergegeven cijfers voor de gesimuleerde opname omvatten de totale hoeveelheid N die door de vanggewassen werden onttrokken aan de bodem tijdens de simulatieperiode. De cijfers komen algemeen overeen met de gegevens verzameld door Thorup-Kristensen et al. (2003) en de resultaten voor simulaties in Nederland (van Dam, 2006). De opname was voor alle proefpercelen steeds het grootst voor ofwel gele mosterd ofwel Italiaans raaigras. Voor deze 2 vanggewassen was er voor beide zaaitijdstippen op alle locaties met uitzondering van Lemberge een duidelijke toename van de opname bij bemesting. De verschillen tussen de zaaitijdstippen waren voor gele mosterd en Italiaans raaigras enkel van tel in het 2^e proefjaar, met name op die locaties waar de 2^e zaai in september werd ingezaaid (Bottelare en Rukkelingen-Loon). Voor Japanse haver en grasklaver lag de opname op de meeste proefpercelen lager dan voor de andere vanggewassen. Ook was er voor deze 2 vanggewassen een toename van de opname bij hogere bemesting, maar niet voor Japanse haver van het 2^e zaaitijdstip. De verschillen tussen de zaaitijdstippen waren voor grasklaver en gele mosterd uitgesproken waarneembaar voor beide proefjaren.

4.7.10 PERCENTAGE N VRIJGESTELD UIT HET VANGGEWAS

De afstervende biomassa van de vanggewassen mineraliseert en stelt N vrij. Gele mosterd stelt het hoogste percentage vrij, meestal gevolgd door respectievelijk Japanse haver, grasklaver en Italiaans raaigras. Dit is een logische volgorde aangezien gele mosterd en Japanse haver niet-winterharde vanggewassen zijn. In een beperkt aantal gevallen stelt Japanse haver echter een lagere hoeveelheid N vrij, voornamelijk wanneer ook de opname erg klein is. Wellicht is dit te wijten aan een beperkte senescentie tijdens de groeifase. In Rukkelingen-Loon worden ook voor de winterharde vanggewassen grotere percentages N vrijgesteld aangezien alle vanggewassen daar gemaaid en ingewerkt werden in de winter. Afhankelijk van de C:N-verhouding van de afstervende biomassa zal een deel van de vrijgestelde hoeveelheid N geïmmobiliseerd worden in de microbiële biomassa.

4.7.11 BALANS

Het verschil tussen het gemeten N_{\min} -gehalte bij oogst en het gesimuleerde N_{\min} -gehalte op 31 maart werd vergeleken met de balans van de verschillende N-stromen. Deze vergelijking toonde aan dat er geen N-stromen over het hoofd werden gezien.

4.7.12 DRAINAGE

De uitgespoelde hoeveelheid N werd reeds vergeleken tussen de verschillende behandelingen. Aangezien in principe de nitraatconcentratie in het uitspoelende water moet vergeleken worden, dient ook de hoeveelheid drainagewater in rekening gebracht te worden. De gesimuleerde drainage werd in de eerste plaats bepaald door de weersomstandigheden en de bodemtextuur, wat leidde tot grote verschillen tussen de locaties. Per locatie werden tussen de verschillende behandelingen slechts kleine verschillen gesimuleerd. De aanwezigheid van vanggewassen veroorzaakte telkens een beperkte afname van de drainage t.o.v. de braakbehandeling. Dit wellicht omdat het grootste deel van de drainage optrad in de winter, op het moment dat de transpiratie van de vanggewassen nagenoeg stil viel. Voor winterharde vanggewassen was de afname van de drainage iets meer uitgesproken dan voor niet-winterharde vanggewassen. Het effect van de bemesting op de drainage was steeds verwaarloosbaar.

4.7.13 NITRAATCONCENTRATIE

De gesimuleerde gewogen gemiddelde nitraatconcentraties over de periode van oogst tot 31 maart zijn weergegeven in Figuur 44. Aangezien de hoeveelheid drainagewater op elk proefperceel slechts in beperkte mate beïnvloed werd door de behandelingen, sluit een bespreking van de onderlinge verschillen in concentraties nauw aan bij de discussie omtrent de absolute hoeveelheden nitraatuitspoeling (deel 4.7.7).

TABEL 37: MODELOUTPUT VOOR LEMBERGE, 1^E PROEFJAAR (IN KG N HA⁻¹ TENZIJ ANDERS VERMELD).

LEMBERGE INZAAI 04/08/2011	BR0	BR53	BR106	GM0	GM53	GM106	IR0	IR53	IR106	JH0	JH53	JH106	GK0	GK53	GK106
Depositie	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Mineralisatie bodemorganische stof	35	11	-13	29	4	-22	35	9	-17	31	6	-20	33	7	-19
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	82	86	90	149	156	164	111	117	123	133	137	143	137	145	152
Opbouw microbiële biomassa	39	55	71	83	100	116	52	68	84	79	97	113	61	79	96
Minerale fractie mest	0	36	72	0	36	72	0	36	72	0	36	72	0	36	72
Uitspoeling	76	83	89	11	11	11	12	12	11	13	13	13	22	21	20
Gasvormig verlies	1	1	2	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
Opname	0	0	0	102	105	111	121	121	121	91	95	99	125	125	127
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	65	67	67	24	26	27	56	54	53	44	47	49
Minerale N bij oogst	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
Minerale N op 31 maart	58	51	44	38	34	31	16	16	16	36	30	26	18	18	18
Verschil minerale N	21	14	7	1	-3	-6	-21	-21	-21	-1	-7	-12	-19	-19	-20
Balans model	20	13	6	0	-3	-7	-21	-21	-21	-1	-8	-13	-20	-20	-21
Drainage (mm)	243	243	243	242	242	242	236	236	236	251	251	251	229	229	229
Concentratie NO3 (mg/l)	139	151	162	21	21	20	23	22	22	23	23	22	43	40	38

LEMBERGE INZAAI 31/08/2011	BR0	BR53	BR106	GM0	GM53	GM106	IR0	IR53	IR106	JH0	JH53	JH106	GK0	GK53	GK106
Depositie	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Mineralisatie bodemorganische stof	35	11	-13	31	6	-19	35	10	-15	33	8	-17	34	9	-16
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	82	86	90	159	165	172	109	115	120	143	149	156	130	137	144
Opbouw microbiële biomassa	39	55	71	75	92	108	48	63	78	64	81	98	52	69	85
Minerale fractie mest	0	36	72	0	36	72	0	36	72	0	36	72	0	36	72
Uitspoeling	86	92	98	12	12	12	15	15	14	14	14	14	37	36	35
Gasvormig verlies	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1
Opname	0	0	0	114	117	121	129	129	130	99	103	106	118	123	125
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	67	68	68	21	22	23	61	61	62	40	41	43
Minerale N bij oogst	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Minerale N op 31 maart	58	51	44	53	51	48	18	18	18	63	59	56	22	20	19
Verschil minerale N	11	4	-3	7	4	1	-29	-29	-29	16	12	9	-25	-27	-28
Balans model	10	3	-4	6	3	1	-30	-29	-29	15	11	9	-25	-28	-29
Drainage (mm)	243	243	243	237	237	237	235	235	235	241	241	241	233	233	233
Concentratie NO3 (mg/l)	156	168	180	22	22	22	29	28	27	26	26	26	71	68	66

TABEL 38: MODELOUTPUT VOOR SINT-DENIJS, 1^E PROEFJAAR (IN KG N HA⁻¹ TENZIJ ANDERS VERMELD).

SINT-DENIJS INZAAI 12/08/2011	BR0	BR39	BR78	GM0	GM39	GM78	IRO	IR39	IR78	JH0	JH39	JH78	GK0	GK39	GK78
Depositie	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mineralisatie bodemorganische stof	42	42	42	40	39	38	43	42	42	41	39	38	41	39	39
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	35	36	36	65	89	114	54	68	82	77	101	128	71	106	130
Opbouw microbiële biomassa	6	6	6	21	26	27	14	17	19	27	43	50	17	26	30
Minerale fractie mest	0	38	76	0	38	76	0	38	76	0	38	76	0	38	76
Uitspoeling	61	84	106	10	10	10	11	10	10	12	12	12	21	16	17
Gasvormig verlies	1	3	6	1	2	4	0	2	3	1	2	4	1	2	4
Opname	0	0	0	82	130	181	102	150	199	75	115	155	88	160	200
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	37	41	43	19	22	23	56	57	59	41	44	47
Minerale N bij oogst	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Minerale N op 31 maart	59	72	84	41	47	55	19	18	19	53	55	70	35	28	44
Verschil minerale N	26	39	52	8	14	21	-14	-15	-15	20	23	36	3	-5	10
Balans model	26	39	52	8	14	23	-14	-15	-14	20	23	37	3	-5	11
Drainage (mm)	274	274	274	269	269	269	263	263	263	275	275	275	263	263	262
Concentratie NO3 (mg/l)	98	135	171	17	16	16	19	17	17	20	19	19	35	27	28

SINT-DENIJS INZAAI 30/08/2011	BR0	BR39	BR78	GM0	GM39	GM78	IRO	IR39	IR78	JH0	JH39	JH78	GK0	GK39	GK78
Depositie	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mineralisatie bodemorganische stof	42	42	42	39	38	38	43	42	42	41	41	40	42	41	40
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	35	36	36	87	120	156	52	65	77	77	102	117	58	87	99
Opbouw microbiële biomassa	6	6	6	31	39	42	11	14	15	21	27	29	12	19	22
Minerale fractie mest	0	38	76	0	38	76	0	38	76	0	38	76	0	38	76
Uitspoeling	61	84	106	10	10	10	13	11	11	13	13	22	35	27	39
Gasvormig verlies	1	3	6	1	3	6	1	2	4	1	4	6	1	3	5
Opname	0	0	0	83	129	174	98	147	194	72	111	132	54	122	144
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	62	65	69	17	20	21	58	60	61	41	42	44
Minerale N bij oogst	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Minerale N op 31 maart	59	72	84	50	65	86	20	19	19	60	75	92	46	44	53
Verschil minerale N	26	39	52	17	32	53	-12	-13	-14	27	42	58	14	11	19
Balans model	26	39	52	17	31	54	-12	-13	-13	27	42	60	13	11	21
Drainage (mm)	274	274	274	271	271	271	269	270	270	274	274	274	269	269	269
Concentratie NO3 (mg/l)	98	135	171	16	16	16	22	18	18	21	21	36	58	44	65

TABEL 39: MODELOUTPUT VOOR BOTTELARE, 1^E PROEFJAAR (IN KG N HA⁻¹ TENZIJ ANDERS VERMELD).

BOTTELARE INZAAI 10/08/2011	BR0	BR77	BR154	GM0	GM77	GM154	IR0	IR77	IR154	JH0	JH77	JH154	GK0	GK77	GK154
Depositie	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	-	-
Mineralisatie bodemorganische stof	81	81	81	78	78	78	83	83	83	82	82	82	-	-	-
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	55	75	94	165	217	270	90	123	155	75	99	121	-	-	-
Opbouw microbiële biomassa	23	24	25	73	76	79	37	39	41	29	30	32	-	-	-
Minerale fractie mest	0	15	30	0	15	30	0	15	30	0	15	30	-	-	-
Uitspoeling	149	174	197	24	25	25	32	30	30	26	27	31	-	-	-
Gasvormig verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
Opname	0	0	0	158	197	235	163	209	253	138	166	189	-	-	-
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	70	72	75	22	23	24	15	15	14	-	-	-
Minerale N bij oogst	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	-	-	-
Minerale N op 31 maart	39	49	58	65	88	113	18	18	19	40	48	56	-	-	-
Vershil minerale N	-20	-10	-1	6	30	54	-41	-40	-40	-19	-10	-2	-	-	-
Balans model	-20	-11	-1	5	28	55	-42	-41	-40	-19	-11	-3	-	-	-
Drainage (mm)	310	309	309	302	301	301	302	301	301	305	305	305	-	-	-
Concentratie NO3 (mg/l)	213	249	282	36	36	37	47	44	43	38	39	45	-	-	-

BOTTELARE INZAAI 29/08/2011	BR0	BR77	BR154	GM0	GM77	GM154	IR0	IR77	IR154	JH0	JH77	JH154	GK0	GK77	GK154
Depositie	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	-	-
Mineralisatie bodemorganische stof	64	64	64	61	61	61	65	65	65	65	65	64	-	-	-
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	49	69	88	164	221	269	78	109	138	56	76	96	-	-	-
Opbouw microbiële biomassa	21	22	23	63	75	77	31	33	35	23	24	25	-	-	-
Minerale fractie mest	0	15	30	0	15	30	0	15	30	0	15	30	-	-	-
Uitspoeling	152	175	198	20	19	20	41	37	39	101	121	143	-	-	-
Gasvormig verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
Opname	0	0	0	163	207	243	150	195	235	55	61	63	-	-	-
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	67	71	72	16	18	19	11	12	13	-	-	-
Minerale N bij oogst	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	-	-	-
Minerale N op 31 maart	36	46	56	76	90	115	18	19	20	36	46	55	-	-	-
Vershil minerale N	-43	-33	-23	-3	11	36	-61	-60	-59	-43	-33	-24	-	-	-
Balans model	-43	-33	-23	-4	12	35	-61	-60	-60	-43	-34	-24	-	-	-
Drainage (mm)	322	322	322	319	321	321	317	317	317	322	322	322	-	-	-
Concentratie NO3 (mg/l)	209	241	272	27	27	27	57	52	54	139	166	196	-	-	-

TABEL 40: MODELOUTPUT VOOR MERELBEKE, 2^E PROEFJAAR (IN KG N HA⁻¹ TENZIJ ANDERS VERMELD).

MERELBEKE INZAAI 01/08/2012	BR0	BR57	BR114	GM0	GM57	GM114	IR0	IR57	IR114	JH0	JH57	JH114	GK0	GK57	GK114
Depositie	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Mineralisatie bodemorganische stof	82	77	73	79	74	70	81	76	72	80	76	71	79	75	70
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	82	94	105	162	203	237	122	150	177	116	138	159	156	202	230
Opbouw microbiële biomassa	57	62	67	83	89	95	71	77	83	70	76	82	84	93	100
Minerale fractie mest	0	41	82	0	41	82	0	41	82	0	41	82	0	41	82
Uitspoeling	156	196	235	23	23	25	25	24	24	24	24	25	53	53	69
Gasvormig verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opname	0	0	0	176	239	292	184	242	299	150	198	245	172	230	257
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	45	46	45	21	23	24	22	22	22	43	47	49
Minerale N bij oogst	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Minerale N op 31 maart	44	47	49	50	59	69	16	16	17	44	48	53	19	33	48
Verschil minerale N	-31	-28	-25	-24	-15	-6	-58	-58	-58	-31	-26	-22	-55	-41	-26
Balans model	-31	-28	-24	-23	-15	-5	-59	-58	-58	-29	-26	-22	-56	-40	-26
Drainage (mm)	313	313	313	297	297	297	294	292	292	300	299	299	295	294	293
Concentratie NO3 (mg/l)	221	277	333	34	35	37	37	36	37	35	35	36	80	80	104

MERELBEKE INZAAI 30/08/2012	BR0	BR57	BR114	GM0	GM57	GM114	IR0	IR57	IR114	JH0	JH57	JH114	GK0	GK57	GK114
Depositie	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Mineralisatie bodemorganische stof	82	77	73	80	76	71	81	77	73	81	77	73	81	76	72
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	82	94	105	135	164	186	112	136	154	96	108	119	121	150	168
Opbouw microbiële biomassa	57	62	67	74	80	86	66	72	78	61	66	71	69	79	86
Minerale fractie mest	0	41	82	0	41	82	0	41	82	0	41	82	0	41	82
Uitspoeling	156	196	235	44	48	57	38	36	48	55	91	130	97	109	138
Gasvormig verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opname	0	0	0	142	190	228	164	221	258	110	113	114	97	138	153
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	37	37	36	18	19	19	12	12	12	40	41	41
Minerale N bij oogst	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Minerale N op 31 maart	44	47	49	47	54	61	17	17	18	44	48	51	31	35	39
Verschil minerale N	-31	-28	-25	-28	-20	-14	-58	-57	-57	-31	-27	-24	-43	-40	-36
Balans model	-31	-28	-24	-27	-20	-14	-57	-57	-57	-31	-26	-24	-43	-41	-37
Drainage (mm)	313	313	313	312	312	312	314	313	313	312	312	312	311	310	310
Concentratie NO3 (mg/l)	221	277	333	62	69	81	54	50	68	79	130	185	138	155	197

TABEL 41: MODELOUTPUT VOOR RUKKELINGEN-LOON, 2^Z PROEFJAAR (IN KG N HA⁻¹ TENZIJ ANDERS VERMELD).

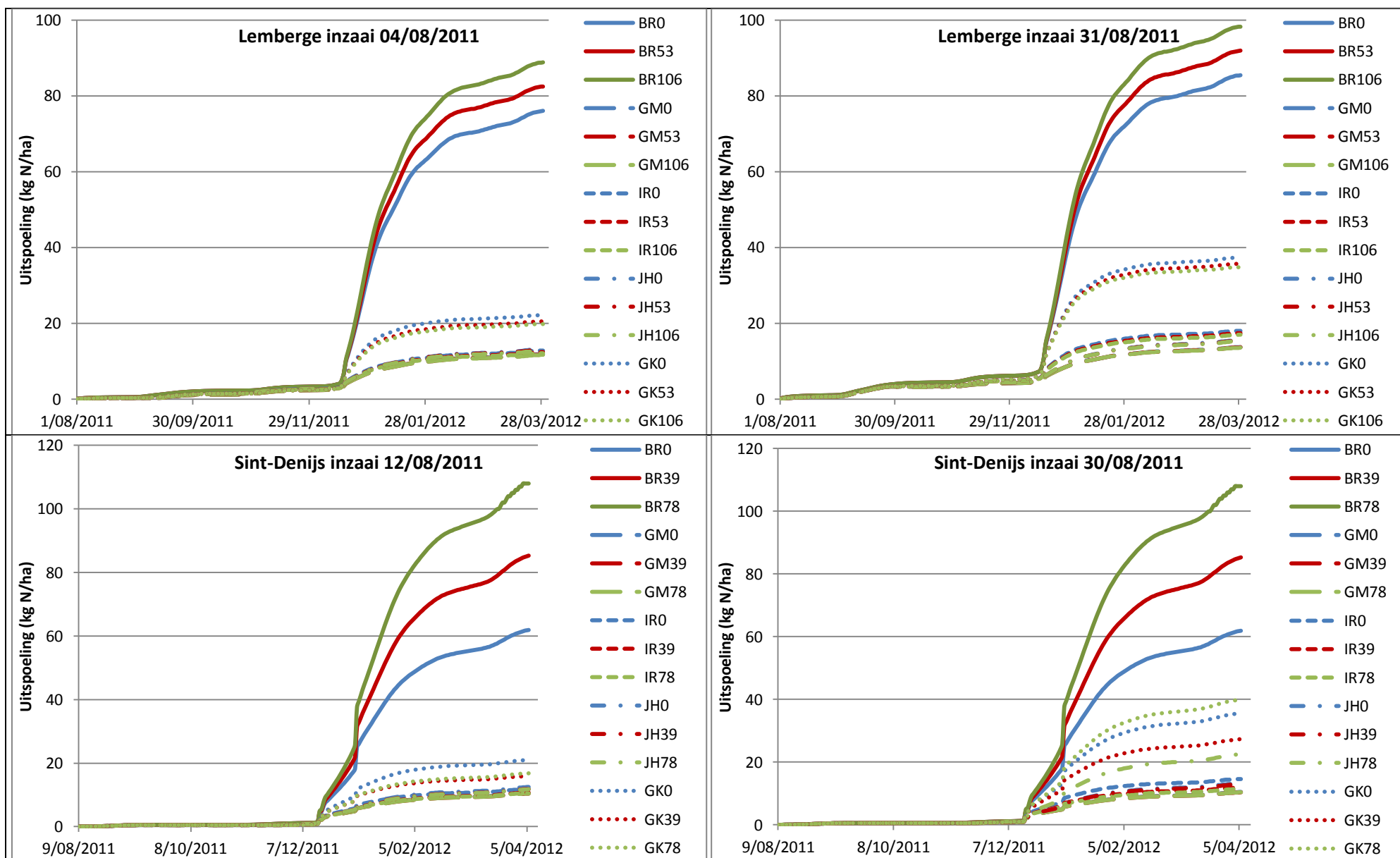
RUKKELINGEN-LOON INZAAI 21/08/2012	BR0	BR65	BR131	GM0	GM65	GM131	IR0	IR65	IR131	JH0	JH65	JH131	GK0	GK65	GK131
Depositie	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Mineralisatie bodemorganische stof	58	59	58	54	53	53	57	57	56	55	55	55	56	56	56
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	35	47	59	97	142	185	69	107	139	87	107	121	49	72	91
Opbouw microbiële biomassa	67	67	68	87	92	94	73	77	79	81	83	84	70	73	75
Minerale fractie mest	0	32	63	0	32	63	0	32	63	0	32	63	0	32	63
Uitspoeling	59	70	80	8	8	9	23	18	22	13	28	46	51	58	68
Gasvormig verlies	0	1	3	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Opname	0	0	0	90	131	168	72	122	158	79	89	91	23	41	51
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	69	73	75	48	49	51	66	68	69	62	62	63
Minerale N bij oogst	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Minerale N op 31 maart	59	91	122	59	87	119	50	69	89	62	85	109	54	79	106
Vershil minerale N	-21	10	41	-22	7	38	-31	-12	9	-19	4	28	-27	-2	25
Balans model	-21	10	42	-22	6	40	-31	-11	9	-19	4	29	-27	-2	26
Drainage (mm)	220	219	219	211	211	211	214	213	213	214	213	213	211	211	211
Concentratie NO3 (mg/l)	120	140	161	16	16	19	48	38	45	27	59	94	107	123	143

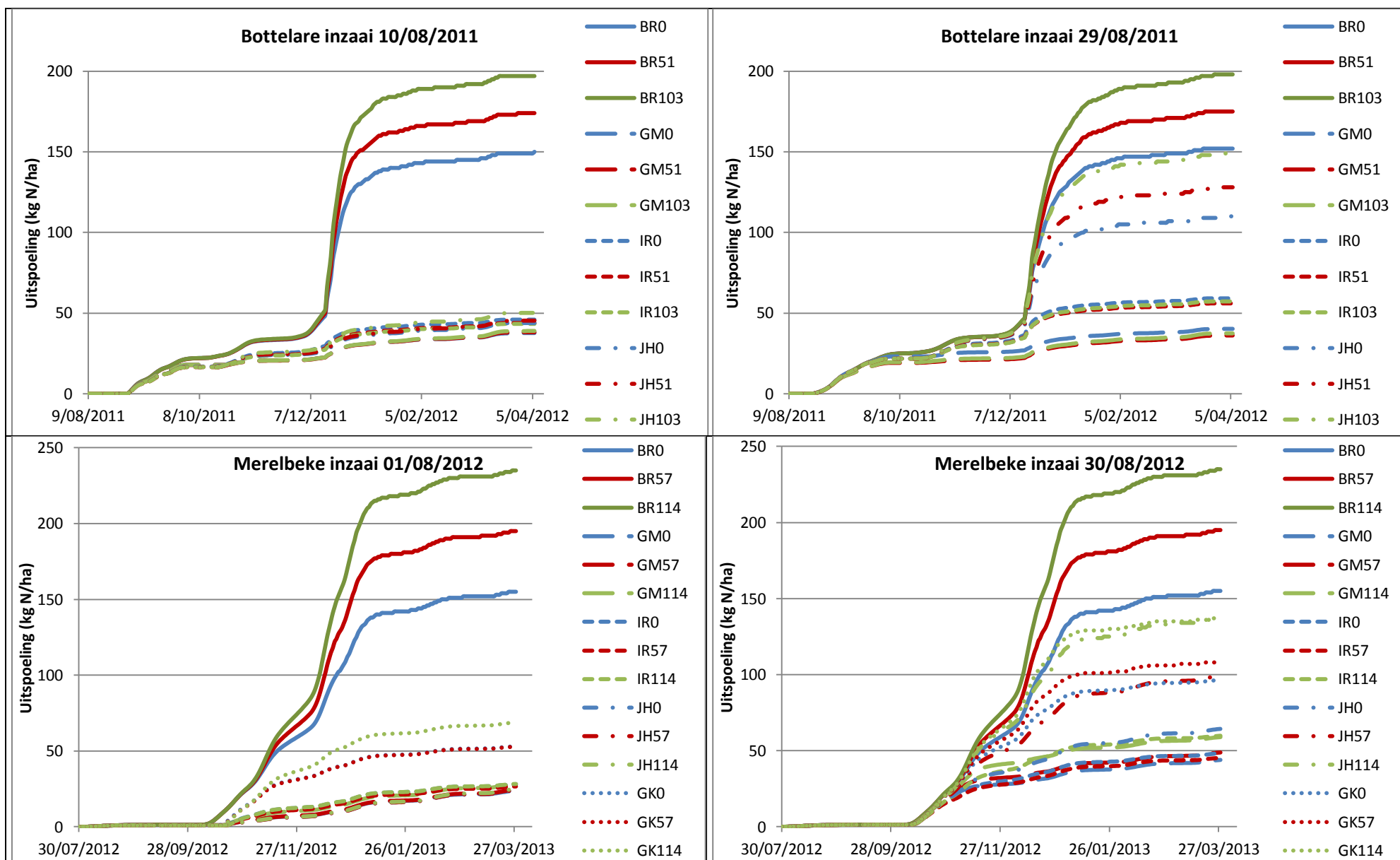
RUKKELINGEN-LOON INZAAI 05/09/2012	BR0	BR65	BR131	GM0	GM65	GM131	IR0	IR65	IR131	JH0	JH65	JH131	GK0	GK65	GK131
Depositie	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Mineralisatie bodemorganische stof	58	59	58	55	55	55	57	57	57	56	57	56	57	57	57
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	35	47	59	89	123	138	54	85	109	59	73	86	42	58	72
Opbouw microbiële biomassa	67	67	68	79	83	84	70	73	75	73	74	75	68	70	71
Minerale fractie mest	0	32	63	0	32	63	0	32	63	0	32	63	0	32	63
Uitspoeling	59	70	80	12	18	35	41	41	47	40	56	70	57	68	79
Gasvormig verlies	0	1	3	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Opname	0	0	0	81	109	112	40	78	101	37	39	39	11	18	20
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	67	70	71	48	49	50	64	66	68	60	62	65
Minerale N bij oogst	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Minerale N op 31 maart	59	91	122	64	91	115	52	73	96	57	82	110	54	82	112
Vershil minerale N	-21	10	41	-17	10	34	-29	-8	15	-24	2	29	-27	2	31
Balans model	-21	10	42	-17	10	35	-29	-7	15	-24	2	30	-27	2	31
Drainage (mm)	220	219	219	219	219	219	222	222	222	219	219	219	221	221	221
Concentratie NO3 (mg/l)	120	140	161	25	37	71	82	81	94	81	113	142	115	136	158

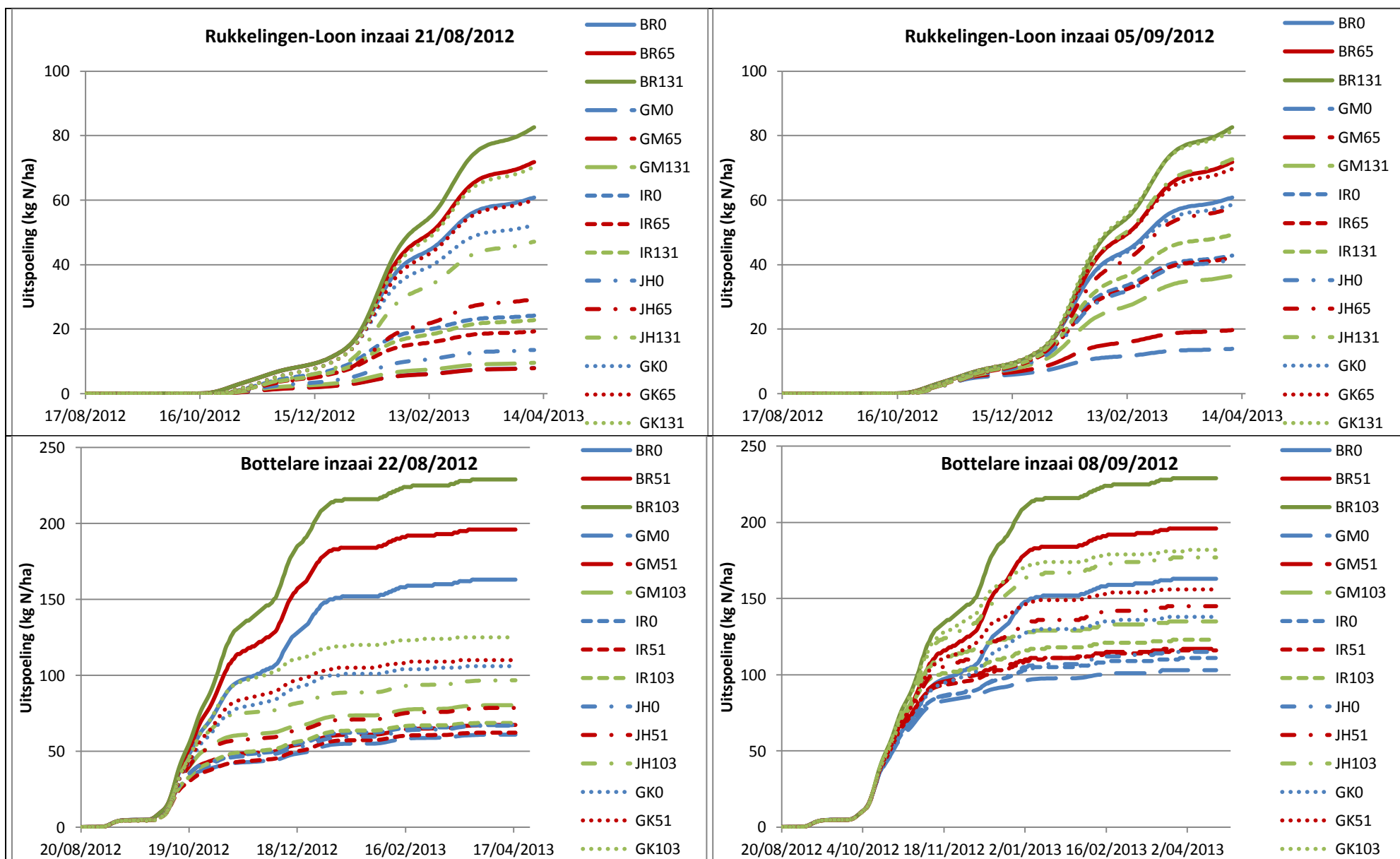
TABEL 42: MODELOUTPUT VOOR BOTTELARE, 2^E PROEFJAAR (IN KG N HA⁻¹ TENZIJ ANDERS VERMELD).

BOTTELARE INZAAI 22/08/2012	BR0	BR51	BR103	GM0	GM51	GM103	IR0	IR51	IR103	JH0	JH51	JH103	GK0	GK51	GK103
Depositie	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mineralisatie bodemorganische stof	82	83	83	80	80	80	83	83	83	81	82	81	82	82	82
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	55	59	64	140	175	203	83	101	115	121	144	163	95	121	140
Opbouw microbiële biomassa	23	23	24	70	73	75	33	35	36	54	59	61	38	44	47
Minerale fractie mest	0	33	66	0	33	66	0	33	66	0	33	66	0	33	66
Uitspoeling	163	196	229	61	67	80	61	56	61	64	73	87	106	110	125
Gasvormig verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opname	0	0	0	133	174	204	146	199	241	116	145	167	104	148	173
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	64	66	68	19	21	21	57	58	59	39	42	44
Minerale N bij oogst	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Minerale N op 31 maart	43	47	51	47	65	81	17	17	17	59	73	87	21	25	33
Verschil minerale N	-32	-28	-24	-28	-10	6	-59	-58	-58	-16	-2	12	-54	-50	-42
Balans model	-32	-28	-24	-27	-10	6	-58	-58	-59	-15	-2	11	-55	-50	-41
Drainage (mm)	414	414	414	411	410	410	413	412	412	410	409	409	409	408	408
Concentratie NO3 (mg/l)	174	210	245	66	72	86	65	60	65	69	79	94	115	119	135

BOTTELARE INZAAI 08/09/2012	BR0	BR51	BR103	GM0	GM51	GM103	IR0	IR51	IR103	JH0	JH51	JH103	GK0	GK51	GK103
Depositie	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mineralisatie bodemorganische stof	82	83	83	81	81	81	82	83	83	82	82	82	82	82	82
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	55	59	64	100	122	143	68	80	92	87	93	99	72	87	98
Opbouw microbiële biomassa	23	23	24	54	60	63	28	30	32	35	36	37	29	33	35
Minerale fractie mest	0	33	66	0	33	66	0	33	66	0	33	66	0	33	66
Uitspoeling	163	196	229	103	117	135	109	114	120	115	145	177	138	156	181
Gasvormig verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opname	0	0	0	79	105	127	87	126	163	58	62	63	47	74	87
Percentage N vrijgesteld (%)	0	0	0	57	60	62	15	17	17	55	55	56	38	38	38
Minerale N bij oogst	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Minerale N op 31 maart	43	47	51	36	45	56	17	17	17	52	57	62	32	31	33
Verschil minerale N	-32	-28	-24	-39	-30	-19	-58	-58	-58	-23	-18	-13	-43	-44	-42
Balans model	-32	-28	-24	-39	-30	-19	-58	-58	-59	-23	-18	-13	-43	-44	-41
Drainage (mm)	414	414	414	415	415	415	418	418	418	414	414	414	415	415	415
Concentratie NO3 (mg/l)	174	210	245	110	125	144	116	121	128	123	155	189	147	166	193

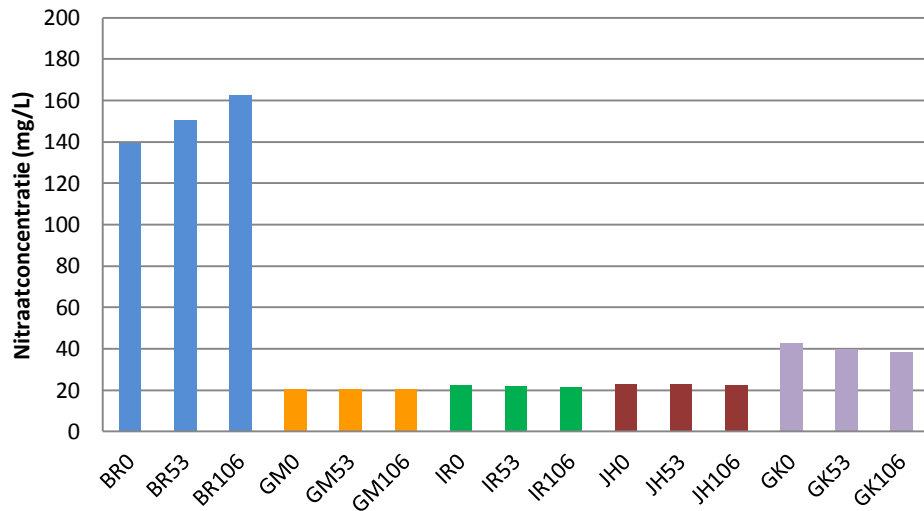




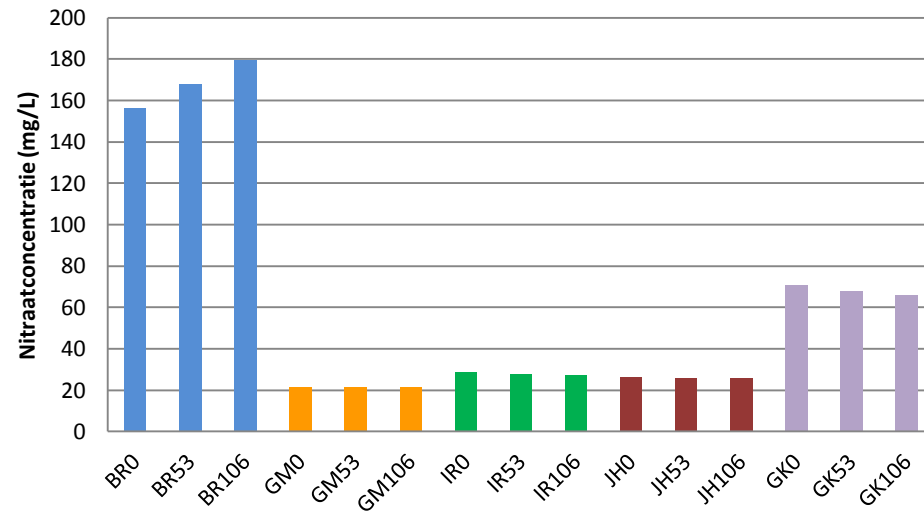


FIGUUR 43: VERLOOP VAN DE GESIMULEERDE NITRAATUITSPOELING VOOR DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN OP 6 PROEFPERCELEN.

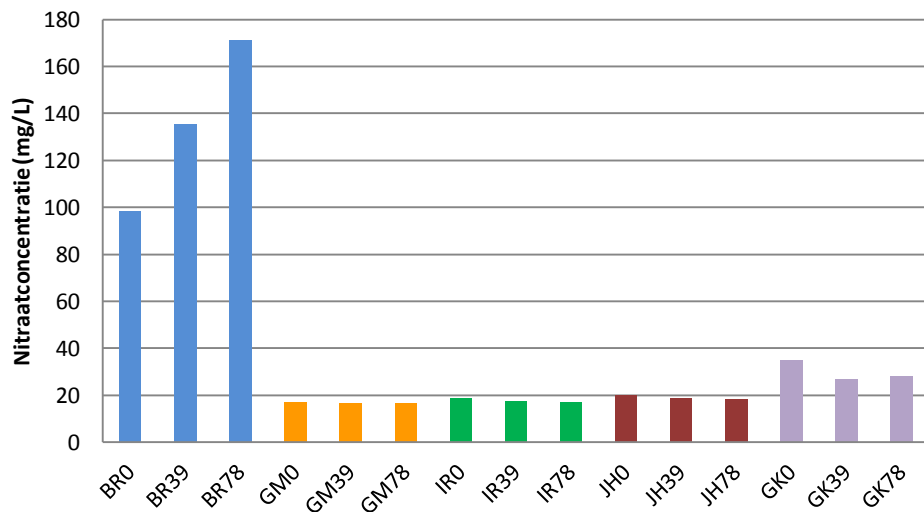
Lemberge inzaai 04/08/2011



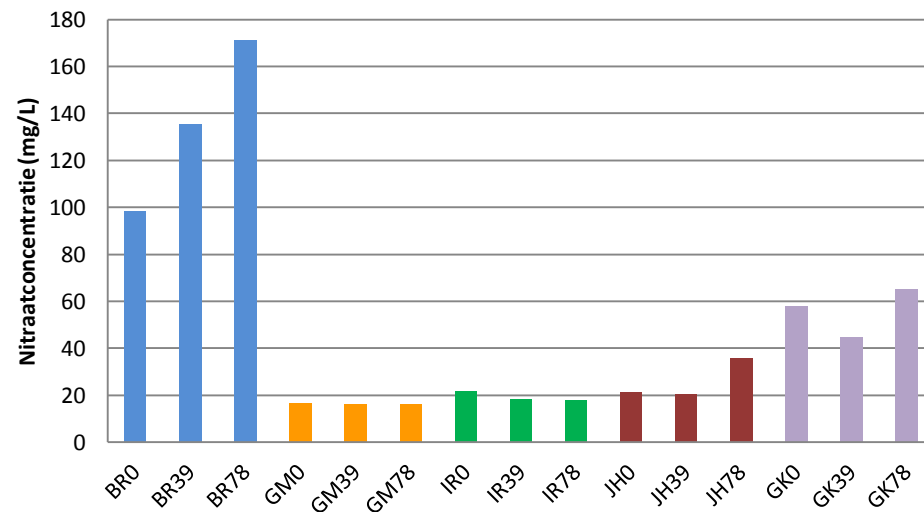
Lemberge inzaai 31/08/2011



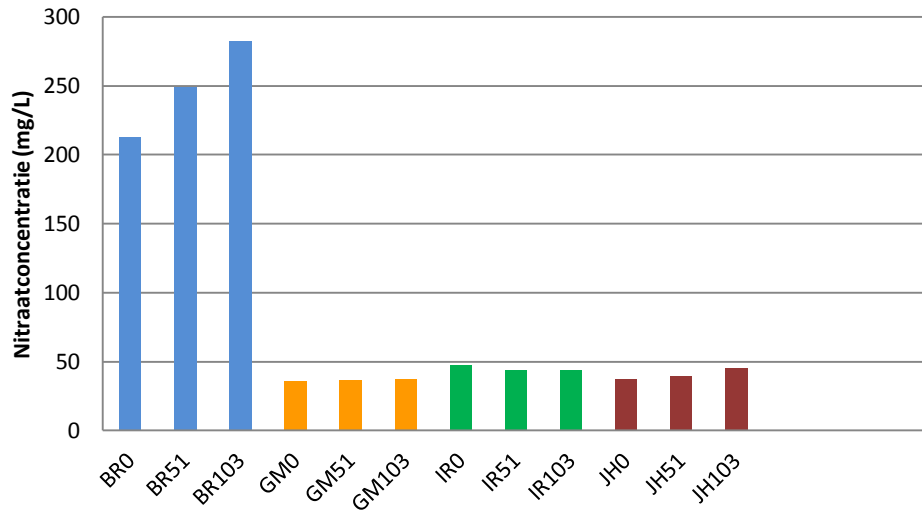
Sint-Denijs inzaai 12/08/2011



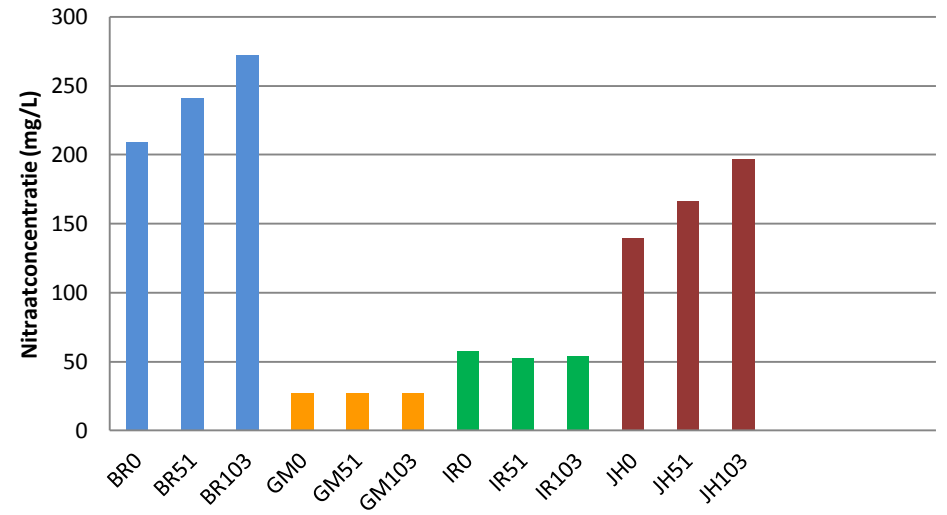
Sint-Denijs concentratie 30/08/2011



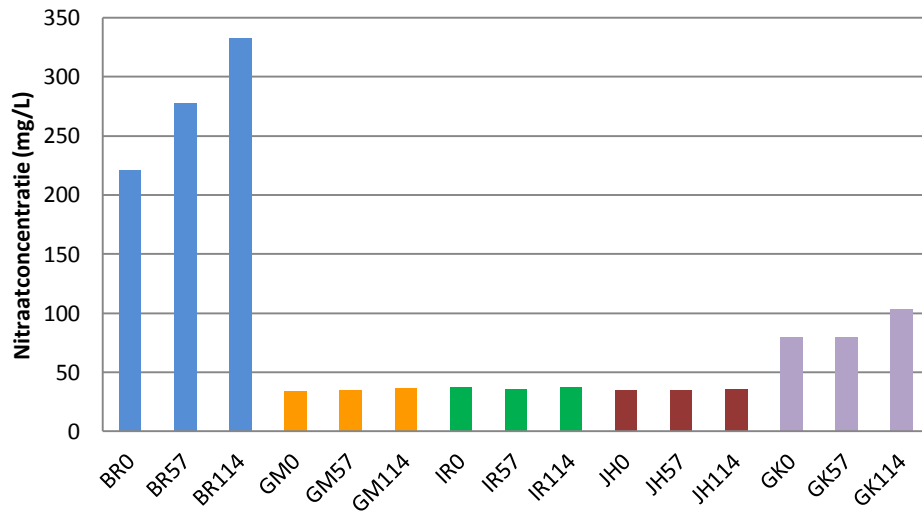
Bottelare inzaai 10/08/2011



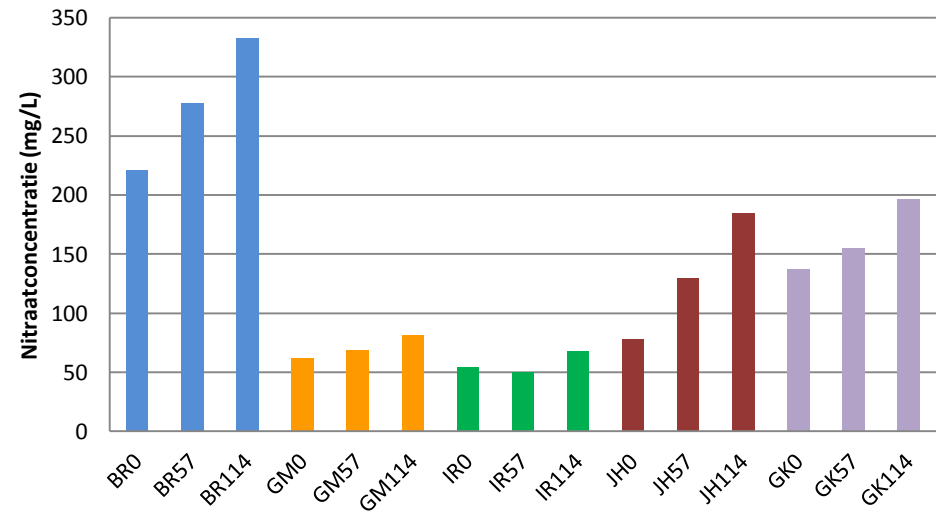
Bottelare inzaai 29/08/2011

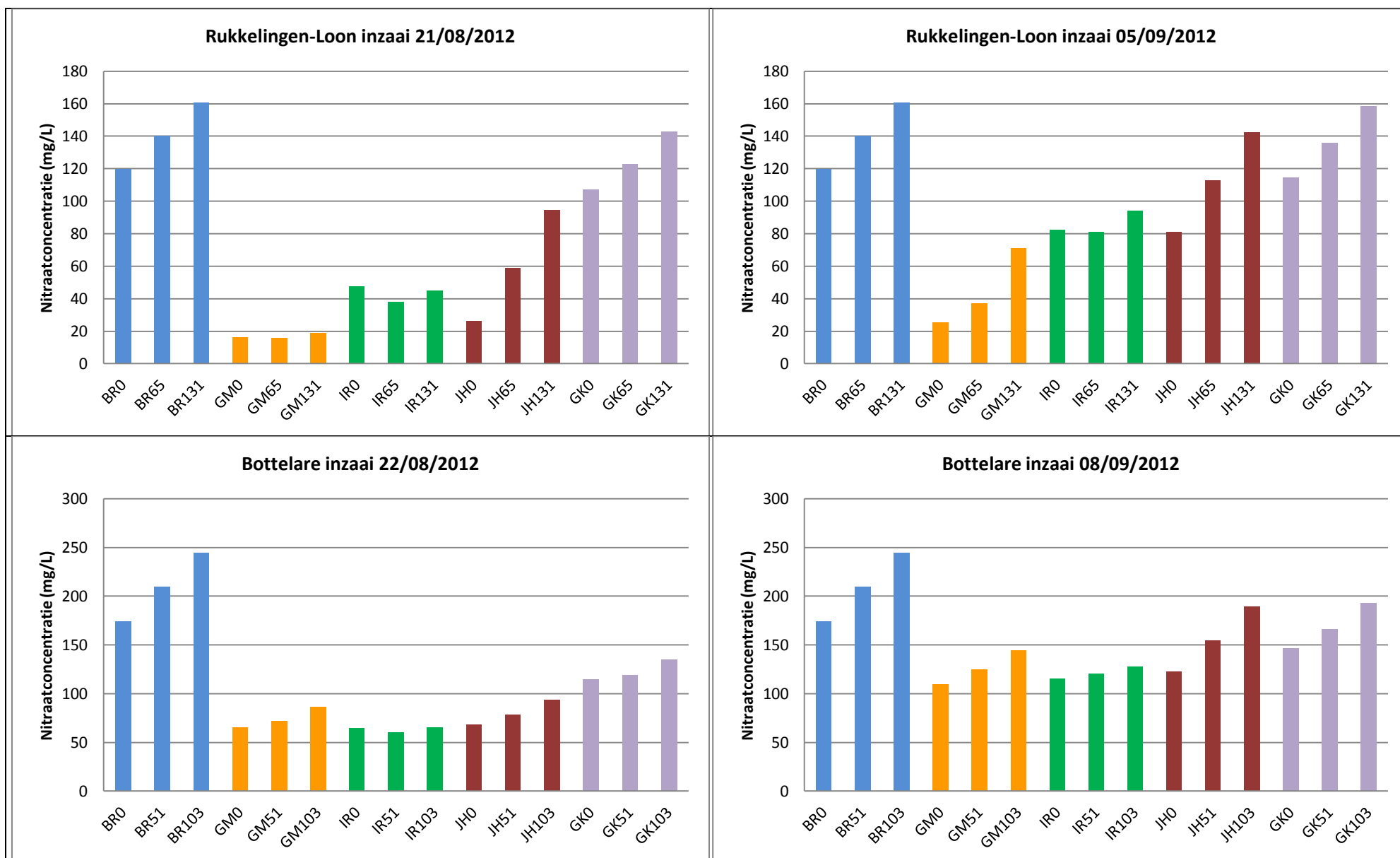


Merelbeke inzaai 01/08/2012



Merelbeke inzaai 30/08/2012





FIGUUR 44: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELTE NITRAATCONCENTRATIES VOOR DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN OP 6 PROEFPERCELEN.

4.8 SCENARIOANALYSES

4.8.1 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 (zie Tabel 35 en Tabel 36). 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.

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 (Tabel 43).

TABEL 43: GEMIDDELDE TEMPERATUUR EN TOTALE NEERSLAG TIJDENS NAJAAR EN WINTER VOOR DE VERSCHILLENDE SIMULATIEPERIODES EN ONDER KLIMATOLOGISCH GEMIDDELDE OMSTANDIGHEDEN.

	<i>augustus</i>		<i>september-november</i>		<i>december-maart</i>	
<i>jaar</i>	<i>temp. (°C)</i>	<i>neerslag (mm)</i>	<i>temp. (°C)</i>	<i>neerslag (mm)</i>	<i>temp. (°C)</i>	<i>neerslag (mm)</i>
1972-73	16,6	56	9,7	141	4,4	128
1974-75	17,6	80	9,3	415	5,9	318
1978-79	15,7	32	10,6	99	2,1	353
1984-85	18,6	31	11,5	381	1,3	200
1987-88	17,1	81	10,9	226	5,0	372
1993-94	15,7	40	8,6	252	5,1	394
1998-99	17,0	68	9,4	352	5,1	354
2001-02	19,2	45	11,2	366	5,5	374
2006-07	16,8	202	13,9	137	6,8	325
2009-10	19,3	34	12,1	226	3,0	251
klimaat	18,0	79	10,9	220	4,4	290

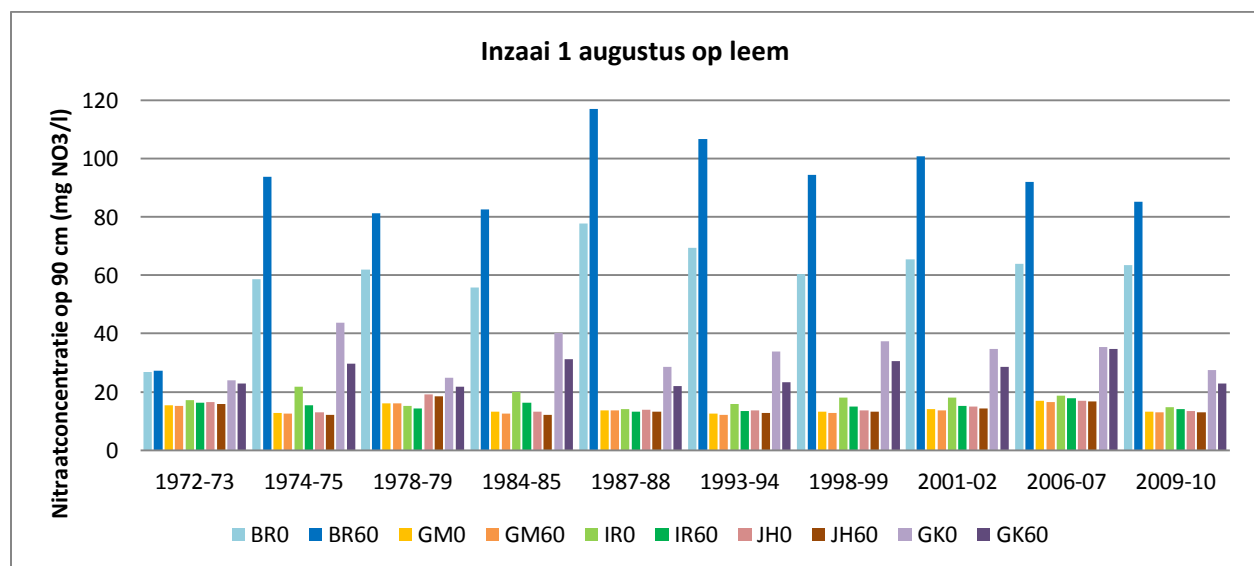
Bij deze meerjarige scenarioanalyses werden alle behandelingen met uitzondering van de 120N-bemestingstrap meegenomen. Voor het grasklavermengsel werd geen N-fixatie gesimuleerd. De inzaai van de vanguarden werd steeds gesimuleerd op 1 en op 31 augustus. Het N_{\min} -gehalte op 31 juli was zoals gemeten 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.

Als meest cruciale modeloutput wordt de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm weergegeven voor de 10 jaren, aangezien verschillen in de gasvormige N-verliezen tussen bemeste en niet-bemeste behandelingen telkens kleiner waren dan 7 kg N ha⁻¹ en zeker deels te wijten waren aan ammoniakale vervluchtiging kort na toedienen van de drijfmest. Op leem (Figuur 45 en Figuur 46) is op de braakbehandelingen een grote variabiliteit tussen de verschillende jaren waar te nemen. In 1972-73, een koud en droog jaar over de volledige gesimuleerde

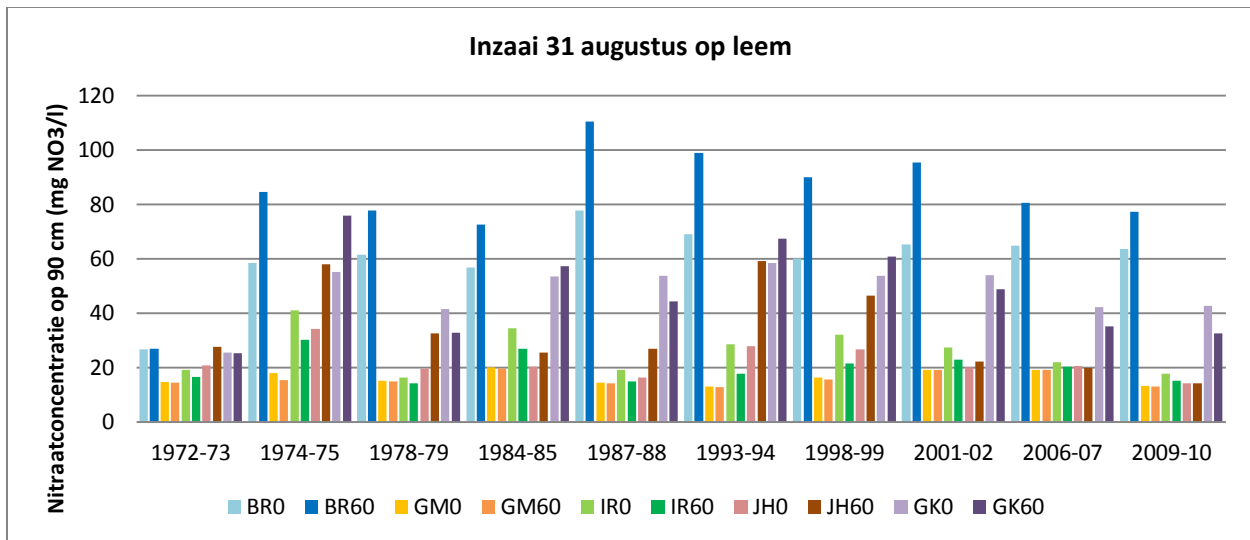
periode, was de nitraatconcentratie het laagst en was er een heel beperkte toename van de concentratie bij bemesting. In 1987-88, een relatief normaal jaar met een natte winter, was de nitraatconcentratie het hoogst en was er een grote toename van de concentratie bij bemesting. Het inwerktijdstip van stoppel en mest had ook een beperkt effect op de uitspoeling: het verschil tussen de bemeste en niet-bemeste braakbehandelingen was telkens iets kleiner bij inwerken eind augustus, wat toegeschreven kan worden aan een lagere mineralisatie van de organische fractie van de mest.

Onder vroeg ingezaaide veggewassen stellen we vast dat er t.o.v. de braakbehandeling telkens een afname is van de nitraatconcentratie. De concentraties onder het grasklavermengsel liggen steeds duidelijk hoger dan onder de andere veggewassen. Bij bemesting daalt de nitraatconcentratie in bepaalde jaren, met name onder het grasklavermengsel en het Italiaans raaigras, maar blijft zij meestal gelijk onder gele mosterd en Japanse haver. De daling onder winterharde veggewassen is een effect van een betere wortelontwikkeling bij bemesting in het najaar, hetgeen ook tijdens de winter en in het voorjaar resulteert in een grotere opname.

Onder laat ingezaaide veggewassen is er voor de meeste veggewassen telkens een toename van de nitraatconcentratie waar te nemen t.o.v. de eerste zaai. Deze toename is voor alle jaren relatief beperkt onder gele mosterd en Italiaans raaigras, maar is in sommige jaren groot onder Japanse haver en het grasklavermengsel. Uit Tabel 43 blijkt dat het vooral gaat om jaren met koude en natte weersomstandigheden tijdens de herfst. Het effect van de bemesting op de nitraatconcentratie blijft ook bij late zaai nagenoeg verwaarloosbaar onder gele mosterd en er is nog steeds sprake van een afname van de nitraatconcentratie bij bemesting onder Italiaans raaigras. Voor Japanse haver is er bij bemesting steeds een duidelijke toename van de nitraatconcentratie, met uitzondering van de laatste 3 jaren, waarvoor de gemiddelde temperatuur in het najaar steeds relatief hoog lag. De temperatuur is voor Japanse haver dus een limiterende factor bij late zaai. Onder het grasklavermengsel is er bij late zaai in bepaalde jaren een afname en in andere jaren een toename in de nitraatconcentratie waar te nemen bij bemesting. Een toename blijkt enkel voor te komen wanneer het najaar zowel koud als nat is. Wellicht is de wortelontwikkeling van het grasklavermengsel in die omstandigheden te traag om de neerwaartse migratie van de N vrijgesteld uit de mest te volgen.

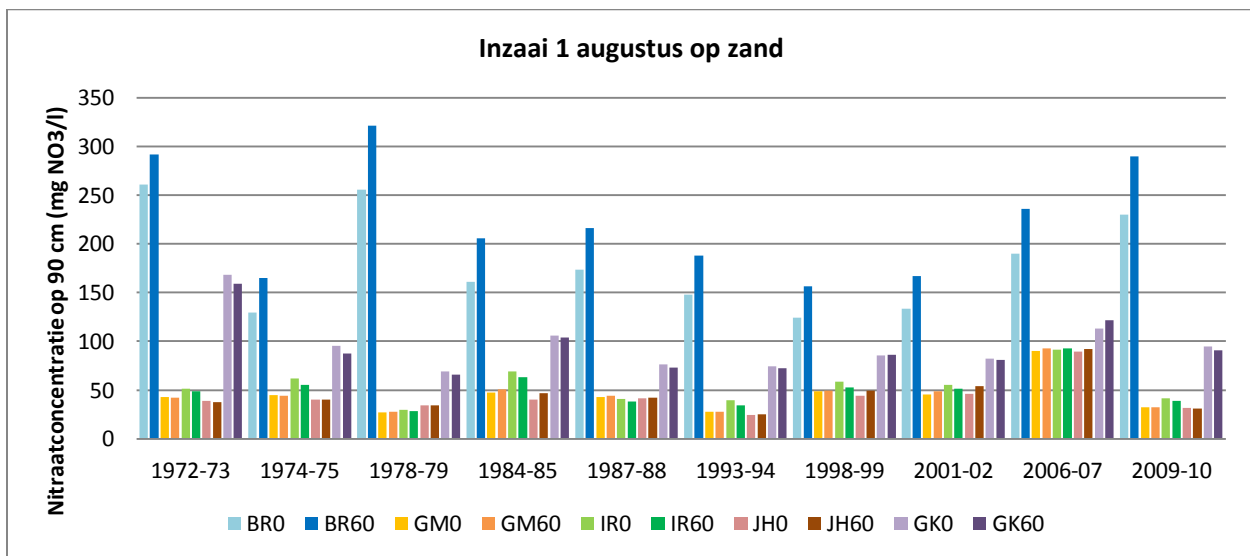


FIGUUR 45: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELTE NITRAATCONCENTRATIE OP EEN DIEPTE VAN 90 CM OP EEN LEEBODEM BIJ BEMESTING EN INZAAI OP 1 AUGUSTUS.

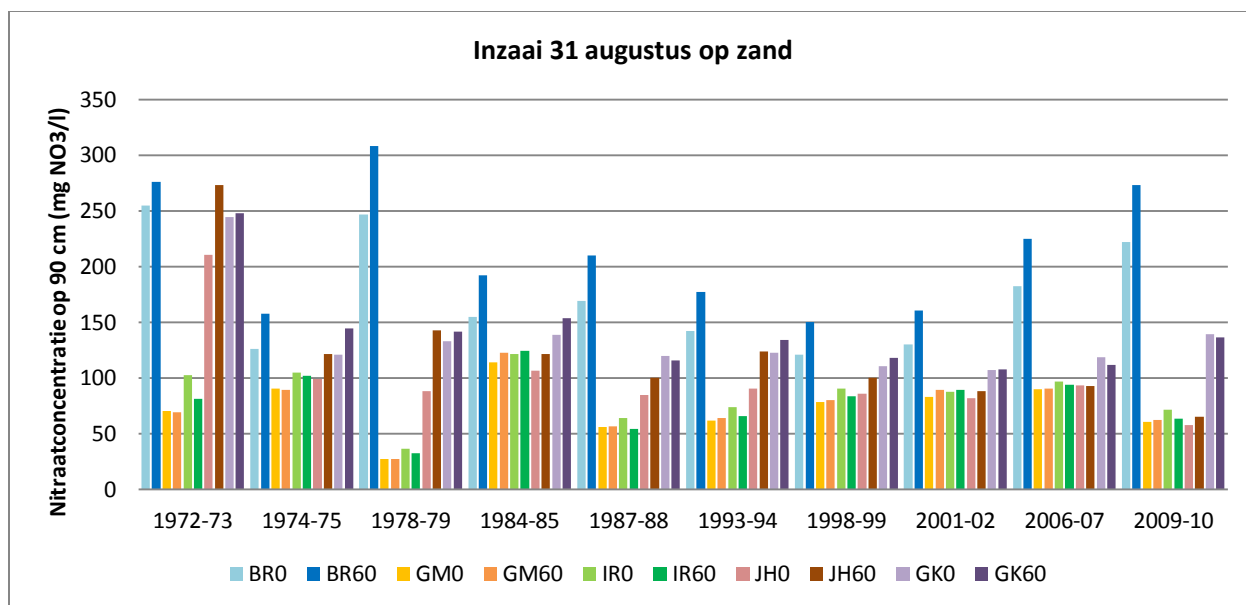


FIGUUR 46: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELDE NITRAATCONCENTRATIE OP EEN DIEPTE VAN 90 CM OP EEN LEEBODEM BIJ BEMESTING EN INZAAI OP 31 AUGUSTUS.

Voor de simulaties op een zandbodem liggen de nitraatconcentraties algemeen veel hoger dan op leem (Figuur 47 en Figuur 48). De variabiliteit over de verschillende jaren ligt ook anders, niet enkel omwille van het textuureffect, maar ook aangezien het initieel N_{\min} -gehalte een stuk hoger lag. Op de braakbehandeling kunnen door de lage hoeveelheid drainagewater in droge jaren (zoals 1972-73) dan ook zeer hoge nitraatconcentraties aangetroffen worden. In alle jaren is er een toename van de nitraatconcentratie bij bemesting en net als op leem is het verschil tussen de bemeste en niet-bemeste braakbehandelingen telkens iets kleiner wanneer het inwerken van de stoppel en de mest eind augustus plaatsvindt.



FIGUUR 47: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELDE NITRAATCONCENTRATIE OP EEN DIEPTE VAN 90 CM OP EEN ZANDBODEM BIJ BEMESTING EN INZAAI OP 1 AUGUSTUS.



FIGUUR 48: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELTE NITRAATCONCENTRATIE OP EEN DIEPTE VAN 90 CM OP EEN ZANDBODEM BIJ BEMESTING EN INZAAI OP 31 AUGUSTUS.

Onder vanggewassen ingezaaid op zand kunnen we vergelijkbare vaststellingen doen als onder vanggewassen ingezaaid op leem. Het effect van het zaaitijdstip is echter meer uitgesproken op zand dan op leem en ook onder gele mosterd en Italiaans raaigras neemt de nitraatconcentratie toe bij late zaai. Enkel in 2006-07 is er nagenoeg geen verschil tussen beide zaaitijdstippen omwille van een erg natte maand augustus (Tabel 43), waardoor op de zanderige textuur voor het 1^e zaaitijdstip al een deel van N_{\min} neerwaarts migreerde, dat niet meer opgenomen kon worden door de vanggewassen.

Algemeen kunnen we uit deze meerjarige scenarioanalyses besluiten dat zowel op zand als op leem bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen in de nitraatconcentraties worden vastgesteld tussen alle bemeste en niet-bemeste vanggewassen. Bij late zaai wordt 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.

4.8.2 INVLOED VAN HET N_{\min} -GEHALTE BIJ OOGST

Het N_{\min} -gehalte bij de oogst van het wintergraan is bepalend voor de mate waarin de toegediende bemesting door vanggewassen wordt opgenomen. Bij een laag initieel N_{\min} -gehalte is het mogelijk dat het vanggewas zich niet goed kan ontwikkelen en dan kan een bemesting op de stoppel noodzakelijk zijn. Bij een hoog initieel N_{\min} -gehalte is een bemesting op de stoppel wellicht eerder overbodig en zal deze zeker bij late zaai niet volledig opgenomen kunnen worden door het vanggewas.

In bovenstaande simulaties (deel 4.8.1) werd telkens uitgegaan van het N_{\min} -gehalte bij oogst zoals dat werd gemeten op beide proefpercelen (33 en 75 kg N ha⁻¹ tot een diepte van 90 cm voor respectievelijk Sint-Denijs en Merelbeke). Over alle 9 locaties en 2 proefjaren heen bedroeg het gemiddelde N_{\min} -gehalte bij oogst 59 kg N ha⁻¹ (standaard afwijking 19 kg N ha⁻¹), als volgt verdeeld over 3 bodemlagen van 30 cm: 28 – 19 – 12 kg N ha⁻¹ (Tabel 44). Dit is iets hoger dan wat D’Haene et al. (2014) vonden op proefpercelen verspreid in Vlaanderen (2008-2011) na de oogst van wintertarwe. Zij kwamen tot een gemiddeld N_{\min} -gehalte (0-90 cm) van 33 kg N ha⁻¹ (st. afw. 19 kg

N ha^{-1}) voor percelen met niet-zandige bodemtextuur en 32 kg N ha^{-1} (st. afw. 21 kg N ha^{-1}) voor percelen met zandige bodemtextuur.

TABEL 44: N_{MIN} -GEHALTE (KG N HA^{-1}) IN HET BODEMPROFIEL BIJ OOGST OP DE VERSCHILLENDE PROEFPERCELEN.

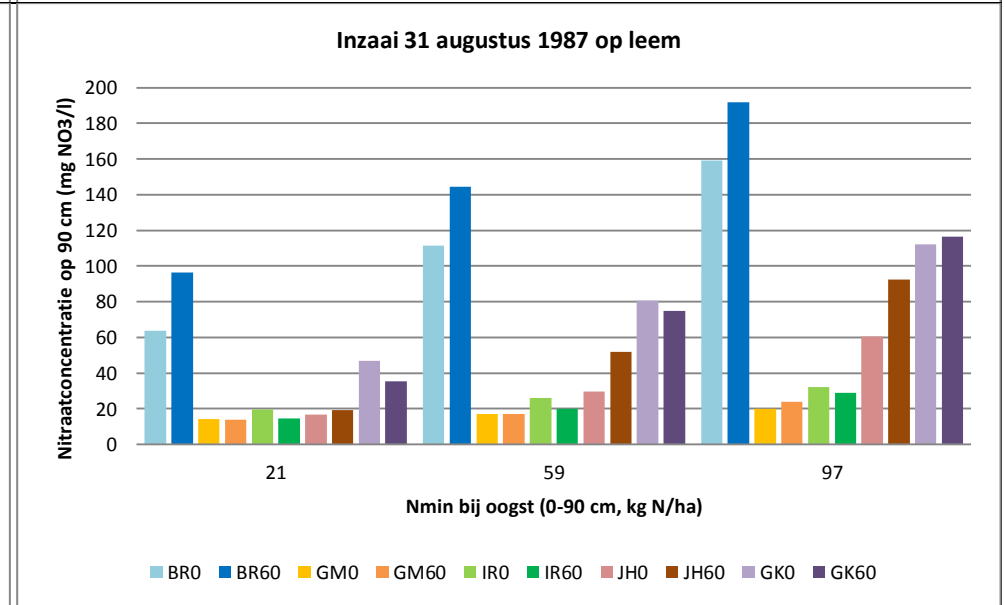
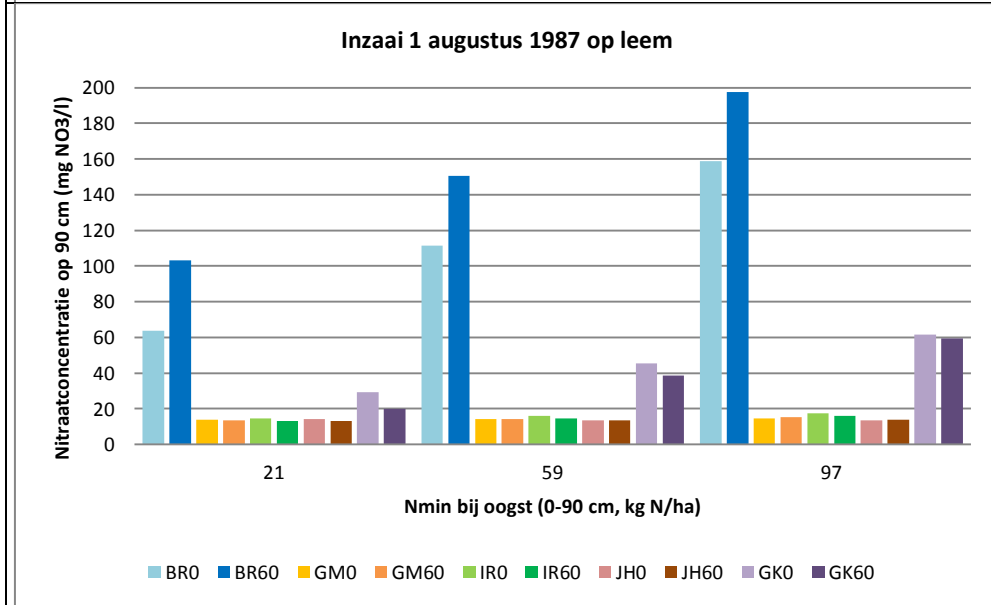
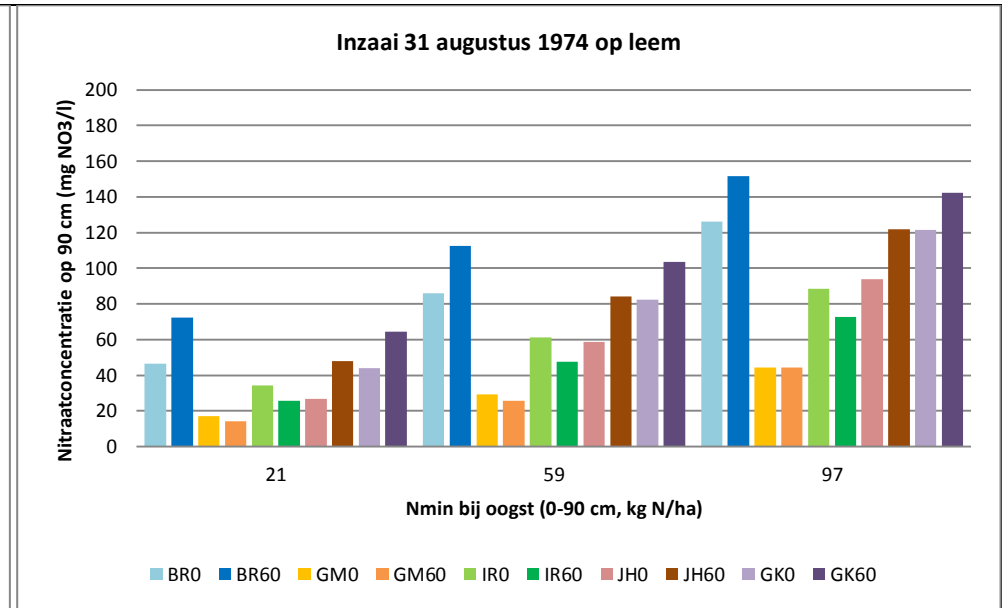
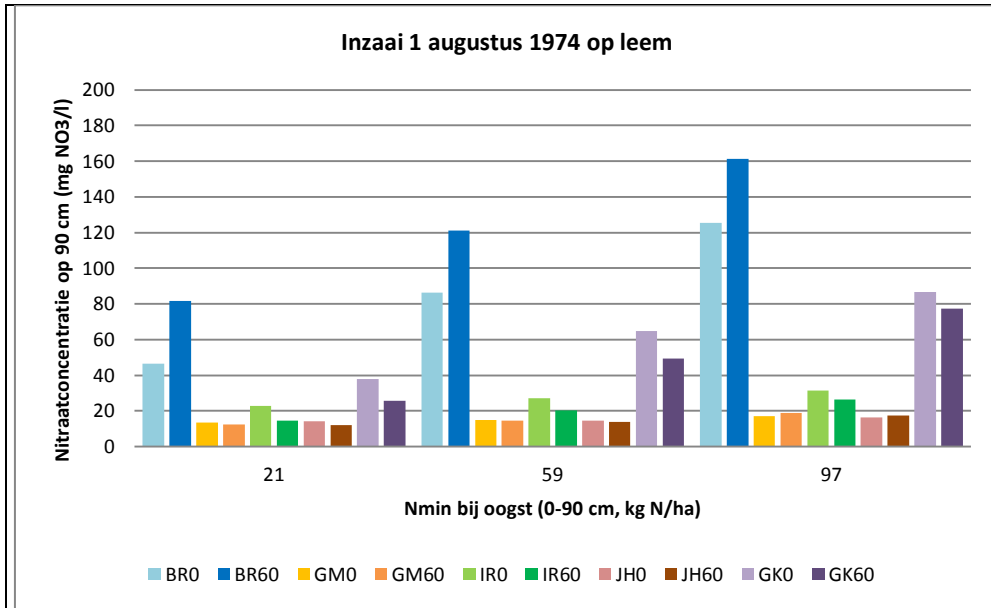
	<i>Zand</i>			<i>Zandleem</i>		<i>Leem</i>			<i>Klei</i>	<i>Gemiddelde ± standaard afwijking</i>
	<i>BOT Z1</i>	<i>BOT</i>	<i>MER</i>	<i>BOT Z2</i>	<i>LEM</i>	<i>STD</i>	<i>RUK</i>	<i>RUK</i>	<i>OOS</i>	
	<i>2011-12</i>	<i>2012-13</i>	<i>2012-13</i>	<i>2011-12</i>	<i>2011-12</i>	<i>2011-12</i>	<i>2011-12</i>	<i>2012-13</i>	<i>2012-13</i>	
0-30 cm	21	37	32	27	24	20	27	43	20	28 ± 8
30-60 cm	23	24	24	33	12	8	9	24	12	19 ± 9
60-90 cm	15	14	18	20	6	5	6	14	8	12 ± 6
0-90 cm	59	75	75	79	42	33	42	81	40	59 ± 19

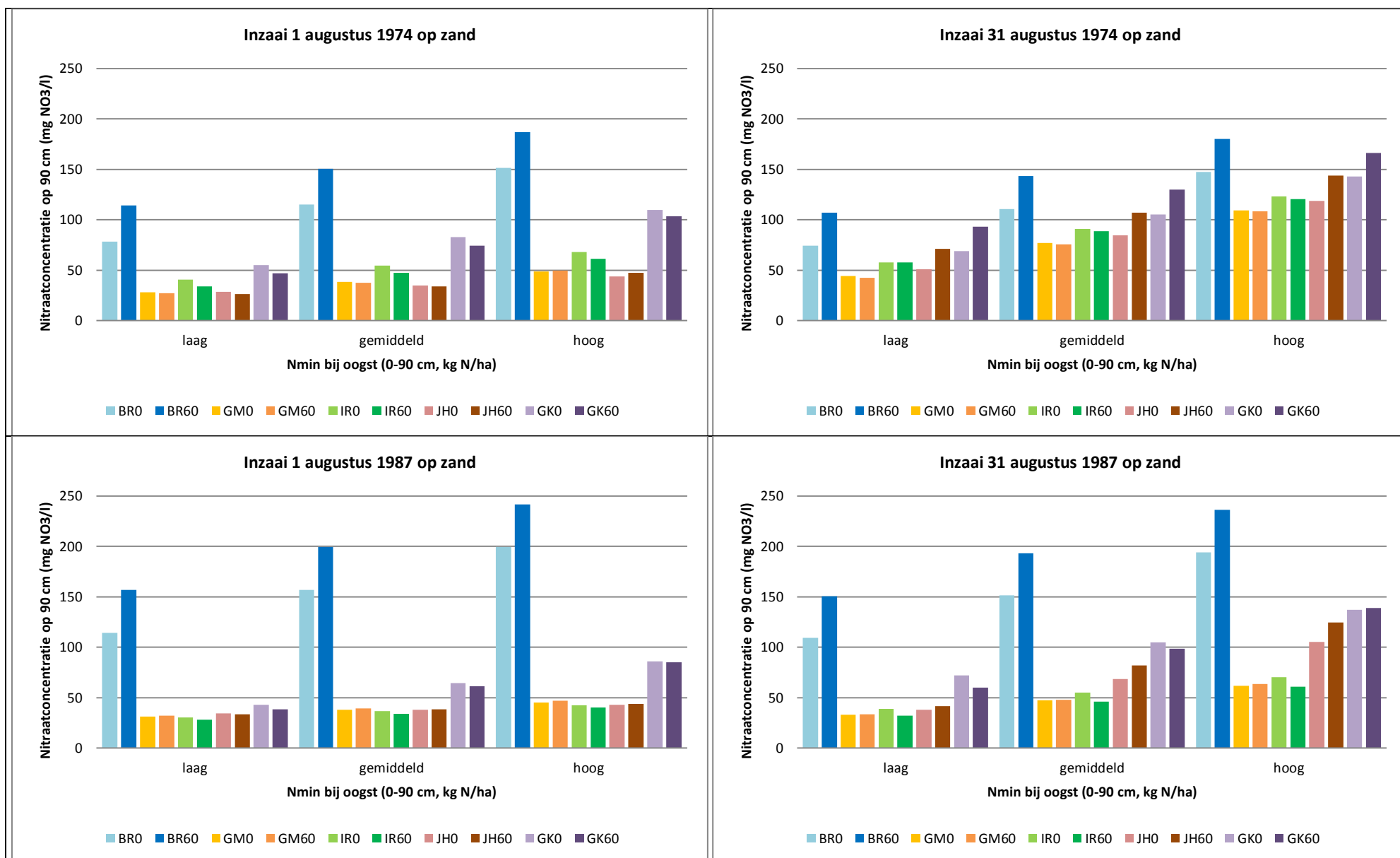
Op basis van de weersgegevens voor de herfst en de resultaten van de modeloutput voor de meerjarige scenario-analyses werden voor leem en zand een worst-case scenario (1974-75) en een relatief normaal scenario (1987-1988) geselecteerd. Om de invloed van het N_{min} -gehalte bij oogst op de gewogen gemiddelde nitraatconcentraties na te gaan, werden telkens 3 simulaties uitgevoerd waarbij het N_{min} -gehalte bij oogst laag, gemiddeld en hoog was, waarbij tweemaal de standaardafwijking werd genomen tussen de extremen en het gemiddelde (Tabel 45). In elk van de 3 scenario's werd de gemiddelde procentuele verdeling over de 3 bodemlagen aangehouden.

TABEL 45: N_{MIN} -GEHALTE (KG N HA^{-1}) IN HET BODEMPROFIEL BIJ OOGST VOOR 3 SCENARIO'S.

	<i>laag</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>hoog</i>
0-30 cm	10	28	46
30-60 cm	7	19	31
60-90 cm	4	12	20
0-90 cm	21	59	97

Op de braakbehandelingen worden de gesimuleerde gewogen gemiddelde nitraatconcentraties duidelijk hoger met een toenemend N_{min} -gehalte bij oogst (Figuur 49). Onder vroeg ingezaaide vanggewassen is dit effect enkel uitgesproken onder het grasklavermengsel en in minder mate ook onder het Italiaans raigras, zij het enkel in 1974-75. Het effect van de bemesting is bij vroege inzaai weinig afhankelijk van het initieel N_{min} -gehalte. Bij late inzaai nemen de gesimuleerde gewogen gemiddelde nitraatconcentraties toe met een toenemend initieel N_{min} -gehalte onder alle vanggewassen. Het effect van de bemesting is weinig afhankelijk van het initieel N_{min} -gehalte in een koud en nat najaar (1974-75). Bij normale weersomstandigheden in het najaar (1987-88) is het effect van de bemesting wel afhankelijk van het initieel N_{min} -gehalte. Bij een laag initieel N_{min} -gehalte resulteert een bemesting met 60 kg N ha^{-1} onder geen van de vanggewassen in een uitgesproken stijging van de nitraatconcentratie. Bij een gemiddeld of hoog initieel N_{min} -gehalte is de nitraatconcentratie onder Japanse haver groter bij bemesting en is de afname van de nitraatconcentratie onder Italiaans raigras en het grasklavermengsel bij bemesting kleiner.





FIGUUR 49: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELTE NITRAATCONCENTRATIES OP EEN DIEPTE VAN 90 CM OP EEN ZAND- EN LEEMBODEM BIJ 3 VERSCHILLENDE N_{MIN}-GEHALTES BIJ OOGST.

4.8.3 EVALUATIE VAN DE GLOBALE BEMESTINGSNORMEN VOOR WINTERGRANEN MET NATEELTEN

In alle bovenstaande simulaties en ook in de veldproeven werd uitgegaan van eenzelfde N_{\min} -gehalte bij oogst voor enerzijds de bemeste en anderzijds de niet-bemeste vanggewassen. Bij het gebruik van vanggewassen staat MAPIV een najaarsbemesting echter 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. Hierdoor zou het N_{\min} -gehalte bij oogst hoger kunnen liggen wanneer niet voor een najaarsbemesting gekozen wordt. Aangezien het N_{\min} -gehalte bij oogst van belang blijkt (zie deel 4.8.2) voor zowel de ontwikkeling van het vanggewas als voor het optreden van eventuele N-verliezen, is het aangeraden na te gaan of de verschillen in de uitgangssituatie voor beide scenario's (0N en 60N) ook een effect hebben op de output van de simulaties.

D'Haene et al. (2014) toonden voor Vlaanderen volgend lineair verband aan voor het N_{\min} -gehalte (0-90 cm) bij de oogst van wintertarwe:

$$N_{\min, \text{oogst}} = 0,0435 * (N_{\text{mest}} + N_{\min, \text{voorjaar}}) + 20,8$$

Bij een gemiddeld N_{\min} -gehalte in het voorjaar van $58 \pm 28 \text{ kg N ha}^{-1}$ worden slechts verschillen van 2 kg N ha^{-1} bekomen tussen beide scenario's (Tabel 46). Het is dus weinig waarschijnlijk dat, indien de globale bemestingsnorm wordt gerespecteerd, een aangepaste bemesting op het wintergraan leidt tot een meer voordelige uitgangssituatie bij oogst voor het 60N-scenario. Deze beoordeling maakte verdere simulaties irrelevant.

TABEL 46: N_{\min} -GEHALTE BIJ OOGST BEREKEND OP BASIS VAN DE HOEVEELHEID WERKZAME N TOEGEDIEND OP HET WINTERGRAAN BIJ EEN N_{\min} -GEHALTE IN HET VOORJAAR VAN $58 \pm 28 \text{ kg N ha}^{-1}$ (ALLE CIJFERS UITGEDRUKT IN kg N ha^{-1}).

Textuur	Soort wintergraan	Scenario	Bemesting op het wintergraan	Bemesting op het vanggewas	N_{\min} bij oogst
Zandgrond	wintertarwe, triticale	0N	180	0	31 ± 1
		60N	140	40	29 ± 1
	wintergerst e.a.	0N	130	0	29 ± 1
		60N	90	40	27 ± 1
Niet-zandgrond	wintertarwe, triticale	0N	195	0	32 ± 1
		60N	155	40	30 ± 1
	wintergerst e.a.	0N	145	0	30 ± 1
		60N	105	40	28 ± 1

4.9 BESLUIT

Het EU-rotate_N model werd gekalibreerd en gevalideerd op basis van het N_{\min} -gehalte, de bovengrondse N-opbrengst en de drogestofopbrengst gemeten op 6 verschillende proefveldlocaties. Een globale analyse van de residuen wees op 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 en werd toegeschreven aan niet-gesimuleerde schommelingen in de verhouding tussen de bovengrondse en ondergrondse biomassa.

Op basis van simulaties voor de 6 proefpercelen en onder diverse weersomstandigheden op zand en leem werd aangetoond dat de nitraatuitspoeling onder alle vanggewassen kleiner was dan onder braak. Het grasklavermengsel bleek het minst efficiënt in het verlagen van de nitraatuitspoeling. Algemeen waren vanggewassen iets efficiënter op zwaardere bodemtexturen en bij lagere initiële N_{\min} -gehaltenes.

Bij bemesting van vroeg ingezaaide vanggewassen bleef de nitraatconcentratie meestal gelijk. In sommige jaren daalde de nitraatconcentratie bij de bemesting van de winterharde vanggewassen door een betere ontwikkeling en grotere opname tijdens de winter en in het voorjaar.

Bij later inzaaien van de vanggewassen nam de nitraatconcentratie algemeen toe. Deze toename was relatief beperkt onder gele mosterd en Italiaans raaigras, maar was in koude en natte jaren groot onder Japanse haver en het grasklavermengsel. Ook bij late zaai was het effect van de bemesting op de nitraatconcentratie nagenoeg verwaarloosbaar onder gele mosterd en was er nog steeds sprake van een afname van de nitraatconcentratie bij bemesting onder Italiaans raaigras. Voor Japanse haver was er bij bemesting in koude jaren een duidelijke toename van de nitraatconcentratie. Onder het grasklavermengsel was er bij late zaai door bemesting enkel onder koude en natte weersomstandigheden in het najaar een toename in de nitraatconcentratie waar te nemen.

De gasvormige N-verliezen waren in het algemeen klein 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.

Algemeen kunnen we besluiten dat bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen in de nitraatconcentraties werden vastgesteld tussen alle bemeste 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.

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 fractie van de C-inhoud van het vanggewas die 1 jaar na inwerken nog aanwezig is in de bodem wordt de effectieve organische koolstof genoemd. De handhaving van het organisch stofgehalte is cruciaal voor de toekomstige productiviteit van de Vlaamse landbouwbodems. Het is dus zeer interessant 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 hoofdstuk 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

Ter bepaling van de N-mineralisatie na het inwerken van de vanggewassen, werd een incubatieproef uitgevoerd die als volgt werd opgezet:

- Omstandigheden:
 - duur: van 13 januari tot 20 april 2012
 - in een incubatiekast bij 15°C en 70% relatieve luchtvochtigheid
 - bodems werden op een bodemdichtheid van 1,4 g/cm³ en op 50% WFPS gebracht (50% van het poriënvolume is met water gevuld)
- Behandelingen:
 - 3 x braak: BR0, BR60, BR120 om het effect van de bemesting te beschouwen
 - 3 x bodem onder gele mosterd zonder inwerken vanggewas om het effect van bemesting onder vanggewassen te beschouwen: GM0, GM60, GM120
 - 4 x bodem onder vanggewassen met inwerken van vanggewas: GM0, IRO, JH0, GK0
 - telkens 3 herhalingen

- Twee bodems: Lemberge (zandleem) en Rukkelingen-Loon (zwaar leem)
 - bemonsterd in de bovenste laag (0-30 cm) voor alle in de incubatieproef meegenomen behandelingen
 - op 04/01/2012 te Lemberge
 - op 23/12/2011 te Rukkelingen-Loon
 - 283 g droge bodem per buisje, vochtgehalte 16,8% op droog
 - de bodem werd aan de buitenlucht gedroogd en op het gewenste vochtgehalte gebracht met gedemineraliseerd water
- Vier vanggewassen:
 - geoogst op 04/01/2012 te Lemberge, alle van zaaitijdstip 1 op de 0N-bemestingstrap
 - werden vers toegevoegd aan buisje met vulhoogte van 12 cm volgens de opbrengst in het veld (Tabel 47)
- Bemonstering:
 - wekelijkse tot tweewekelijkse correctie van het bodemvochtgehalte
 - 7 monsternametijdstippen: metingen van NO_3^- en NH_4^+ met een continuous flow analyzer

TABEL 47: BOVENGRONDSE OPBRENGSTEN EN SAMENSTELLING VAN DE VANGGEWASSEN GEOOGST OP 4 JANUARI 2012 IN LEMBERGE EN INGEWERKT TER BEPALING VAN DE N-MINERALISATIE.

Vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Grasklaver
Versgewicht (ton ha ⁻¹)	5,4	21,8	22,8	13,7
Drogestofopbrengst (ton ha ⁻¹)	2,4	3,6	7,0	3,4
C-opbrengst (ton ha ⁻¹)	1,1	1,4	3,0	1,3
N-opbrengst (kg ha ⁻¹)	32	70	80	79
P-opbrengst (kg ha ⁻¹)	8	12	21	12
C:N-verhouding	34	20	38	17
Hemicellulose (%)	18,7	26,2	28,8	25,1
Cellulose (%)	44,5	22,5	35,8	20,0
Lignine (%)	12,3	1,9	4,9	3,0

5.2.2 BESPREKING RESULTATEN

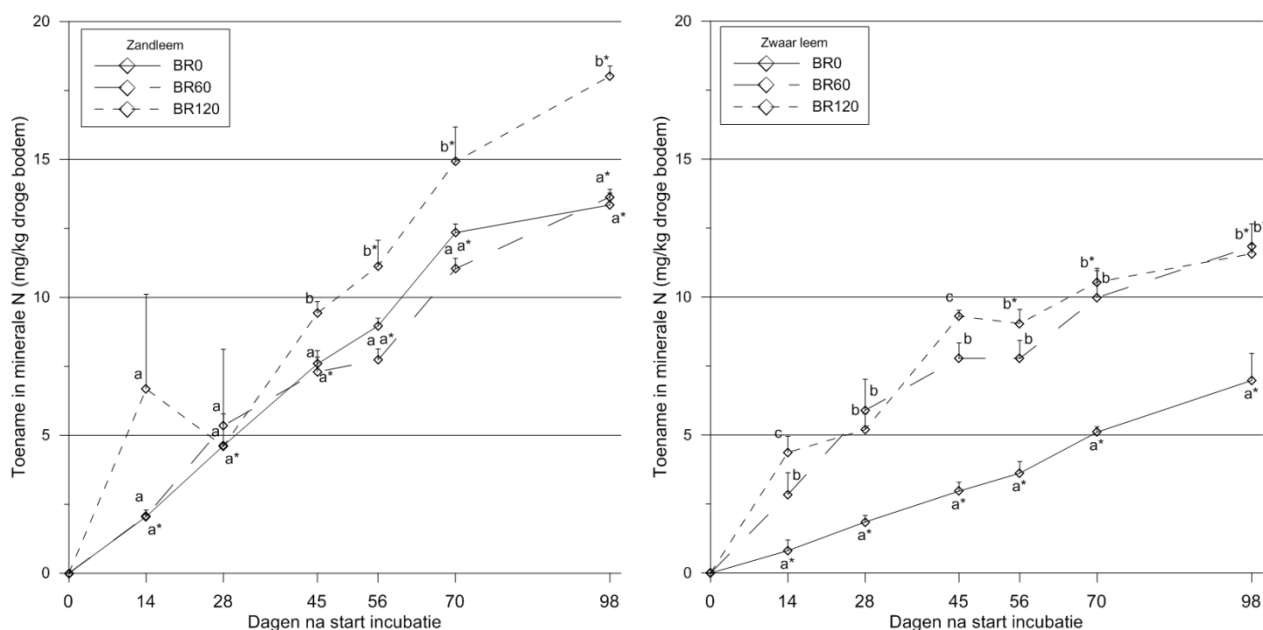
5.2.2.1 EFFECT VAN DE BEMESTING OP DE BRAAK EN ONDER GELE MOSTERD

Voorafgaand aan de incubatie werden slechts kleine verschillen gemeten tussen de bemestingsstrappen; voor de leembodem waren deze iets meer uitgesproken positief gecorreleerd met het bemestingsniveau dan voor de zandleembodem (Tabel 48). Dit zou te wijten kunnen zijn aan een kleinere uitspoeling op de leembodem door de eerdere bemonsteringsdatum en de zwaardere textuur.

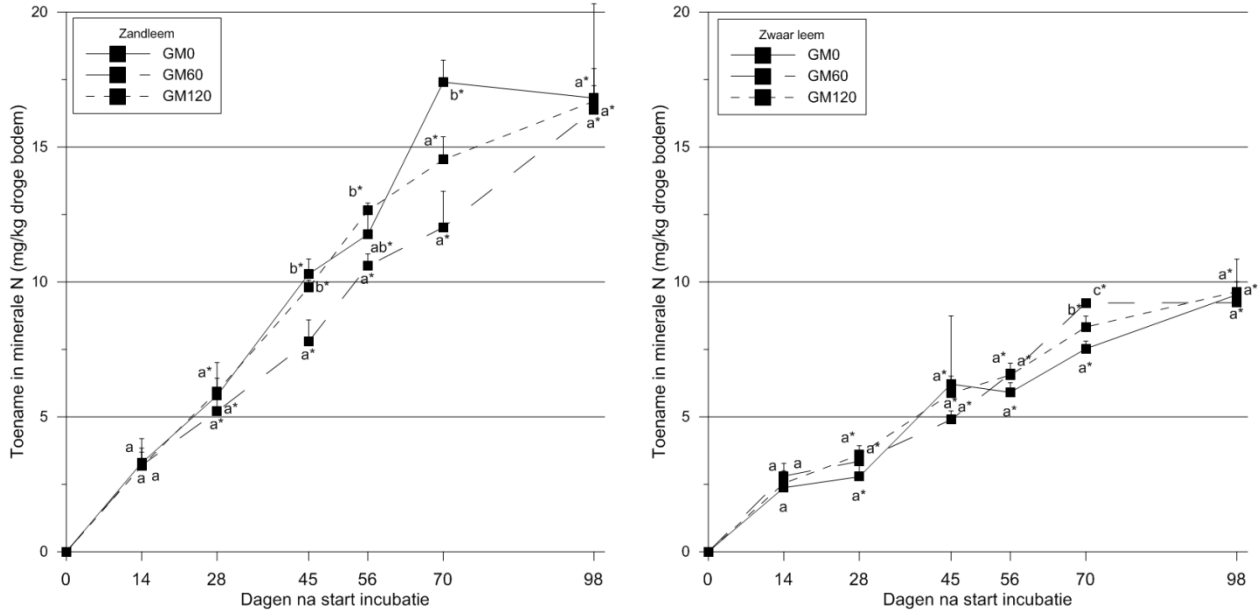
TABEL 48: MINERAAAL STIKSTOFGEHALTE (MG KG⁻¹) OP DE BRAAKBEHANDELING EN ONDER GELE MOSTERD BIJ START VAN DE INCUBATIE.

Textuur	BR0	BR60	BR120	GM0	GM60	GM120
Zandleem	4,52	4,41	4,75	5,33	4,25	5,03
Zwaar leem	4,49	5,80	6,28	4,38	5,56	5,75

Incubatie van deze bodems zonder toevoegen van enig vanggewas resulteerde voor elke situatie in een systematische stijging van het N_{min}-gehalte (Figuur 50 en Figuur 51). Onder braak is voor beide locaties 98 dagen na de start van de incubatie een significant effect van de bemesting waarneembaar. Onder gele mosterd is 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 is op dag 98 een significant effect van de bodemtextuur (en van de recente geschiedenis van beide percelen) waarneembaar: de mineralisatie is telkens kleiner voor de leembodem van Rukkelingen-Loon dan voor de zandleembodem van Lemberge.



FIGUUR 50: N-MINERALISATIE ONDER BRAAK VOOR EEN ZANDLEEM- EN LEEMBODEM. VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN (P<0,05) TUSSEN DE BEMESTINGSNIVEAUS, TERWIJL * WIJZEN OP EEN SIGNIFICANT EFFECT (P<0,05) VAN DE BODEMTEXTUUR.



FIGUUR 51: N-MINERALISATIE ONDER GELE MOSTERD VOOR EEN ZANDLEEM- EN LEEMBODEM. VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN ($P < 0,05$) TUSSEN DE BEMESTINGSNIVEAUS, TERWIJL * WIJZEN OP EEN SIGNIFICANT EFFECT ($P < 0,05$) VAN DE BODEMTEXTUUR.

5.2.2.2 N-MINERALISATIE UIT DE INGEWERKTE VANGGEWASSEN

Aangezien slechts kleine, niet-significante verschillen (t-test met Bonferroni-correctie) 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 als volgt:

$$N_{\%, t_i} = 100 * [(N_{\min VG, t_i} - N_{\min BR, t_i}) - (N_{\min VG, t_0} - N_{\min BR, t_0})] / N_{VG}$$

met: $N_{\%}$ N netto vrijgesteld uit het vanggewas, procentueel uitgedrukt t.o.v. de bovengrondse N

t_i bemonsteringstijdstip

$N_{\min VG}$ N_{\min} -gehalte van de bodem met ingewerkt vanggewas

$N_{\min BR}$ N_{\min} -gehalte van de bodem van de braakbehandeling

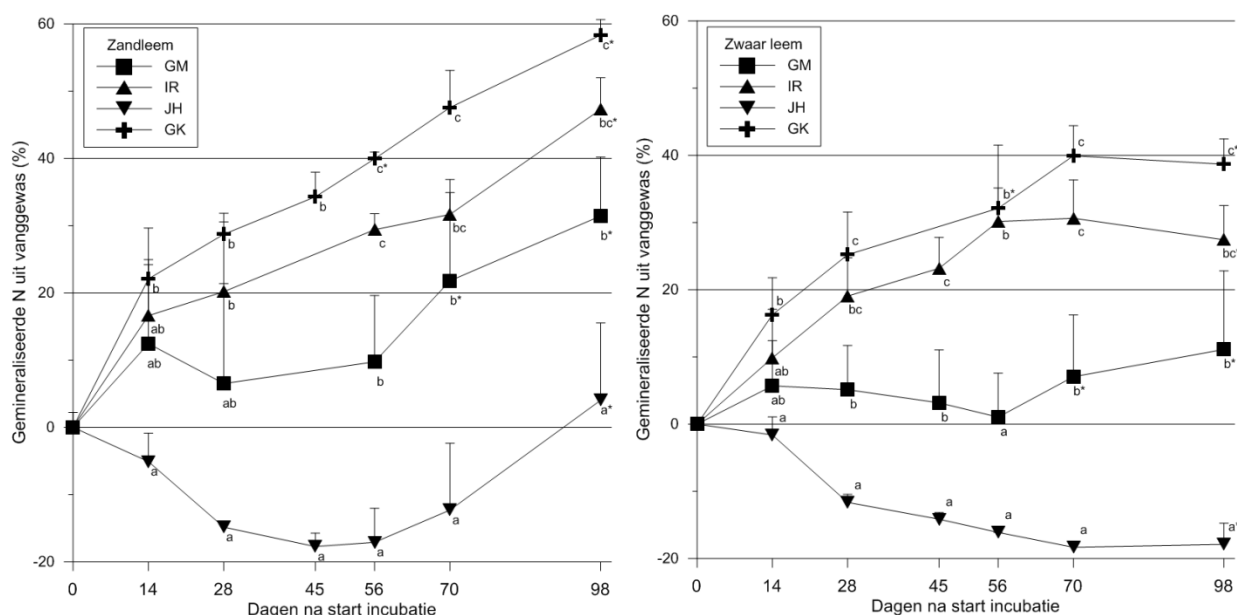
N_{VG} N ingewerkt via het vanggewas (bovengronds)

Er werd op beide locaties een gelijklopend significant effect van het type vanggewas gevonden (Figuur 52): Japanse haver had een sterk immobiliserend effect en vertoonde na 98 dagen 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: er werden geen significante verschillen opgemerkt. De gele mosterd immobiliseerde initieel stikstof, maar stelde nadien N vrij: op dag 98 waren er geen significante verschillen met het Italiaans raaigras, maar wel met het grasklavermengsel. De netto vrijgestelde N vertoonde een sterk negatief lineair verband met de C:N-verhouding (Tabel 47): de R^2 -waarden bedroegen 0,89 en 0,88 voor respectievelijk zandleem en leem.

TABEL 49: NETTO PERCENTAGE STIKSTOF GEMINERALISEERD UIT HET VANGGEWAS NA 98 DAGEN INCUBATIE BIJ 15°C.

Vanggewas	Zandleem	Zwaar leem
Gele mosterd	31	11
Italiaans raaigras	47	27
Japanse haver	4	-18
Grasklaver	58	39

Net als onder braak en onder gele mosterd is op dag 98 een significant effect van de bodemtextuur (en van de recente geschiedenis van beide percelen) waarneembaar: de netto N-vrijstelling is telkens significant kleiner voor de leembodem van Rukkelingen-Loon dan voor de zandleembodem van Lemberge (Figuur 52, Tabel 49). Daarnaast houdt het immobiliserende effect van gele mosterd en Japanse haver langer aan voor de leembodem.



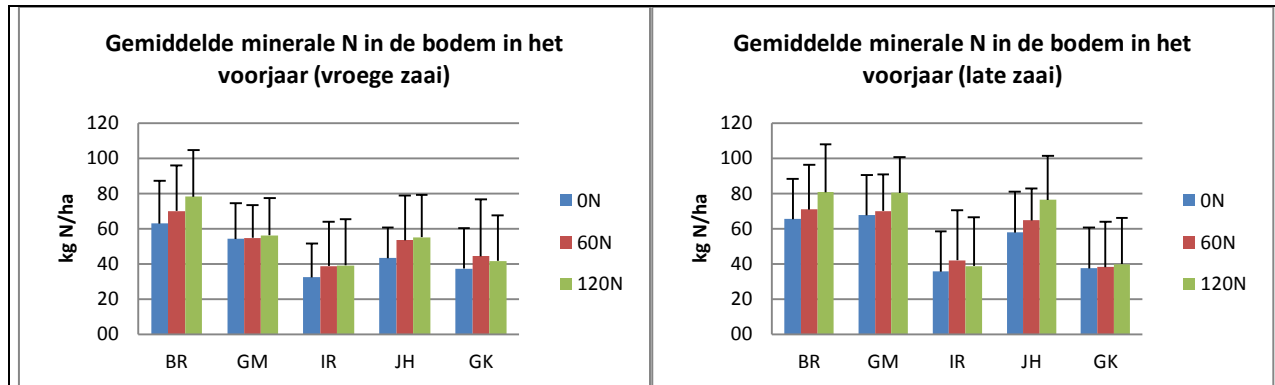
FIGUUR 52: N-MINERALISATIE UIT VANGGEWASSEN INGEWERKT IN EEN ZANDLEEM- EN LEEMBODEM. VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN ($P < 0,05$) TUSSEN DE VANGGEWASSEN, TERWIJL * WIJZEN OP EEN SIGNIFICANT EFFECT ($P < 0,05$) VAN DE BODEMTEXTUUR.

5.2.3 RICHTCIJFERS N-NALEVERING UIT VANGGEWASSEN

In het voorjaar is het N_{\min} -gehalte onder behandelingen met vanggewassen meestal lager dan onder de braakbehandelingen (Figuur 53). Dit is voor niet-winterharde vanggewassen (gele mosterd en Japanse haver) enkel geldig bij vroege zaai en niet bij latere zaai. Voor winterharde vanggewassen (Italiaans raaigras en het grasklavermengsel) is het verschil met de braakbehandeling veel meer uitgesproken aangezien zij minder N vrijstellen tijdens de winter en bij voldoende hoge temperaturen opnieuw N kunnen opnemen.

Er is dus in zekere zin sprake van competitie voor de N-opname tussen het vanggewas en de volgteelt. De grootte van deze competitie zal niet enkel afhangen van de weersomstandigheden, het soort vanggewas en het zaaitijdstip, maar ook van de bodemtextuur. Bij zwaardere texturen zal het verschil in het N_{\min} -gehalte tussen de

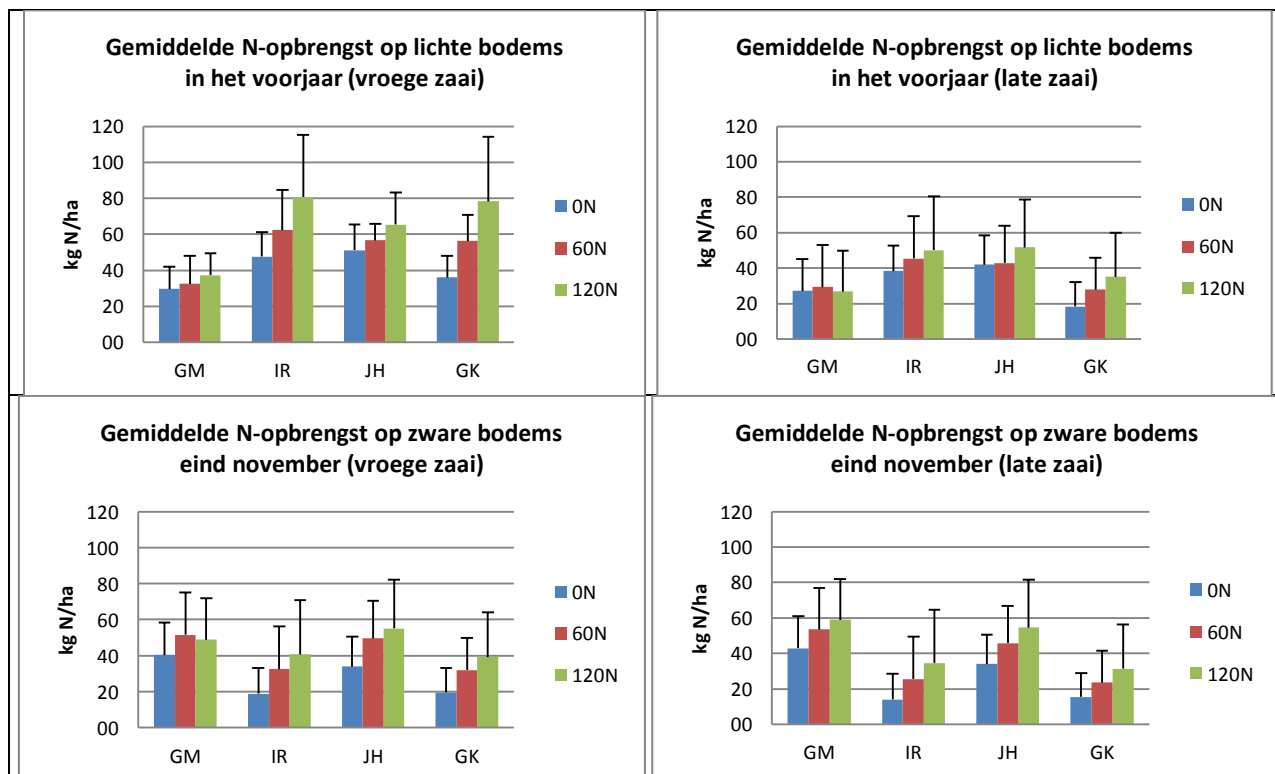
braakbehandeling en onder vanggewassen groter zijn dan bij lichtere texturen aangezien bij zwaardere texturen de nitraatuitspoeling tijdens de winter minder intens is.



FIGUUR 53: GEMIDDELTE N_{MIN}-GEHALTE IN DE BODEM IN HET VOORJAAR VOOR ALLE PROEFPERCELEN MET UITZONDERING VAN HET PROEFVELD IN OOSTENDE.

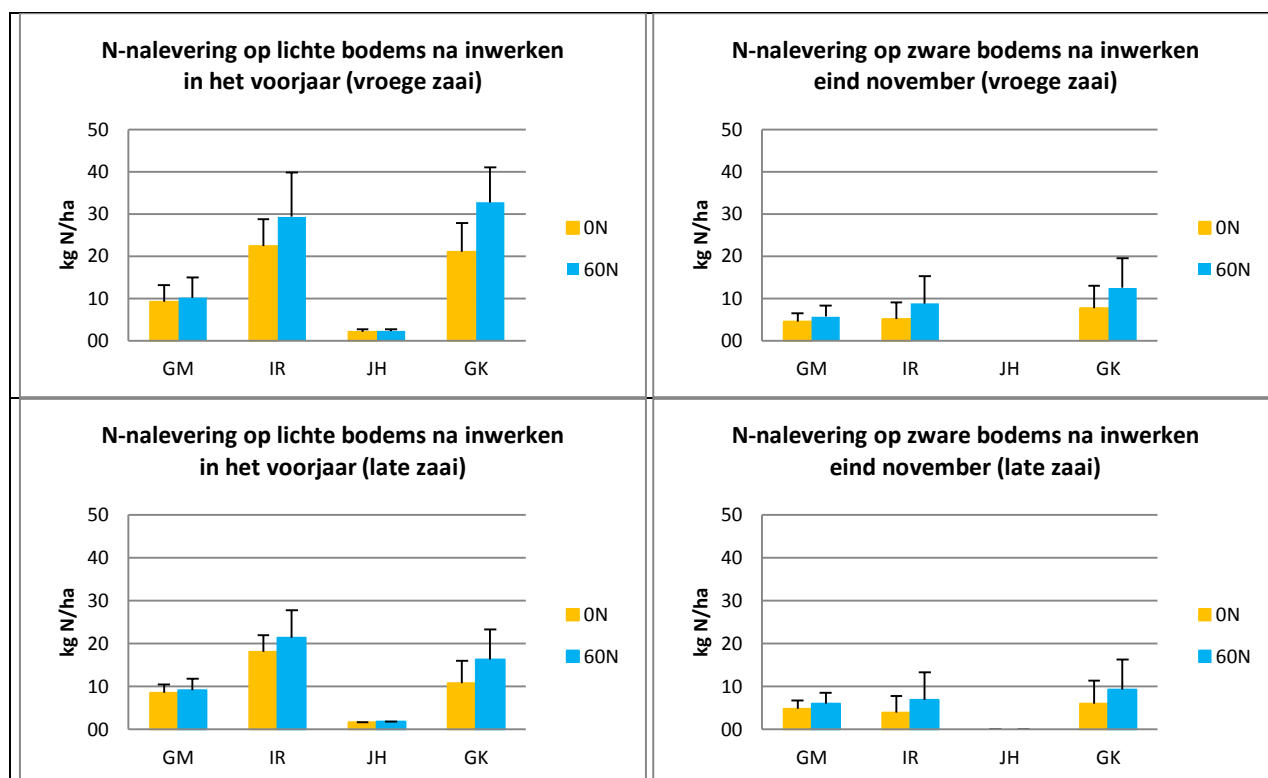
De competitie met het vanggewas wordt echter gecompenseerd indien het vanggewas na inwerken N vrijstelt en als die ook beschikbaar wordt voor het volggewas. De incubatieproeven hebben aangetoond dat de hoeveelheid N die vrijgesteld wordt afhangt van de C:N-verhouding van het vanggewas en van de bodemtextuur (Figuur 52).

De hoeveelheid N die vrijgesteld wordt tijdens het groeiseizoen hangt eveneens af van de N-opbrengst op het moment van inwerken. Aangezien vanggewassen op lichte bodems meestal worden ingewerkt in het voorjaar en op zware bodems in het najaar, zijn de gemiddelde N-opbrengsten op die manier weergegeven in Figuur 54.



FIGUUR 54: GEMIDDELTE BOVENGRONDSE N-OPBRENGST VOOR ALLE PROEFPERCELEN MET UITZONDERING VAN HET PROEFVELD IN OOSTENDE.

Indien beide gegevens (Tabel 49, Figuur 54) gecombineerd worden, kan berekend worden hoeveel van de totale N-opbrengst beschikbaar wordt voor opname door de volgteelt (Figuur 55). Na een N_{\min} -bepaling in het voorjaar dient de landbouwer het N-bemestingsadvies te corrigeren voor deze nalevering. Voor strorrijke vanggewassen met een hoge C:N-verhouding, zoals Japanse haver, wordt de volledige N-opbrengst geïmmobiliseerd, waardoor deze N niet opgenomen kan worden door de volgteelt. 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. Na een koude en/of droge winter kan de volledige nalevering in rekening gebracht worden. Voor vanggewassen met hoge C:N-verhouding is het mogelijk dat tijdens warme en natte winters N geïmmobiliseerd wordt die nadien weer vrijgesteld wordt, maar hier zijn geen concrete cijfers voor. In toekomstig onderzoek zou de vrijstelling uit ondergewerkte vanggewassen eveneens gesimuleerd kunnen worden na kalibratie van het EU_rotate_N model op basis van de resultaten van de incubatieproeven.



FIGUUR 55: N-NALEVERING UIT DE BOVENGRONDSE DELEN VAN VANGGEWASSEN (GEMIDDELDEN VOOR ALLE PROEFPERCELEN MET UITZONDERING VAN HET PROEFVELD IN OOSTENDE).

5.3 C-MINERALISATIE

5.3.1 WERKWIJZE

Ter bepaling van de mineralisatie van koolstof na het inwerken van de vanggewassen (en daaruit de bepaling van de hoeveelheid effectieve organische koolstof, EOC), werd een incubatieproef uitgevoerd. Hieronder wordt de opzet van deze proef schematisch weergegeven:

- Omstandigheden:
 - duur: van 23 januari tot 19 april 2012 (verlenging tot 1 augustus voor Japanse haver)
 - in een incubatiekast bij 15°C

- bodems werden op een bodemdichtheid van 1,4 g/cm³ en op 50% WFPS gebracht
- Behandelingen:
 - 1 x braak: BRO
 - 4 x bodems ON onder vanggewassen zonder inwerken vanggewas, als blanco's
 - 4 x bodems ON onder vanggewassen ON met inwerken van vanggewas
 - telkens 3 herhalingen
- Twee bodems: Lemberge (zandleem) en Rukkelingen-Loon (leem)
 - bemonsterd in de bovenste laag (0-30 cm) voor alle behandelingen
 - op 04/01/2012 te Lemberge (na wintergerst op zandleem)
 - op 23/12/2011 te Rukkelingen-Loon (na wintertarwe op leem)
 - 305 g droge bodem per buisje, vochtgehalte 16,8% op droog
 - de bodem werd aan de buitenlucht gedroogd en op vochtgehalte gebracht met gedemineraliseerd water
 - het geheel werd in een luchtdicht afgesloten pot geplaatst, samen met een bekertje NaOH
- Vier vanggewassen:
 - geoogst op 17/01/2012 te Lemberge, alle van zaaitijdstip 1 op ON bemestingstrap
 - werden vers toegevoegd aan buisje met vulhoogte van 6 cm volgens de versgewicht opbrengsten gebruikt in het N-mineralisatie-experiment; de samenstelling werd opnieuw geanalyseerd (Tabel 50) en vertoonde slechts kleine verschillen in C-opbrengst t.o.v. het N-mineralisatie-experiment. De verschillen in C:N-verhouding waren iets meer uitgesproken, vooral voor Japanse haver.

TABEL 50: SAMENSTELLING VAN DE VANGGEWASSEN GEOOGST OP 17 JANUARI 2012 IN LEMBERGE EN INGEWERKT TER BEPALING VAN DE C-MINERALISATIE. DE VANGGEWASSEN WERDEN INGEWERKT VOLGENS DE VERSGEWICHT OPBRENGSTEN BEPAALD OP 4 JANUARI 2012. DE OVEREENKOMSTIGE DROGESTOFOPBRENGST (LUCHTDROOG) WERD HERREKEND VOLGENS HET VOCHTGEHALTE OP 17 JANUARI 2012.

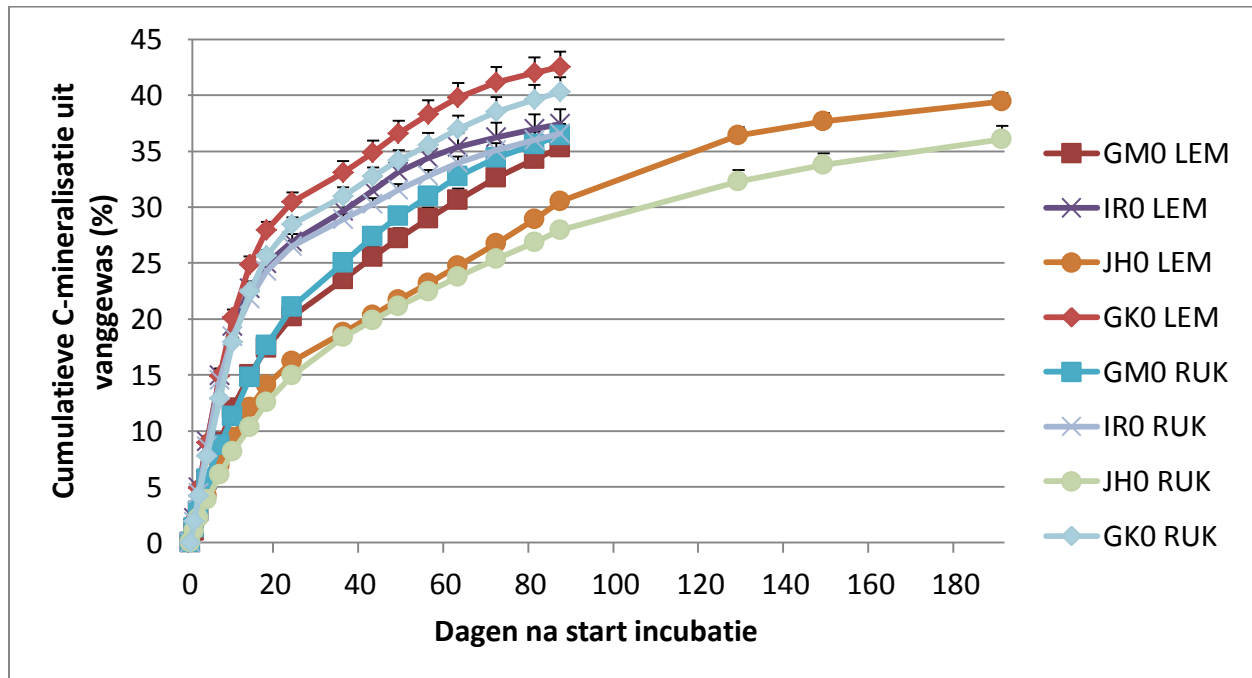
Vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Grasklaver
Versgewicht (ton ha ⁻¹)	5,4	21,8	22,8	13,7
Drogestof luchtdroog (ton ha ⁻¹)	2,8	4,2	7,1	3,5
C-opbrengst (ton ha ⁻¹)	1,2	1,6	3,1	1,4
N-opbrengst (kg ha ⁻¹)	33	67	61	76
C:N-verhouding	36	24	51	18

- Bemonstering:
 - dagelijkse tot wekelijkse correctie van het bodemvochtgehalte
 - initieel dagelijkse tot finaal tweewekelijkse verversing van het O₂-gehalte
 - 20 monsternametijdstippen: metingen van de geproduceerde hoeveelheid CO₂ door terugtitratie van de NaOH-oplossing

5.3.2 BESPREKING RESULTATEN

De netto C-vrijstelling uit de bovengrondse biomassa van vanggewassen werd berekend door het verschil in hoeveelheid vrijgekomen CO₂ tussen overeenkomstige behandeling met en zonder ingewerkt vanggewas te delen door de totale hoeveelheid C die ingewerkt werd.

De netto C-vrijstelling uit de vanggewassen vertoonde een sterk negatief lineair verband met de C:N-verhouding (Tabel 50): de R²-waarden bedroegen 0,93 en 0,89 voor respectievelijk zandleem en leem. Grasklaver mineraliseerde het snelst, gevolgd door respectievelijk Italiaans raaigras, gele mosterd en Japanse haver (Figuur 56). De mineralisatie van de verschillende vanggewassen verliep voor beide bodems zeer gelijkaardig en verliep, met uitzondering van die van gele mosterd, steeds iets sneller op zandleem dan op leem. Op 19 april, 87 dagen na opstart van de incubatie, was de mineralisatie van de meeste vanggewassen min of meer gestabiliseerd, maar voor Japanse haver diende de mineralisatie verder opgevolgd te worden. Op 1 augustus, 191 dagen na opstart van de incubatie, werd ook voor Japanse haver de mineralisatie als voldoende gestabiliseerd beschouwd en werd het experiment afgesloten.



FIGUUR 56: C-MINERALISATIE UIT DE BOVENGRONDSE DELEN VAN VANGGEWASSEN INGEWERKT IN EEN ZANDLEEMBODEM UIT LEMBERGE (LEM) EN EEN LEMBODEM UIT RUKKELINGEN-LOON (RUK). DE GEMIDDELDEN EN STANDAARD AFWIJINGEN VAN TELKENS 3 HERHALINGEN ZIJN WEERGEGEVEN.

5.3.3 EFFECTIEF ORGANISCHE KOOLSTOF

Met behulp van de mineralisatiecurves (Figuur 56) was het mogelijk de opbouw van organische stof in de bodem te bepalen. Aangezien de incubatieproef uitgevoerd werd bij een constante temperatuur (15°C), dienden de mineralisatiecurves aangepast te worden aan de temperatuur in het veld. De mineralisatie van organisch materiaal werd gesimuleerd a.d.h.v. een M10-model. Dit model dat zowel een snelle als een trage fractie van het organisch materiaal in rekening brengt, bestaat uit een 1^e en een 0^e-orde term; de hoeveelheid van de afgebroken component over de tijd - C(t) - wordt dan (Sleutel et al., 2005):

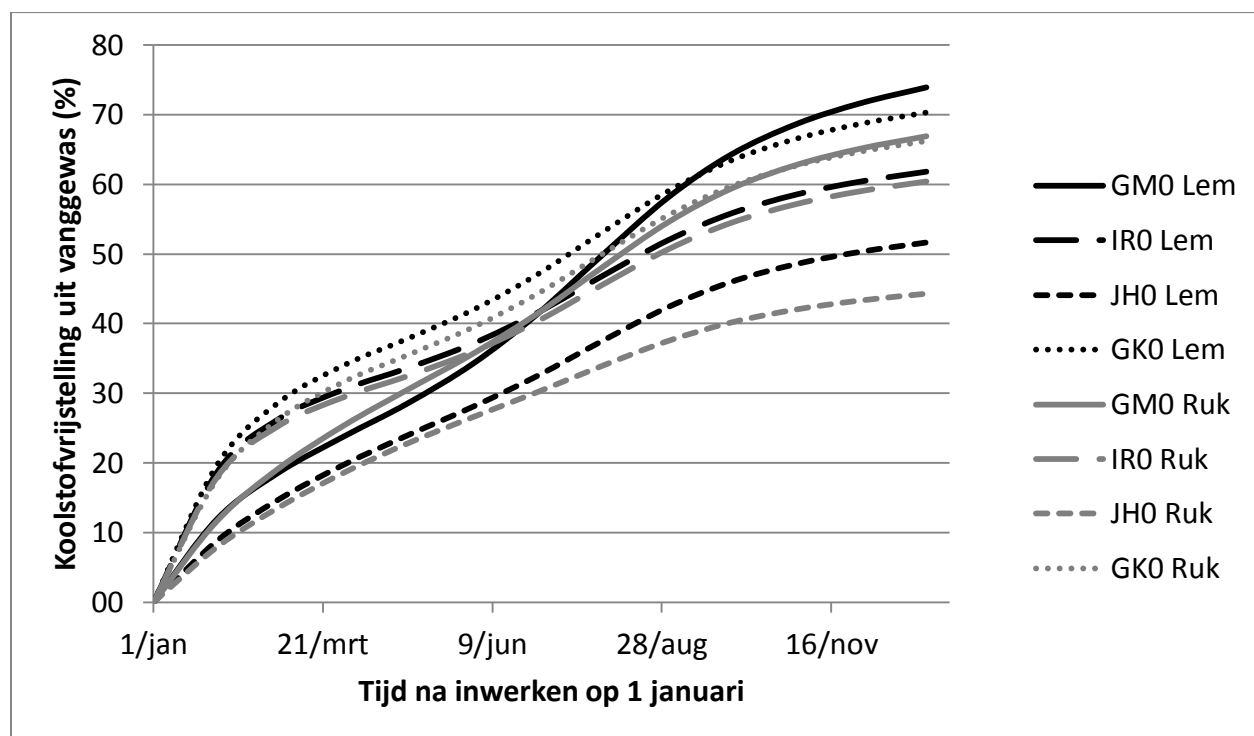
$$C(t) = C_f * (1 - e^{-K_f * t}) + K_s * t$$

en de afhankelijkheid van de parameters $K_{s,f}$ van de temperatuur T als volgt (Rey et al., 2008):

$$K_{s,f}(T) = Q_{10} * (T - T_{ref}) / 10 * K_{s,f}(T_{ref})$$

met $Q_{10} = 2,5$.

Dit maakt het mogelijk de mineralisatiecurves aan te passen aan de gemiddelde maandtemperatuur (Figuur 57).



FIGUUR 57: NETTO KOOLSTOFMINERALISATIE UIT HET BOVENGRONDSE DEEL VAN DE VANGGEWASSEN NA AANPASSING AAN DE GEMIDDELDE MAANDELIJKSE TEMPERatuur.

Indien het vanggewas hypothetisch wordt ingewerkt op 1 januari, kan na 1 jaar mineralisatie de totale resterende hoeveelheid koolstof berekend worden. Deze wordt de effectieve organische koolstof (EOC) genoemd. De verhouding van de EOC en de totale hoeveelheid organische koolstof is de humificatiecoëfficiënt van een vanggewas. Japanse haver bleek de grootste humificatiecoëfficiënt te hebben en gele mosterd de kleinste (Tabel 51). De humificatiecoëfficiënten waren bij inwerken in een lichtere bodem (Lemberge) steeds lager dan in een zwaardere bodem (Rukelingen-Loon). Er werden slechts zwakke positieve lineaire verbanden gevonden tussen de humificatiecoëfficiënt en de C:N-verhouding van de vanggewassen (Tabel 50): de R^2 -waarden bedroegen 0,36 en 0,60 voor respectievelijk zandleem en leem.

TABEL 51: HUMIFICATIECOEFFICIENTEN VOOR DE BOVENGRONDSE BIOMASSA VAN ONBEMESTE VANGGEWASSEN, INGEWERKT IN EEN ZANDLEEM- EN ZWARE LEEMBODEM VOLGENS OPBRENGSTEN IN LEMBERGE BEGIN JANUARI 2012.

	Humificatiecoëfficiënt (%)	
	Zandleem	Zwaar leem
Gele mosterd	26	33
Italiaans raaigras	38	40
Japanse haver	48	56
Grasklaver	30	34

De humificatiecoëfficiënten (Tabel 51) en de gemiddelde bovengrondse C-opbrengsten van bemeste en niet-bemeste vanggewassen maken het mogelijk de gemiddelde EOC uit de bovengrondse biomassa te berekenen (Tabel 52). Hierbij werd aangenomen dat vanggewassen op lichte bodems worden ingewerkt in het voorjaar en op zware bodems in het najaar; voor lichte bodems werden de humificatiecoëfficiënten voor zandleem vermenigvuldigd met de verschillen in bovengrondse C-opbrengst in het voorjaar, en voor zware bodems de humificatiecoëfficiënten voor leem met de verschillen in bovengrondse C-opbrengst in het najaar. Aangezien een zware bemesting (120 kg N ha^{-1}) of een latere zaai een beperkte invloed zou kunnen hebben op de humificatiecoëfficiënten, werden de EOC-opbrengsten enkel voor de niet-bemeste en met 60 kg N ha^{-1} bemeste, vroeg ingezaaide vanggewassen bepaald. C-opbrengsten van locaties met slecht ontwikkelde vanggewassen (Oostende) werden niet mee in rekening gebracht.

TABEL 52: GEMIDDELDE EFFECTIEF ORGANISCHE KOOLSTOFOPBRENGST (EOC) VOOR DE BOVENGRONDSE BIOMASSA VAN BEMESTE (60 KG N HA^{-1}) EN NIET-BEMESTE VANGGEWASSEN (1^{E} ZAAI), BIJ INWERKEN EIND NOVEMBER (ZWARE BODEMS) EN IN HET VOORJAAR (LICHTE BODEMS). VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN PER TIJDSTIP EN PER BEMESTINGSNIVEAU OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN VANGGEWASSEN ($P < 0,05$).

EOC (kg C ha^{-1}) <i>vanggewas</i>	zware bodems, eind november		lichte bodems, voorjaar	
	<i>niet-bemest (0N)</i>	<i>bemest (60N)</i>	<i>niet-bemest (0N)</i>	<i>bemest (60N)</i>
GM	224 ^b	322 ^b	227 ^{ab}	268 ^{ab}
IR	122 ^a	195 ^{ab}	266 ^b	336 ^b
JH	512 ^c	736 ^c	572 ^c	718 ^c
GK	77 ^a	129 ^a	132 ^a	210 ^a

Van alle vanggewassen had Japanse haver steeds significant de grootste EOC-opbrengst en het grasklavermengsel steeds de kleinste (Tabel 52). Om de toename in EOC-opbrengst door toedoen van de bemesting te bepalen, werden de verschillen in EOC tussen bemeste en niet-bemeste vanggewassen berekend (Tabel 53).

TABEL 53: GEMIDDELDE VERSCHILLEN IN EOC VOOR DE BOVENGRONDSE BIOMASSA VAN BEMESTE (60 KG N HA^{-1}) EN NIET-BEMESTE VANGGEWASSEN (1^{E} ZAAI), BIJ INWERKEN EIND NOVEMBER (ZWARE BODEMS) EN IN HET VOORJAAR (LICHTE BODEMS). VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN PER TIJDSTIP OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN VANGGEWASSEN ($P < 0,05$).

<i>vanggewas</i>	verschil in EOC (kg C ha^{-1})	
	<i>zware bodems, eind november</i>	<i>lichte bodems, voorjaar</i>
GM	98 ^a	41 ^a
IR	73 ^a	70 ^{ab}
JH	224 ^b	146 ^b
GK	52 ^a	78 ^{ab}

De verschillen in EOC tussen bemeste (60 kg N ha^{-1}) en niet-bemeste vroeg ingezaaide vanggewassen waren relatief klein (Tabel 53) ten opzichte van de onderlinge verschillen tussen de vanggewassen (Tabel 52). Japanse haver vertoonde in het najaar significant de grootste toename in EOC door toedoen van de bemesting. In het voorjaar was de toename in EOC door bemesting enkel significant verschillend tussen Japanse haver en gele mosterd. Hoewel in Tabel 52 en Tabel 53 gemiddelde EOC-opbrengsten werden berekend voor verschillende locaties voor en na de winter, kon er tijdens de winter enkel voor de bemeste, niet-winterharde vanggewassen een afname waargenomen worden. Dit hangt samen met wat vastgesteld werd voor de C-opbrengsten per locatie (3.5.3). De tijdens de winter verdwenen EOC kwam waarschijnlijk ook in de bodem terecht, onder de vorm van niet-oogstbare bladval of opgeloste organische koolstof.

Het is van belang te onderstrepen dat deze cijfers (Tabel 51, Tabel 52, Tabel 53) enkel van toepassing zijn op de bovengrondse biomassa en dat de bijdrage van de ondergrondse biomassa zeker niet verwaarloosd mag worden. Hoewel dit verder geen deel uitmaakt van dit wetenschappelijk rapport, hebben eigen aanvullend onderzoek en de literatuurstudie aangetoond dat 10 tot 75% van de totale biomassa ondergronds kan zijn. De variabiliteit is groot en is voornamelijk afhankelijk van het soort vanggewas en van de datum.

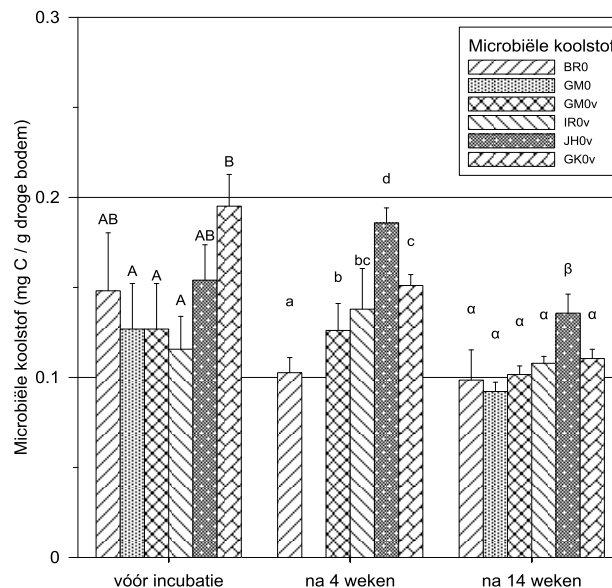
5.4 BIOLOGISCHE BODEMKWALITEIT

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 (zie hoofdstuk 5.1). 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. Voor gele mosterd werd een bodemmonster opgevolgd mét (GM0v) en zonder inwerken van het vanggewas (GM0). Voor de andere vanggewassen werd enkel een bodemmonster opgevolgd met ingewerkt vanggewas (IR0v, JH0v en GK0v).

5.4.2 MICROBIËLE BIOMASSA

Om de microbiële biomassa te kwantificeren werd de hoeveelheid microbiële koolstof (MBC) bepaald op de 3 tijdstippen. De bodem werd daartoe gefumigeerd met chloroform, waardoor alle micro-organismen afstierven en de microbiële koolstof vrijkwam. Door voor en na fumigatie de koolstof uit het monster te extraheren, kon uit het verschil de microbiële koolstof berekend worden.

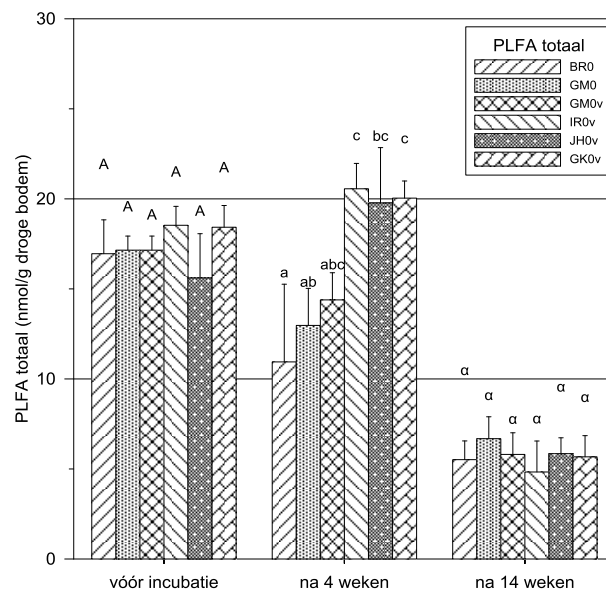


FIGUUR 58: CONCENTRATIE AAN MICROBIËLE KOOLSTOF (MBC) TIJDENS DE N-MINERALISATIEPROEF.

Initieel werd voor MBC enkel een significant verschil waargenomen tussen de bodem onder het Italiaans raaigras en het grasklavermengsel (Figuur 58). MBC was het grootst onder het grasklavermengsel. Een maand na inwerken van de vanggewassen was MBC licht gestegen voor Italiaans raaigras en Japanse haver, was die min of meer gelijk gebleven voor gele mosterd en was die gedaald voor het grasklavermengsel en onder het braakobject. Voor de bodem onder gele mosterd zonder inwerken van het vanggewas zijn geen gegevens beschikbaar. MBC werd voor alle objecten met ingewerkte vanggewassen significant groter dan MBC voor het braakobject. MBC voor Japanse haver was significant groter dan voor alle andere vanggewassen en MBC voor het grasklavermengsel was tevens significant groter dan voor gele mosterd. Na 14 weken was MBC voor alle objecten gedaald, en was enkel MBC voor Japanse haver significant groter dan voor alle andere objecten. De significant hogere MBC bij het inwerken van vanggewassen was zoals te verwachten meestal een tijdelijk effect. De langdurig aanwezige significant grotere MBC voor Japanse haver valt samen met de immobilisatie en late vrijstelling van minerale stikstof die eerder geobserveerd werden tijdens de incubatieproef (zie 5.2.2.2). De initiële significant grotere MBC in de bodem onder het grasklavermengsel kan een gevolg zijn van de meer uitgesproken wortelontwikkeling van Engels raaigras, hetgeen het microbiële bodemleven stimuleert.

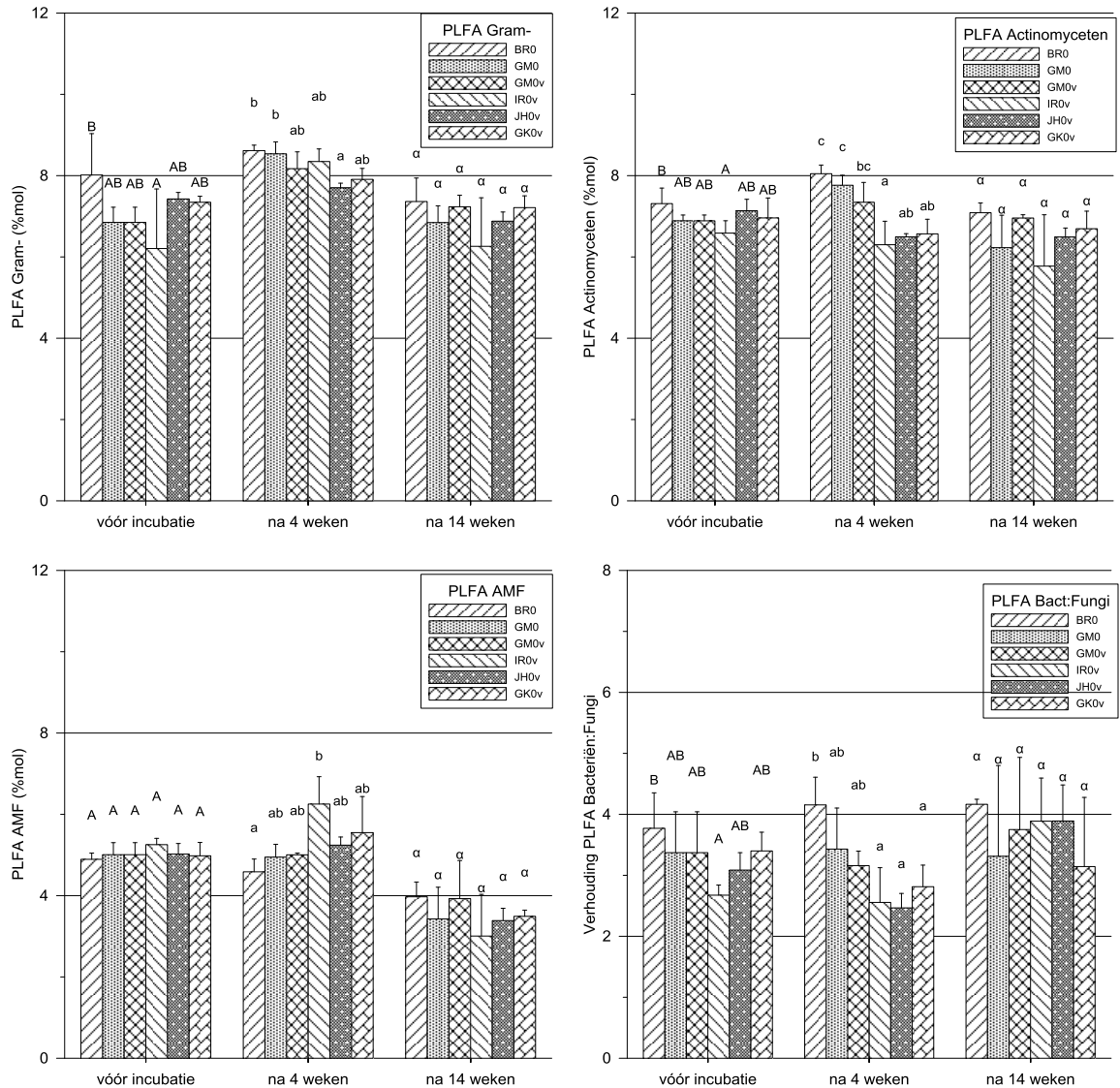
5.4.3 SAMENSTELLING VAN DE MICROBIËLE GEMEENSCHAP

De samenstelling van de microbiële gemeenschap kan op vele manieren geanalyseerd worden. In dit onderzoek werd gebruikt gemaakt van de fosfolipide vetzuren (PLFA) op de membranen van de micro-organismen. De PLFA's werden geëxtraheerd uit de bodem en daarna geïdentificeerd via gaschromatografie-massaspectrometrie. A.d.h.v. karakteristieke PLFA's kunnen groepen micro-organismen zoals Grampositieve bacteriën, Gramnegatieve bacteriën, actinomyceten, fungi en arbusculaire mycorrhizale fungi (AMF) worden onderscheiden. Ook verhoudingen tussen bacteriën en fungi kunnen worden uitgedrukt. Deze karakteristieke PLFA's worden ook wel biomarkers genoemd. De totale concentratie aan PLFA's wordt ook gebruikt als indicatie voor de grootte van de microbiële gemeenschap. De totale concentratie aan PLFA's vertoonde enkel significante verschillen 4 weken na het inwerken van de vanggewassen (Figuur 59). De PLFA-concentratie voor het braakobject was significant kleiner dan voor Italiaans raaigras, Japanse haver en het grasklavermengsel. De PLFA-concentratie in de bodem onder gele mosterd zonder inwerken van het vanggewas was ook significant kleiner dan die voor de objecten met ingewerkt Italiaans raaigras en grasklavermengsel.



FIGUUR 59: TOTALE CONCENTRATIE AAN FOSFOLIPIDE VETZUREN TIJDENS DE N-MINERALISATIEPROEF.

Het aandeel van de karakteristieke groepen PLFA's (uitgedrukt als percentage van de totale concentratie aan PFLA's) vertoont enkel significante verschillen tussen de objecten voor de Gramnegatieve bacteriën, de actinomyceten en de AMF (Figuur 60). Ook voor de verhouding bacteriën:fungi werden significante verschillen gevonden. Die verhouding werd hier gedefinieerd als het quotiënt van enerzijds de som van de karakteristieke PLFA's voor de actinomyeten, de Grampositieve en de Gramnegatieve bacteriën en anderzijds de som van karakteristieke PLFA's voor de AMF (*Glomeromycota*) en linolzuur (C18:2c9,12), een ω6-vetzuur dat karakteristiek is voor alle andere fungi (*Zygomycota*, *Ascomycota* en *Basidiomycota*).



FIGUUR 60: AANDEEL VAN DE KARAKTERISTIEKE FOSFOLIPIDE VETZUREN VOOR GRAMNEGATIEVE BACTERIËN, ACTINOMYCETEN EN ARBUSCULAIRE MYCORRHIZALE FUNGI (AMF), EN DE VERHOUDING VAN DE BACTERIËLE EN FUNGALE PLFA'S.

Significante verschillen kwamen enkel voor op het eerste en tweede bemonsteringstijdstip. Initieel waren het uitsluitend de objecten braak en Italiaans raaigras die significante verschillen vertoonden voor het aandeel van de Gramnegatieve bacteriën en de actinomyceten. Voor het braakobject waren de percentages voor deze bacteriële groepen hoger. De verhouding bacteriën:fungi toont ook aan dat de bacteriën significant sterker vertegenwoordigd waren t.o.v. de fungi in de bodem onder braak dan in de bodem onder Italiaans raaigras. Een maand na het opstarten van de incubatie was het aandeel van de Gramnegatieve bacteriën voor het braakobject

enkel significant groter dan dat van het object Japanse haver. Het aandeel van de actinomyceten was voor het braakobject en het object zonder het inwerken van gele mosterd significant groter dan voor de objecten met Italiaans raaigras, Japanse haver en het grasklavermengsel. De verhouding bacteriën:fungi toont aan dat de bacteriën significant sterker vertegenwoordigd waren t.o.v. de fungi in de bodem onder braak dan in de bodem met ingewerkt Italiaans raaigras, Japanse haver en het grasklavermengsel. Op het eind van de incubatie (na 14 weken) werden voor geen enkele karakteristieke groep nog significante verschillen vastgesteld.

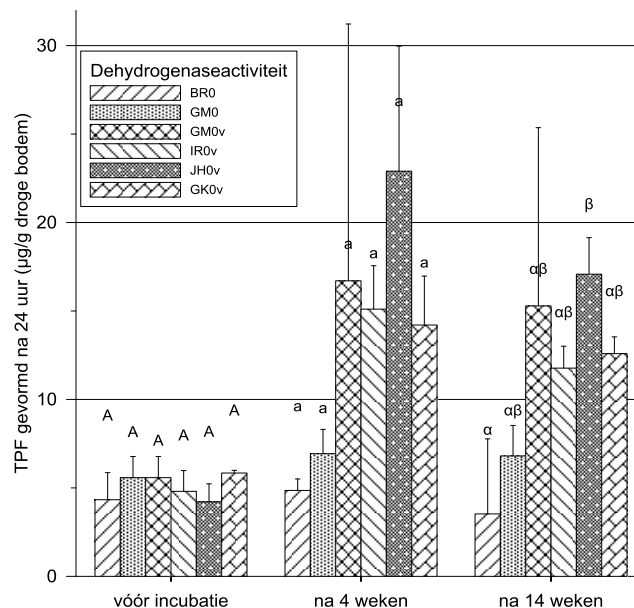
5.4.4 ENZYMATISCHE ACTIVITEIT

5.4.4.1 DEHYDROGENASE

Dehydrogenase is een intracellulair enzym dat een rol speelt in de aanmaak van ATP in micro-organismen. De aanmaak van ATP vloeit voort uit de afbraak van energierijke verbindingen, waardoor de concentratie aan dehydrogenase een maat is voor de microbiële afbraakcapaciteit van organische materiaal.

De concentratie aan dehydrogenase werd bepaald door aan de bodemmonsters een molecule (TTC) toe te voegen, die onder invloed van dehydrogenase wordt omgezet tot een verbinding met een rode kleur (TPF). De reactie liep over een duur van 24 uur bij een temperatuur van 37°C. Nadien werd de concentratie aan TPF bepaald met een spectrofotometer.

De dehydrogenaseactiviteit was vóór inwerken voor alle objecten gelijk. Voor de objecten met ingewerkte vanggewassen was de activiteit na 4 weken incubatie sterk toegenomen, na 14 weken incubatie was er opnieuw een lichte afname. Voor de andere objecten bleef de activiteit nagenoeg gelijk. Tussen de objecten werd er slechts één keer een significant verschil aangetoond: de dehydrogenaseactiviteit was 14 weken na het inwerken van Japanse haver significant groter dan voor het braakobject (Figuur 61). Het ontbreken van meer significante verschillen is te wijten aan een grote variabiliteit tussen de herhalingen, wat zich uit in grote standaardafwijkingen.



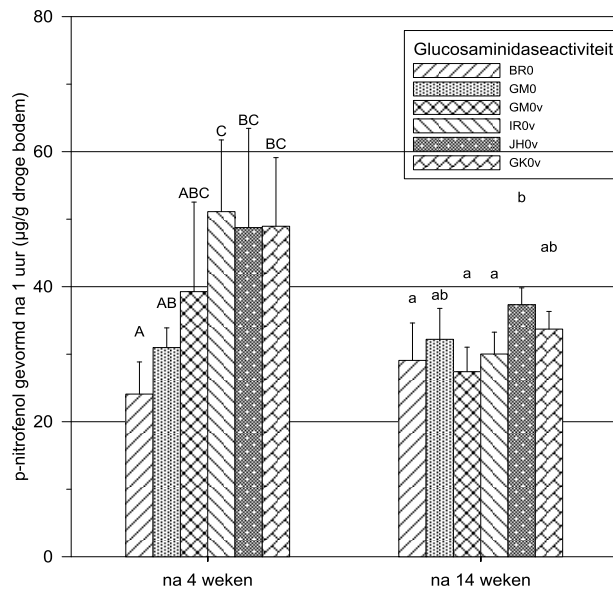
FIGUUR 61: DEHYDROGENASEACTIVITEIT TIJDENS DE N-MINERALISATIEPROEF.

5.4.4.2 B-GLUCOSAMINIDASE

N-acetyl- β -D-glucosaminidase is een microbieel enzym dat N-acetyl- β -D-glucosamine afkomstig van chito-oligosacchariden afbreekt en speelt daardoor een belangrijke rol in de afbraakprocessen van C- en N-houdende verbindingen.

De concentratie aan β -glucosaminidase werd bepaald door aan de bodemmonsters een molecule (PNNAG) toe te voegen, die onder invloed van het enzym wordt omgezet tot een verbinding met een gele kleur (p-nitrofenol). De reactie liep over een duur van 1 uur bij een temperatuur van 37°C. Nadien werd de concentratie aan p-nitrofenol bepaald met een spectrofotometer.

De β -glucosaminidaseactiviteit werd initieel niet bepaald. Voor de objecten met ingewerkt Italiaans raigras, Japanse haver en het grasklavermengsel was de activiteit na 4 weken incubatie significant groter dan voor het braakobject. Na 14 weken incubatie was enkel voor Japanse haver de β -glucosaminidaseactiviteit nog significant groter dan voor het braakobject (Figuur 62).



FIGUUR 62: B-GLUCOSAMINIDASEACTIVITEIT TIJDENS DE N-MINERALISATIEPROEF.

5.4.5 BESLUIT

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 veroorzaakt daarentegen significante effecten op de biologische bodemkwaliteit een maand na incubatie, maar is ook afhankelijk van het soort vanggewas. De effecten van ingewerkte gele mosterd zijn duidelijk kleiner, terwijl die voor Japanse haver groter zijn en langer aanhouden (tot 14 weken). Algemeen neemt bij het inwerken van een vanggewas de microbiële biomassa en de enzymactiviteit toe en is die toename proportioneel groter voor de schimmels dan voor de bacteriën.

6 MODELSIMULATIES C-DYNAMIEK

6.1 INLEIDING

Het gebruik van vanggewassen in een rotatie kan op lange termijn leiden tot een verhoogd organisch koolstofgehalte (OC) van de bodem. Om het lange termijneffect te bepalen, werden simulaties uitgevoerd over een periode van 30 jaar met een aangepaste versie van de Koolstofsimulator (LNE, 2006) die werd geïntegreerd in de *Decision Support Tool* (DST) die recent werd ontwikkeld in het kader van het Life+ Demeter project (Verlinden et al., 2013).

6.2 C-OPBRENGSTEN

Op basis van bemonstering van de wortels van de vanggewassen te Bottelare en te Lemberge werden gemiddelde verhoudingen bepaald tussen de bovengrondse en totale biomassa in het najaar (eind november) en in het voorjaar. Deze werden ook getoetst aan cijfers uit de internationale literatuur (Lainé et al. 1993; Arlauskienė en Maikstienienė, 2008).

TABEL 54: PERCENTAGE VAN DE BOVENGRONDSE C-OPBRENGST T.O.V. DE TOTALE C-OPBRENGST IN HET NAJAAR EN HET VOORJAAR.

	<i>eind november</i>			<i>voorjaar</i>		
	<i>0N</i>	<i>60N</i>	<i>120N</i>	<i>0N</i>	<i>60N</i>	<i>120N</i>
Gele mosterd	59	65	72	51	57	63
Italiaans raaigras	30	33	36	46	51	57
Japanse haver	40	44	49	47	52	57
Grasklaver	37	41	45	21	24	26

Met behulp van deze verhoudingen konden de gemeten bovengrondse C-opbrengsten voor alle locaties omgezet worden in totale C-opbrengsten. Vervolgens werden de gemiddelde totale C-opbrengsten berekend (Tabel 55) over alle locaties heen waar de vanggewassen werden ingezaaid in de maand augustus (met uitzondering van Oostende, waar de vanggewassen zich niet goed ontwikkelden). Er werd onderscheid gemaakt tussen vroeg en laat ingezaaide vanggewassen (respectievelijk ingezaaid 1^e en 2^e helft augustus).

TABEL 55: GEMIDDELDE C-OPBRENGSTEN (BOVENGRONDS + ONDERGRONDS) VOOR DE VANGGEWASSEN OP DE PROEFPERCELEN.

	<i>Zaaitijdstip</i>	<i>eind november</i>			<i>voorjaar</i>		
		<i>0N</i>	<i>60N</i>	<i>120N</i>	<i>0N</i>	<i>60N</i>	<i>120N</i>
GM	1	1855	2196	2408	1534	1634	1978
	2	1307	1597	1559	1865	1949	1725
IR	1	2114	2606	3079	1369	1524	1603
	2	1151	1531	1725	1553	1681	1716
JH	1	3493	4190	4194	2432	2892	2852
	2	1983	2341	2325	2135	1995	1933
GK	1	1568	2073	2296	1827	2452	2938
	2	710	939	1017	1626	2516	2797

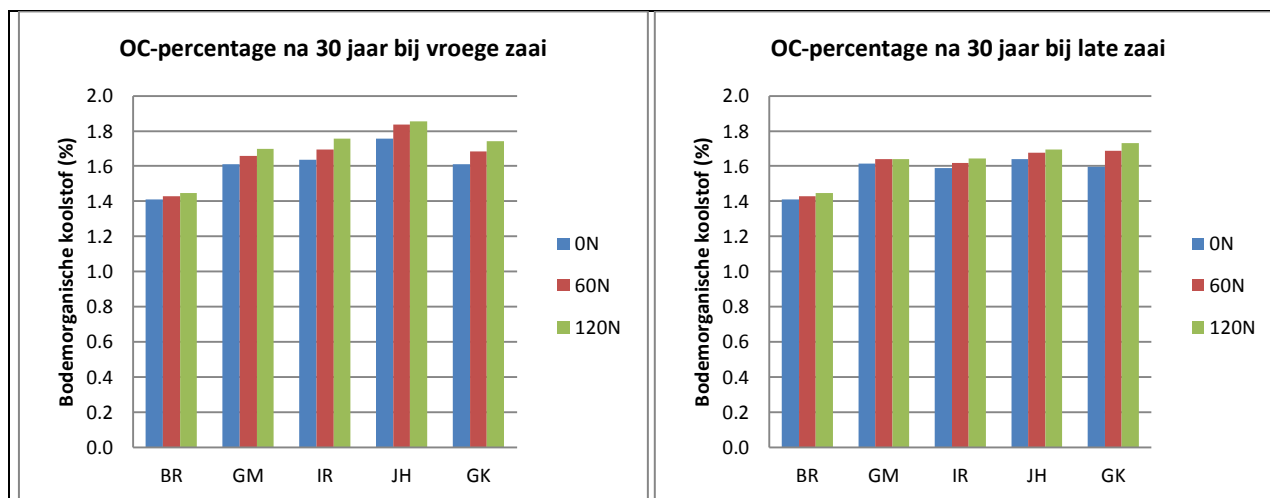
6.3 SIMULATIES

De simulaties werden uitgevoerd met het DST door op zandleem (proefperceel Lemberge) een 4-jarige rotatie te simuleren waarin tweemaal een vanggewas wordt ingezaaid na wintergerst (Tabel 56). Het stro werd afgevoerd. Het vanggewas wordt ingewerkt in het voorjaar en dus werden telkens de hoogste cijfers van de gemiddelde C-opbrengsten voor voorjaar en najaar toegepast. Het tijdens de winter afgestorven deel van het vanggewas draagt immers ook bij aan de OC-opbouw van de bodem. In de simulaties werd ook het scenario zonder het inzaaien van een vanggewas meegenomen. Er werd telkens mengmest toegediend na oogst van de wintergerst volgens de 3 bemestingstrappen zoals in de veldproeven. Buiten deze najaarsbemesting werd doorheen de volledige rotatie nooit organische mest toegediend. De humificatiecoëfficiënten die in het DST worden gebruikt voor de vanggewassen zijn weliswaar gebaseerd op Nederlandse cijfers (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1980) en liggen enigszins lager dan de humificatiecoëfficiënten die bepaald werden op basis van de incubatieproeven (Tabel 51, deel 5.3.3).

TABEL 56: OVERZICHT VAN DE ROTATIE, C-OPBRENGSTEN EN HUMIFICATIECOËFFICIËNTEN TOEGEPAST VOOR DE LANGE TERMIJNSIMULATIE.

<i>jaar</i>	<i>gewas</i>	<i>C-opbrengsten (kg C ha⁻¹)</i>	<i>humificatiecoëfficiënten</i>
1	wintergerst	2720	0,31
	vanggewas	volgens Tabel 55	GM: 0,22 IR: 0,25 JH: 0,30 GK: 0,25
	mestvarkensmengmest	60/120N: 360/720	0,30
2	suikerbiet	2780	0,22
3	wintergerst	2720	0,31
	vanggewas	volgens Tabel 55	GM: 0,22 IR: 0,25 JH: 0,30 GK: 0,25
	mestvarkensmengmest	60/120N: 360/720	0,30
4	aardappel	1560	0,23

De gesimuleerde evolutie van het OC-gehalte is ter illustratie weergegeven in Bijlage 12 voor de rotatie met braakbehandelingen en met vroeg ingezaaide gele mosterd. De bouwvoor van het perceel te Lemberge had een initieel OC-gehalte van 1,4%. Simulaties over 30 jaar vertonen voor alle scenario's een stijging van het OC-gehalte (Figuur 63). Het toepassen van vanggewassen vertoont een grote toename in het OC-gehalte t.o.v. de braakbehandelingen en is het grootst voor Japanse haver. De toename onder vanggewassen is groter bij vroege zaai dan bij late zaai. Het effect van de bemesting is beperkt op de braakbehandeling, maar is duidelijker waarneembaar bij het inzaaien van vanggewassen: de bemesting zorgt naast een rechtstreeks effect ook voor een extra C-input door de hogere C-opbrengst van het vanggewas.



FIGUUR 63: GESIMULEERD OC-PERCENTAGE NA 30 JAAR ONDER DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN.

6.4 BESLUIT

Simulaties van een 4-jarige rotatie waarin tweemaal een vanggewas wordt ingezaaid na wintergerst, leiden 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 ($1\text{-}26 \text{ kg N ha}^{-1}$) 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 verlagen 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 $224 \text{ kg EOC ha}^{-1}$) 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 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.

8 REFERENTIES

Arlauskiene, A. & Maikstieniene, S., 2008. The effect of catch crop nitrogen on soil properties and spring barley yield. *Latvian Journal of Agronomy*, 10, 78-82.

D'Haene, K., Salomez, J., De Neve, S., De Waele, J., Hofman, G., 2014. Schriftelijke correspondentie met de 1^e auteur naar aanleiding van gegevens uit het artikel. Environmental performance of the nitrogen fertiliser limits imposed by the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 192, 67-79.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. & Svendsen, H., 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fertilizer Research* 27, 245-259.

Lainé, P., Ourry, A., Macduff, J., Boucaud, J. en Salette, J., 1993. Kinetic parameters of nitrate uptake by different catch crop species : effects of low temperatures or previous nitrate starvation. *Physiologia Plantarum* 88, 85-92.

LNE, 2006. Ontwikkelen van een expertsysteem voor het adviseren van het koolstofbeheer in de landbouwbodems. Brussel, 146 p.

Ministerie van Landbouw en Visserij, 1980. Organische stof in de akkerbouw. *Vluchtschrift voor de landbouw* nummer 317.

Mira Rapport, 2011. Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2011 Vermesting. Overloop S., Bossuyt M., Claeys D., D'hooghe J., Elsen A., Eppinger R. en Wustenberghs H. Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be.

Rey, A., Pegoraro, E. & Jarvis, P.G., 2008. Carbon mineralization rates at different soil depths across a network of European forest sites (FORCAST). *European Journal of Soil Science* 29, 1049-1062.

Sleutel, S., De Neve, S., Roibas, M.R.P. en Hofman, G., 2005. The influence of model type and incubation time on the estimation of stable organic carbon in organic materials. *European Journal of Soil Science* 56, 505-514.

Thorup-Kirstensen, K., Magid, J. & Jensen, L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* 79, 227-302.

Van Dam, A.M., 2006. Understanding the reduction of nitrogen leaching by catch crops. Wageningen, Nederland, 171 p.

Verlinden, G., De Neve, S., Postma, R., Germeys, D., Sleutel, S., Hanegraaf, M., Verstegen, P., De Waele, J., Ros, G. & Steyaert, S., 2013. Demeter: Sustainable and integrated soil management to reduce environmental effects. In: D'Haene K., Vandecasteele B., De Vis R., Crappé S., Callens D., Mechant E., Hofman G., De Neve S. (eds). *Nutrihort: Proceedings: Nutrient management, innovative techniques and nutrient legislation in intensive horticulture for an improved water quality*. Merelbeke, 391 p., pp. 307-313.