



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

<b>Korte Nederlandstalige samenvatting</b> .....	1
<b>Uitgebreide Nederlandstalige samenvatting</b> .....	4
<b>Short English summary</b> .....	23
<b>Extensive English summary</b> .....	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 <sup>e</sup> proefjaar .....	53
3.4.2 Weersomstandigheden 2 <sup>e</sup> 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 <sub>min</sub> -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<sup>e</sup> proefjaar

Bijlage 8: Minerale bodemstikstof (0-90 cm) 2<sup>e</sup> proefjaar

Bijlage 9: Profielen minerale bodemstikstof 1<sup>e</sup> proefjaar

Bijlage 10: Profielen minerale bodemstikstof 2<sup>e</sup> proefjaar

Bijlage 11: Simulaties minerale bodemstikstof Sint-Denijs

Bijlage 12: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Sint-Denijs

Bijlage 13: Simulaties minerale bodemstikstof Bottelare 2<sup>e</sup> proefjaar

Bijlage 14: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Bottelare 2<sup>e</sup> proefjaar

Bijlage 15: Simulaties minerale bodemstikstof Merelbeke

Bijlage 16: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Merelbeke

Bijlage 17: Simulaties minerale bodemstikstof Rukkelingen-Loon (2<sup>e</sup> proefjaar)

Bijlage 18: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Rukkelingen-Loon (2<sup>e</sup> proefjaar)

Bijlage 19: Simulaties minerale bodemstikstof Bottelare (1<sup>e</sup> proefjaar)

Bijlage 20: Simulaties bovengrondse stikstofopbrengst Bottelare (1<sup>e</sup> 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 vanggewassen werden ingezaaid zonder enige bemesting na de oogst van wintergranen en situaties waarbij vanggewassen werden ingezaaid volgend op een bemesting met varkensmengmest na de oogst van wintergranen.

### 3. Proefopzet

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

### 4. Algemene besluiten

#### 4.1 Representativiteit proefopzet

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

#### 4.2 Minerale bodemstikstof

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



waarop 120 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 120 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sub>min</sub> 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<sub>min</sub>-gehalten.
- De gesimuleerde gemiddelde nitraatconcentraties op 90 cm vertoonden bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen tussen bemeste (60 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) ongeveer 10 kg N ha<sup>-1</sup> vrij tijdens het groeiseizoen van de volgteelt. Winterharde vanggewassen stellen 20 (niet-bemest) tot 30 kg N ha<sup>-1</sup> (bemest met 60 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup> (niet-bemest) en tussen 129 en 736 kg ha<sup>-1</sup> (bemest met 60 kg N ha<sup>-1</sup>). Op lichte bodems werden in het voorjaar gemiddelde bovengrondse EOC-opbrengsten gevonden tussen 132 en 572 kg ha<sup>-1</sup> voor niet-bemeste vanggewassen en tussen 210 en 718 kg ha<sup>-1</sup> voor bemeste (60 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) op de bovengrondse EOC-opbrengst was relatief klein (41 tot 224 kg EOC ha<sup>-1</sup>) 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<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup>. 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<sup>e</sup> zaai in de eerste helft en de 2<sup>e</sup> 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, CaCO<sub>3</sub>-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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar waren de 2<sup>e</sup> helft van augustus en de 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar werden in december negatieve temperaturen opgetekend; in het 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar bleef het kouder dan normaal, hetgeen de mineralisatie afremde. In het 1<sup>e</sup> 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 ( $N_{\text{plant}}$ ) van de vanggewassen was erg afhankelijk van de locatie, met name in het 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup> 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  $N_{\text{plant}}$  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*

$N_{\text{plant}}$  werd zeer duidelijk beïnvloed door het zaaitijdstip: op sommige locaties werden in het najaar significante verschillen gevonden tussen alle overeenkomstige behandelingen van de 1<sup>e</sup> en de 2<sup>e</sup> 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  $N_{\text{plant}}$  veel kleiner voor de 2<sup>e</sup> 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  $N_{\text{plant}}$  in het najaar duidelijk het grootst voor gele mosterd, gevolgd door Japanse haver. Italiaans raaigras en het grasklavermengsel vertoonden steeds de kleinste  $N_{\text{plant}}$ . Tijdens de winter ging voor gele mosterd een groot deel van  $N_{\text{plant}}$  verloren. In het voorjaar was  $N_{\text{plant}}$  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 ( $C_{\text{plant}}$ ) kan na inwerken van het vanggewas bijdragen tot de vorming van bodemorganische stof. De effecten van de verschillende factoren op  $C_{\text{plant}}$  waren in zekere mate vergelijkbaar met de effecten gevonden voor de bovengrondse stikstofopbrengst.

### 1. *Effect van de locatie*

De verschillen in  $C_{\text{plant}}$  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<sup>-1</sup> voor de 1<sup>e</sup> zaai en 0,5 tot 1,5 ton C ha<sup>-1</sup> voor de 2<sup>e</sup> zaai. In Rukkelingen-Loon, waar stormweer plaatsgreep kort na inzaai van de 1<sup>e</sup> 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  $C_{\text{plant}}$  bijna altijd groter dan bij late zaai. De verschillen in  $C_{\text{plant}}$  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<sup>e</sup> zaai, hetgeen wellicht het gevolg is van de slechte weersomstandigheden kort na inzaai van de 1<sup>e</sup> zaai.

### 3. *Effect van de bemesting*

In het najaar waren de bemestingsdosis en  $C_{\text{plant}}$  duidelijk positief gecorreleerd; in het voorjaar waren de verschillen in  $C_{\text{plant}}$  tussen de bemestingstrappen minder groot of zelfs geheel afwezig. Uitzonderingen hierop waren het grasklavermengsel in Merelbeke en Japanse haver in Bottelare in het 2<sup>e</sup> 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  $C_{\text{plant}}$  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  $C_{\text{plant}}$  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  $C_{\text{plant}}$  tijdens de winter.

### 3.3.2 OPVOLGING VAN DE MINERALE BODEMSTIKSTOF

#### 3.3.2.1 BEMONSTERING EN ANALYSE

Ter bepaling van de minerale bodemstikstof ( $N_{\text{min}}$ ) 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<sup>e</sup> 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 ( $\text{NH}_4^+$ ) 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  $N_{\text{min}}$ -gehalte van de bodem was de meest cruciale variabele in dit onderzoek aangezien het  $N_{\text{min}}$ -gehalte een maat is voor de potentiële uitspoeling in de periode volgend op de meting. Algemeen wordt hierbij aangenomen dat  $N_{\text{min}}$  tot een diepte van 90 cm kan migreren zonder definitief verloren te gaan, omdat plantenwortels tenminste tot die diepte in staat zijn  $N_{\text{min}}$  op te nemen.  $N_{\text{min}}$  die zich dieper bevindt wordt beschouwd als verloren. Vanuit die benadering werd in dit rapport dan ook rekening gehouden met het  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$  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  $N_{\text{min}}$ -gehalten kort na oogst van de wintergranen waren voor alle locaties vergelijkbaar en lagen tussen 30 en 80 kg N ha<sup>-1</sup>. 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  $N_{\text{min}}$ -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.  $N_{\text{min}}$  was af en toe zelfs significant hoger onder gele mosterd en Japanse haver van het 2<sup>e</sup> zaaitijdstip. Bij late zaai (na 1 september) en

goede ontwikkeling van de 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar). Aangezien uitspoeling vóór de winter (zeker in het drogere 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai) en 79% (2<sup>e</sup> zaai) van de gevallen géén significante verschillen in het  $N_{\min}$ -gehalte tussen niet-bemeste en met 60 kg N ha<sup>-1</sup> bemeste vanggewassen. Bij een bemesting van 120 kg N ha<sup>-1</sup> waren er in 83% (1<sup>e</sup> zaai) en 58% (2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar na 1 september werden ingezaaid. Indien voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup>. 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 ( $\pm 10$  kg N ha<sup>-1</sup>).

### 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<sup>-1</sup>. 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<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup> indien de slecht ontwikkelde (Oostende) en de na 31 augustus ingezaaide vanggewassen werden meegenomen, of tussen 24 en 514 kg C ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai van Japanse haver en voor de 1<sup>e</sup> 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  $\text{kg N ha}^{-1}$  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  $\text{kg N ha}^{-1}$  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  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) waren groter dan op leem (11  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) 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<sup>-1</sup> ofwel een beperkte afname ofwel een beperkte toename van de uitspoeling. Bij een bemesting met 120 kg N ha<sup>-1</sup> 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 NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O worden door het EU-rotate\_N-model als één output weergegeven. De gasvormige verliezen waren in het algemeen klein (< 7 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sub>min</sub>-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<sub>min</sub>-gehalte op 31 juli was zoals gemeten op beide proefpercelen (32,7 en 74,5 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> te bekomen. In tegenstelling tot de proef, waar voor beide zaaitijdstippen de bemesting werd uitgevoerd voorafgaand aan het 1<sup>e</sup> zaaitijdstip, werd de stoppel in deze scenarioanalyses ook voor het 2<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup>) 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 $N_{\text{MIN}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -gehalte bij oogst op de gewogen gemiddelde nitraatconcentraties na te gaan, werden telkens 3 simulaties uitgevoerd waarbij het  $N_{\text{min}}$ -gehalte bij oogst laag, gemiddeld en hoog was. Het gemiddelde  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -gehalte. Bij late inzaai namen de gesimuleerde nitraatconcentraties toe met een toenemend initieel  $N_{\text{min}}$ -gehalte onder alle vanggewassen. Het effect van de bemesting op de nitraatconcentratie werd bij late inzaai duidelijker met een toenemend initieel  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -gehalte onder braak, onder gele mosterd en onder Italiaans raaigras. Onder Japanse haver en het grasklavermengsel werd het  $N_{\text{min}}$ -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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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<sup>e</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) ongeveer  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  vrij tijdens het groeiseizoen van de volgteelt. Winterharde vanggewassen stellen 20 (niet-bemest) tot  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  (bemest met  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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<sup>e</sup> 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  $15^{\circ}\text{C}$ . 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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<sup>-1</sup>) en niet-bemeste vroeg ingezaaide vanggewassen waren relatief klein (41-224 kg EOC ha<sup>-1</sup>). 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  $\beta$ -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<sup>e</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) gevonden tussen niet-bemeste vanggewassen en vanggewassen waarop 120 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sub>min</sub> 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<sub>min</sub>-gehaltenes.
- De gesimuleerde gemiddelde nitraatconcentraties op 90 cm vertoonden bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen tussen bemeste (60 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup> 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 INGWERKTE 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<sup>-1</sup>) ongeveer 10 kg N ha<sup>-1</sup> vrij tijdens het groeiseizoen van de volgteelt. Winterharde vanggewassen stellen 20 (niet-bemest) tot 30 kg N ha<sup>-1</sup> (bemest met 60 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup> (niet-bemest) en tussen 129 en 736 kg ha<sup>-1</sup> (bemest met 60 kg N ha<sup>-1</sup>). Op lichte bodems werden in het voorjaar gemiddelde bovengrondse EOC-opbrengsten gevonden tussen 132 en 572 kg ha<sup>-1</sup> voor niet-bemeste vanggewassen en tussen 210 en 718 kg ha<sup>-1</sup> voor bemeste (60 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) op de bovengrondse EOC-opbrengst was relatief klein (41 tot 224 kg EOC ha<sup>-1</sup>) 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ , if they sow a catch crop before the 1<sup>st</sup> of September (on light textures) or before the 15<sup>th</sup> 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,  $\pm 60$  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 1<sup>st</sup> of September, non-fertilized and fertilized catch crops developed well, took up soil mineral nitrogen ( $N_{\text{min}}$ ) from the soil in autumn and reduced the risk of N losses during winter.
- For catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  pig slurry application. However, significant differences were found for the corresponding bare fallows.

## Short English summary

- For catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  pig slurry application, except for black oat where differences were significant.
- For catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  pig slurry application. For the corresponding bare fallows these differences were bigger and also significant.
- For catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  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 31<sup>st</sup> of August, a  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) release about  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  during the growing season of the next crop. Frost resistant crops release about  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  (without manure application) to  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  (with application of  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). 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<sup>-1</sup> (non-fertilized) and between 129 and 736 kg ha<sup>-1</sup> (fertilized with 60 kg N ha<sup>-1</sup>) on heavy textures at the end of November. On light textures in spring, average EOC yields were between 132 and 572 kg ha<sup>-1</sup> for non-fertilized catch crops and between 210 and 718 kg ha<sup>-1</sup> for fertilized (60 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) on aboveground EOC yield was small (41 to 224 kg EOC ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>, if they sow a catch crop before the 1<sup>st</sup> of September (on light textures) or before the 15<sup>th</sup> 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<sup>-1</sup>. 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 1<sup>st</sup> and the 2<sup>nd</sup> sowing date were in the 1<sup>st</sup> and the 2<sup>nd</sup> 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 1<sup>st</sup> sowing date in the 2<sup>nd</sup> half of August. Therefore, the 2<sup>nd</sup> sowing date was moved to the 1<sup>st</sup> 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, CaCO<sub>3</sub>, 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 1<sup>st</sup> 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 2<sup>nd</sup> 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 1<sup>st</sup> year. In both years, a longer frost period appeared in January and February. In March, temperatures remained cold in the 2<sup>nd</sup> year, inhibiting mineralization. In the 1<sup>st</sup> 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 2<sup>nd</sup> 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 1<sup>st</sup> 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<sup>-1</sup> 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 1<sup>st</sup> 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 1<sup>st</sup> and the 2<sup>nd</sup> 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<sup>-1</sup> for early sown catch crops and between 0.5 and 1.5 ton C ha<sup>-1</sup> 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 1<sup>st</sup> 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 1<sup>st</sup> 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 2<sup>nd</sup> 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 2<sup>nd</sup> 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  $\text{NH}_4^+$  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 ( $N_{\text{min}}$ ) was the most crucial variable in this research project as  $N_{\text{min}}$  is a measure for potential nitrate leaching in the period following the soil sampling. It is assumed that  $N_{\text{min}}$  can migrate to a depth of 90 cm without being lost, as plant roots can take up  $N_{\text{min}}$  to that depth. Therefore  $N_{\text{min}}$  was measured to a depth of 90 cm.

Based on the results of  $N_{\text{min}}$  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  $N_{\text{min}}$  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  $N_{\text{min}}$  contents were quite similar for all locations shortly after harvest of the winter cereals, varying between 30 and 80 kg N ha<sup>-1</sup>. 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 1<sup>st</sup> of September, significant effects of sowing date in autumn were mainly observed for frost resistant catch crops (Italian ryegrass and grass-clover):  $N_{\text{min}}$  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  $N_{\text{min}}$  were significant in autumn between late catch crops sown after the 31<sup>st</sup> 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 1<sup>st</sup> 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 2<sup>nd</sup> year, the manure effect was clear in January and slightly visible in spring; in the 1<sup>st</sup> year - when catch crops were also incorporated but not flail mown - this was less explicit. For very late sown catch crops (after the 31<sup>st</sup> 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 1<sup>st</sup> experimental year. As nitrate leaching was not likely to occur before winter (definitely in the drier 1<sup>st</sup> 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 2<sup>nd</sup> 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 31<sup>st</sup> 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<sup>-1</sup>. In case of a manure application of 120 kg N ha<sup>-1</sup>, 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 31<sup>st</sup> of August. Excluding situations where catch crops were sown after the 31<sup>st</sup> 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> or between 24 and 514 kg C ha<sup>-1</sup> when badly developed catch crops (Oostende) and catch crops sown after the 31<sup>st</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  did not result in a significant increase of  $N_{\min}$  under catch crops in autumn, for catch crops sown before the 1<sup>st</sup> of September. An application of  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  on the stubble of winter cereals, followed by catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $N_{\text{plant}}$  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 ( $N_{\text{plant}}$ ) 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  $N_{\text{plant}}$ . 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  $N_{\text{plant}}$  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  $N_{\text{plant}}$  was always overestimated and the overestimation was higher with increasing manure application rates. Since inaccurate  $N_{\text{plant}}$  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<sup>-1</sup> on silt loam and loamy sand ( $\pm 20$  kg N ha<sup>-1</sup>) were higher than on sandy loam (< 10 kg N ha<sup>-1</sup>), 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) were higher than on silt loam (11 kg N ha<sup>-1</sup>), which was explained by high differences in N<sub>min</sub> 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<sup>-1</sup> did not result in higher nitrate leaching under all early sown catch crops and at a rate of 120 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> resulted in a small increase or decrease in nitrate leaching, while at a rate of 120 kg N ha<sup>-1</sup>, 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 (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O) were generally small (< 7 kg N ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup> 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 1<sup>st</sup> and August 31<sup>st</sup>. The N<sub>min</sub> content on 31<sup>st</sup> of July was taken as measured in the field (32,7 en 74,5 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>. 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ . 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 $N_{\text{min}}$ 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  $N_{\text{min}}$  contents at the harvest of the winter cereal. The average  $N_{\text{min}}$  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  $N_{\text{min}}$  contents respectively. The distribution of  $N_{\text{min}}$  over the 3 soil layers was maintained in all scenarios.

Simulated average nitrate concentrations under bare fallows were clearly higher with increasing initial  $N_{\text{min}}$  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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) on the nitrate concentration was nearly independent of the initial  $N_{\text{min}}$  content under early sown catch crops. When sown late, simulated nitrate concentrations under catch crops increased with increasing initial  $N_{\text{min}}$  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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  would lead to a lower initial  $N_{\text{min}}$  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  $N_{\text{min}}$  under bare fallows, white mustard and Italian ryegrass. Under black oat and grass-clover,  $N_{\text{min}}$  contents were generally overestimated and the overestimation was higher with increasing manure application rates. The modeling accuracy for  $N_{\text{plant}}$  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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). 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<sup>-1</sup>) release about 10 kg N ha<sup>-1</sup> during the growing season of the next crop. Frost resistant crops release about 20 kg N ha<sup>-1</sup> (without manure application) to 30 kg N ha<sup>-1</sup> (with application of 60 kg N ha<sup>-1</sup>). 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>-1</sup>) and non-fertilized early sown catch crops were relatively small (41-224 kg EOC ha<sup>-1</sup>). 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  $\beta$ -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 1<sup>st</sup> 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 1<sup>st</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  pig slurry application. However, significant differences were found for the corresponding bare fallows.
- For catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  pig slurry application, except for black oat where differences were significant.
- For catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  pig slurry application. For the corresponding bare fallow treatments these differences were bigger and also significant.
- For catch crops sown before the 1<sup>st</sup> 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  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  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 31<sup>st</sup> of August, a  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) release about  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  during the growing season of the next crop. Frost resistant crops release about  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  (without manure application) to  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  (with application of  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). 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  $512 \text{ kg ha}^{-1}$  (non-fertilized) and between  $129$  and  $736 \text{ kg ha}^{-1}$  (fertilized with  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) on heavy textures at the end of November. On light textures in spring, average EOC yields were between  $132$  and  $572 \text{ kg ha}^{-1}$  for non-fertilized catch crops and between  $210$  and  $718 \text{ kg ha}^{-1}$  for fertilized ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) catch crops. Average aboveground EOC yields were always highest for black oat and lowest for the grass-clover mixture.
- Fertilization ( $60$  and  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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<sup>e</sup> 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,  $\pm 60$  en  $\pm 120$  kg totale N ha<sup>-1</sup>. 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 onderzoekopdracht 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

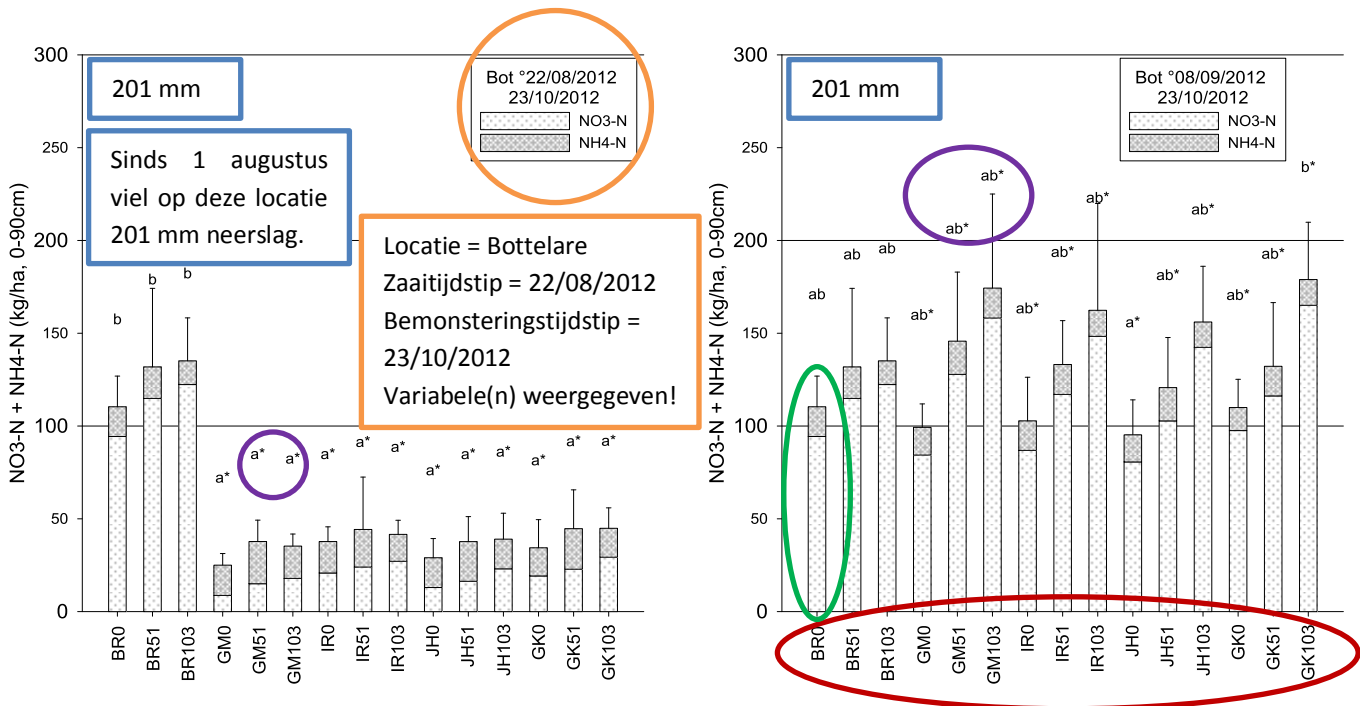
Zowel in de tekst als in de figuren wordt regelmatig gebruik gemaakt van onderstaande afkortingen, tekens of combinaties van cijfers en letters. Soms worden in de tekst ook logische variaties gemaakt op de afkortingen opgenomen in onderstaande lijst.

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 <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
BR120	Braakbehandeling met 120 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
C <sub>plant</sub>	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 <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
GK60	Grasklavermengsel met 60 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
GM	Gele mosterd
GM0	Gele mosterd zonder toegediende bemesting
GM60	Gele mosterd met 60 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
GM120	Gele mosterd met 120 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
IR	Italiaans raaigras
IR0	Italiaans raaigras zonder toegediende bemesting
IR60	Italiaans raaigras met 60 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
IR120	Italiaans raaigras met 120 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
JH	Japanse haver
JH0	Japanse haver zonder toegediende bemesting
JH60	Japanse haver met 60 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
JH120	Japanse haver met 120 kg N ha <sup>-1</sup> toegediend onder vorm van varkensmengmenst
L	Links
LEM	Lemberge
MER	Merelbeke

N <sub>min</sub>	Minerale bodemstikstof
N <sub>plant</sub>	Bovengrondse N-opbrengst
N <sub>plant-mest</sub>	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:  $p < 0,05$ ).

NO<sub>3</sub>-N en NH<sub>4</sub>-N en standaard afwijking van de metingen op de som van NO<sub>3</sub>-N en NH<sub>4</sub>-N (= N<sub>min</sub>)

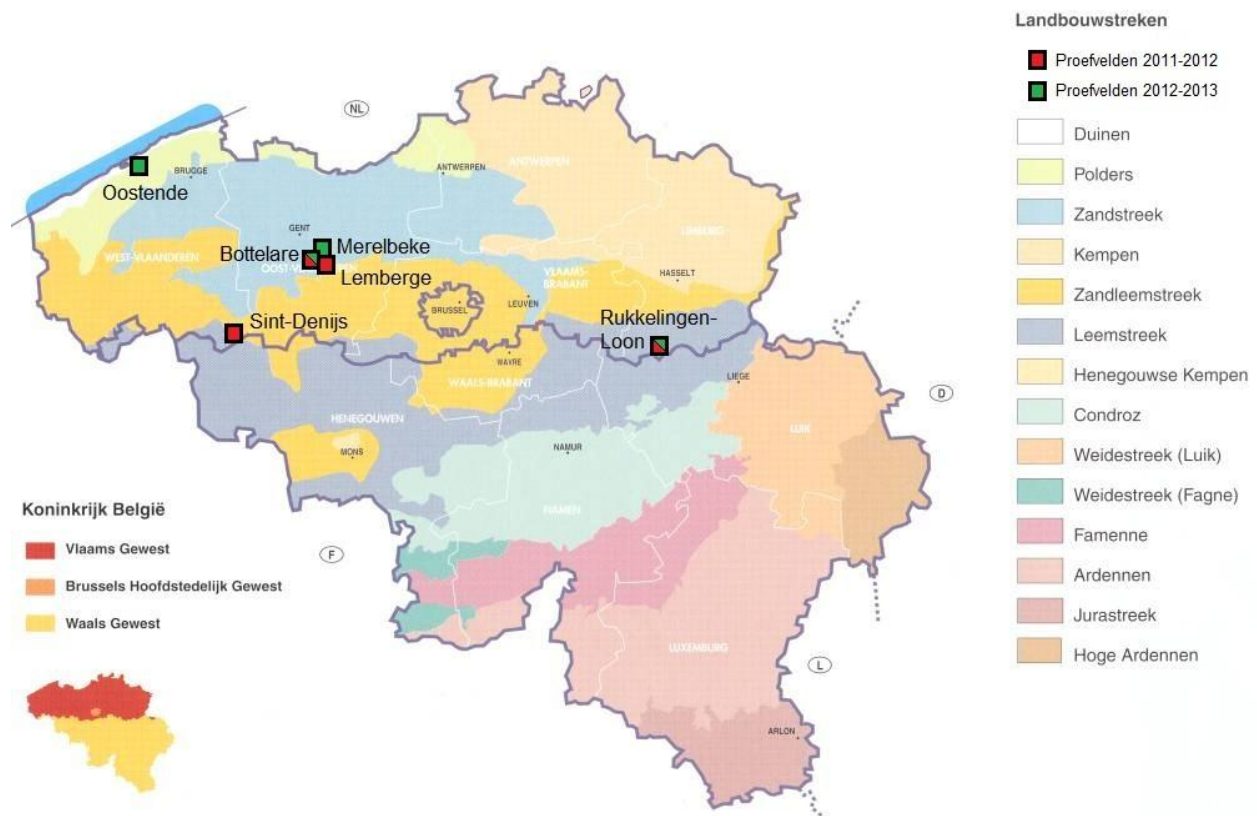
Verschillende behandelingen: zo komen GM51 en GM103 overeen met gele mosterd die op deze locatie 51 en 103 kg N ha<sup>-1</sup> toegediend kreeg onder de vorm van varkensmest.

### 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 ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en 2 behandelingen met varkensmest (ongeveer  $60$  en  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ )
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 <sup>-1</sup> )	Mengmest (ton ha <sup>-1</sup> )
Bottelare 1	2011-2012	Triticale	GM, IR, JH	1 <sup>e</sup> : 10/08/2011	77 en 154	14,5 en 29
Bottelare 2	2011-2012	Wintertarwe	GM, IR, JH	2 <sup>e</sup> : 29/08/2011	77 en 154	14,5 en 29
Lemberge	2011-2012	Wintergerst	GM, IR, JH, GK	1 <sup>e</sup> : 04/08/2011 2 <sup>e</sup> : 31/08/2011	53 en 106	7 en 14
Rukkelingen-Loon	2011-2012	Wintertarwe	GM, IR, JH, GK	1 <sup>e</sup> : 18/08/2011 2 <sup>e</sup> : 31/08/2011	44 en 88	8 en 16
Sint-Denijs	2011-2012	Wintertarwe	GM, IR, JH, GK	1 <sup>e</sup> : 12/08/2011 2 <sup>e</sup> : 30/08/2011	39 en 78	14 en 28
Bottelare	2012-2013	Triticale	GM, IR, JH, GK	1 <sup>e</sup> : 22/08/2012 2 <sup>e</sup> : 08/09/2012	51 en 103	8 en 17
Merelbeke	2012-2013	Wintergerst	GM, IR, JH, GK	1 <sup>e</sup> : 01/08/2012 2 <sup>e</sup> : 30/08/2012	57 en 114	8 en 16
Oostende	2012-2013	Wintertarwe	GM, IR, JH	1 <sup>e</sup> : 22/08/2012 2 <sup>e</sup> : 11/09/2012	64 en 128	9 en 18
Rukkelingen-Loon	2012-2013	Wintertarwe	GM, IR, JH, GK	1 <sup>e</sup> : 21/08/2012 2 <sup>e</sup> : 05/09/2012	65 en 131 kg N ha <sup>-1</sup>	12 en 24

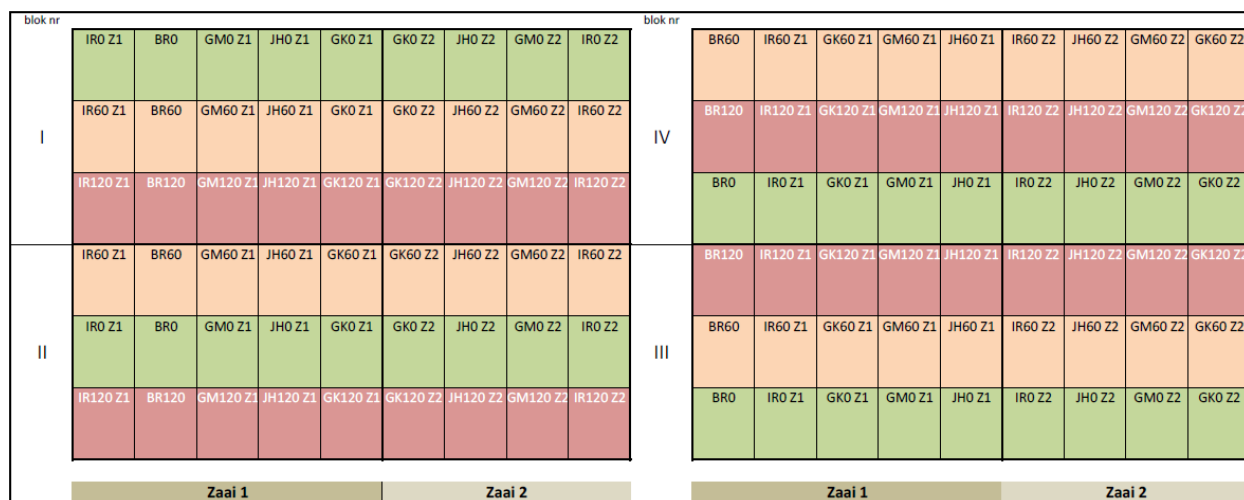
De ingezaaide soorten vanggewassen waren overal dezelfde, hoewel het eerste jaar in Bottelare en het tweede jaar in Oostende geen grasklavermengsel werd ingezaaid. In het eerste proefjaar verschilden de zaaidichtheden en de rassen van de ingezaaide vanggewassen van locatie tot locatie (Bijlage 1), maar 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<sup>e</sup> proefjaar) en 19% (0N, 1<sup>e</sup> proefjaar) voor de 1<sup>e</sup> zaai en tussen 1% (120N, 2<sup>e</sup> proefjaar) en 8% (60N, 1<sup>e</sup> proefjaar) voor de 2<sup>e</sup> zaai. De N-fixatie door de klaver werd dan ook zeer laag ingeschat.

TABEL 3: VARIËTEITEN EN ZAAIDICHTHEDEN VOOR DE IN HET 2<sup>F</sup> PROEFJAAR GEBRUIKTE VANGGEWASSEN.

<b>Vanggewas</b>	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Engels raaigras + rode en witte klaver
<b>Wetenschappelijke naam</b>	Sinapsis alba	Lolium multiflorum	Avena strigosa	Lolium perenne + Trifolium pratense + Trifolium repens
<b>Variëteit</b>	Salsa	Meltop	Pratex	Melpro/Meltador/ Merviot/Merwi
<b>Zaadichtheid</b>	25 kg ha <sup>-1</sup>	45 kg ha <sup>-1</sup>	75 kg ha <sup>-1</sup>	Engels raaigras: 30 kg ha <sup>-1</sup> Rode klaver: 8 kg ha <sup>-1</sup> Witte klaver: 4 kg ha <sup>-1</sup>
<b>Rijafstand</b>	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<sup>-1</sup>) 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 CaCO<sub>3</sub>-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.

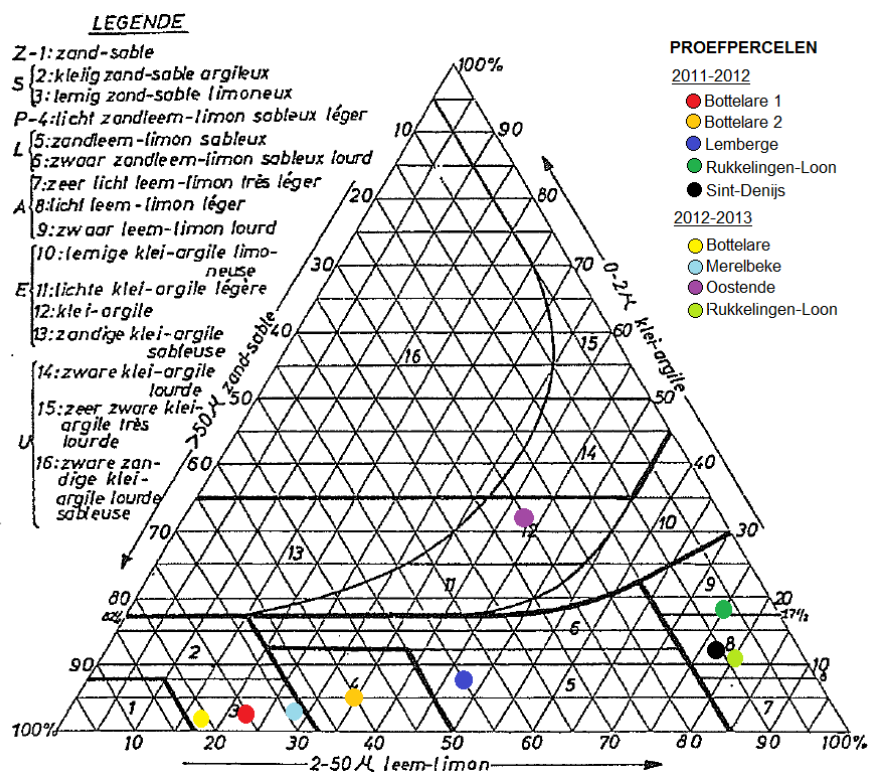
De pH werd gemeten in een 1M KCl-oplossing (1:5) volgens ISO 10390. Het OC-gehalte werd bepaald volgens de (gewijzigde) dichromaatmethode of door verbranding bij 1050°C met een TOC-analyzer (Skalar Primacs SLC) volgens ISO 10694. Voor de verschillende locaties lag het OC-gehalte tussen 0,8 en 1,25%. Het CaCO<sub>3</sub>-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 CaCO<sub>3</sub>-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 CaCO<sub>3</sub>-GEHALTE VAN DE BOUWVOOR VAN DE PROEFVELDEN.

Locatie	Proefjaar	pH-KCl	OC (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	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  $\text{mg N kg}^{-1}$  bodem naar  $\text{kg N ha}^{-1}$ . 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  $100 \text{ cm}^3$  werden gewogen na 24 uur gedroogd te zijn in een oven op  $105^\circ\text{C}$ .

TABEL 5: SCHIJNBARE DICHTHEID ( $\text{G CM}^{-3}$ ) 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> PROEFJAAR BIJ TOEDIENING OP HET VELD (VM = VERSE MEST).

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

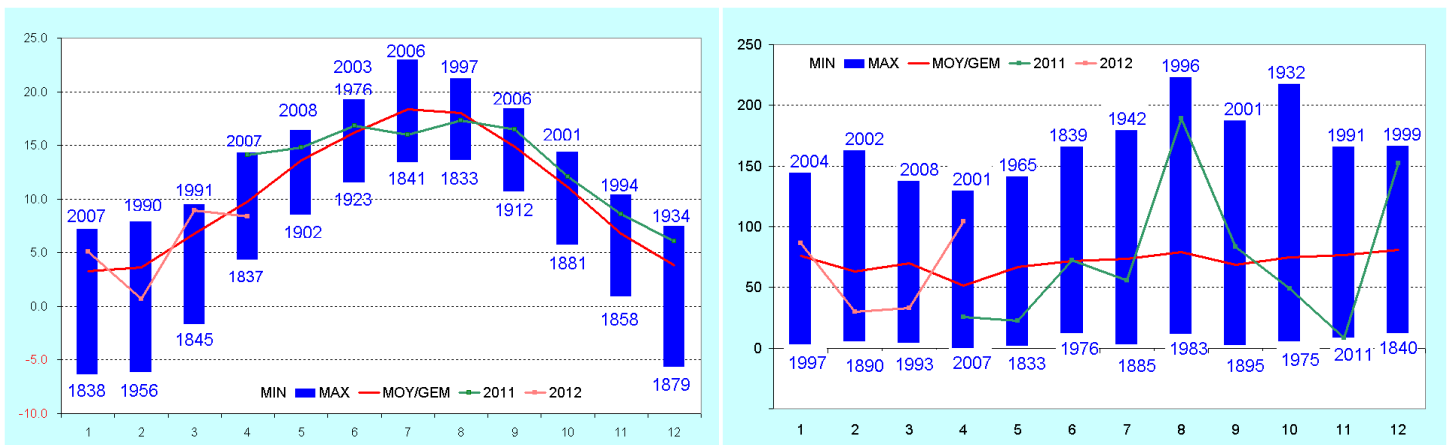
TABEL 7: SAMENSTELLING VAN DE VARKENSMENGMEST IN HET 2<sup>E</sup> PROEFJAAR: IN DE PUT EN BIJ TOEDIENING OP HET VELD (MINIMA, MAXIMA EN GEMIDDELDEN; VM = VERSE MEST).

Locatie	Totale N (kg/ton VM)			NH <sub>3</sub> -N (kg/ton VM)			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (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<sup>E</sup> PROEFJAAR

De weersomstandigheden in de herfst van het 1<sup>e</sup> 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.



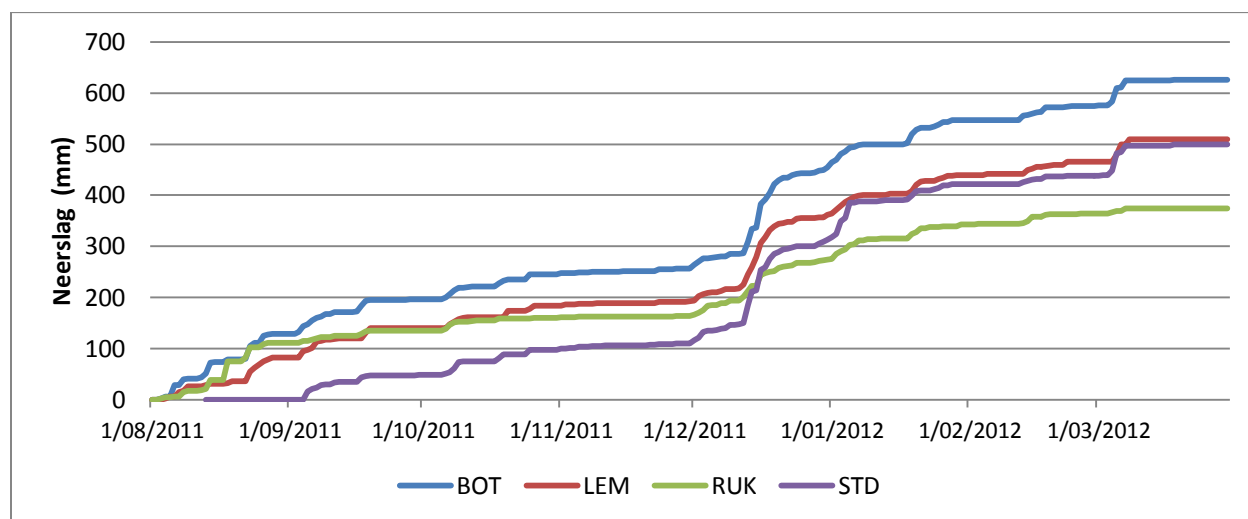
FIGUUR 4: MAANDELIJKE GEMIDDELTE TEMPERAATUUR (L) EN NEERSLAG (R) APRIL-DECEMBER 2011 EN JANUARI-APRIL 2012 TE UKKEL T.O.V. HET KLIMATOLOGISCH GEMIDDELTE EN DE MINIMA EN MAXIMA OOIET GEMETEN TE UKKEL (KMI, 2012).

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.

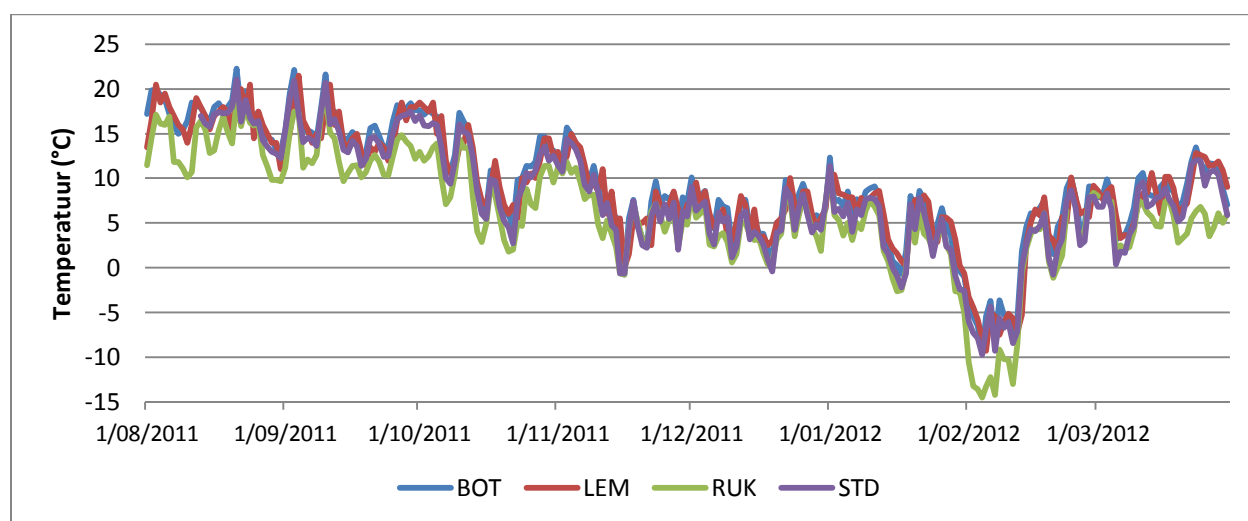
Algemeen waren er 2 grote neerslagperiodes: één in augustus en één in december-januari. In augustus werd in Rukkelingen-Loon stormweer vastgesteld enkele uren na inzaai van de vanggewassen. Een hevige bui (36 mm) verstoortte de goede ontwikkeling van het 1<sup>e</sup> zaaitijdstip. In september en oktober 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<sup>e</sup> 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.



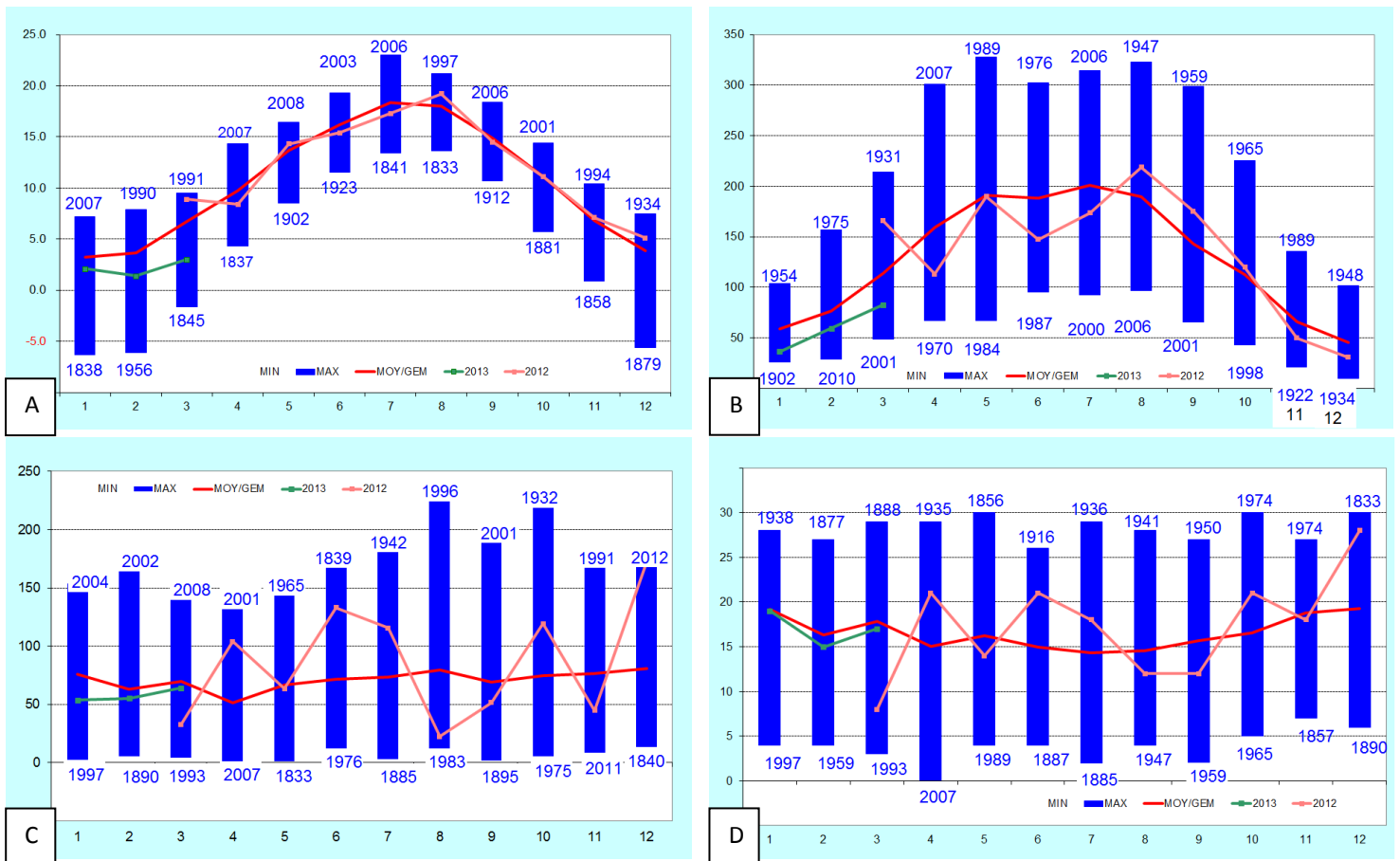
FIGUUR 5: CUMULATIEVE NEERSLAG TUSSEN 1 AUGUSTUS 2011 EN 31 MAART 2012 VOOR DE 4 PROEFVELDLOCATIES. VOOR SINT-DENIJS WERDEN DE NEERSLAGGEGEVENS PAS GEREISTREERD VANAF 13 AUGUSTUS.



FIGUUR 6: GEMIDDELTE 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.

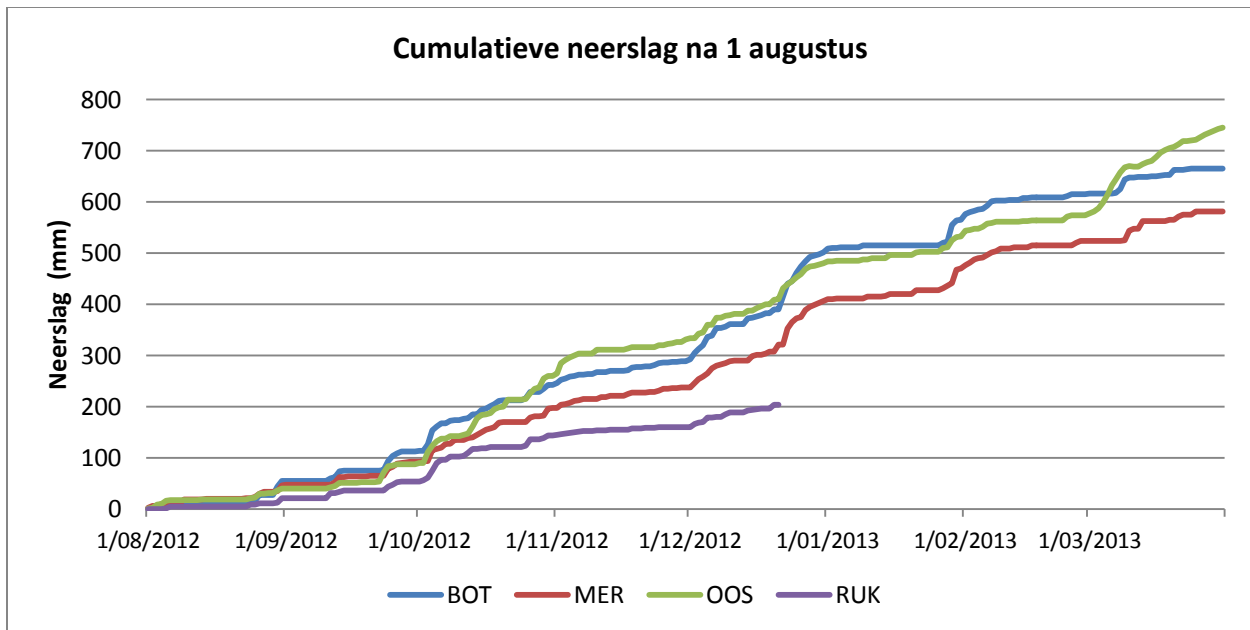
### 3.4.2 WEERSOMSTANDIGHEDEN 2<sup>E</sup> PROEFJAAR

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<sup>e</sup> proefjaar minder waarschijnlijk dan in het 1<sup>e</sup> proefjaar.

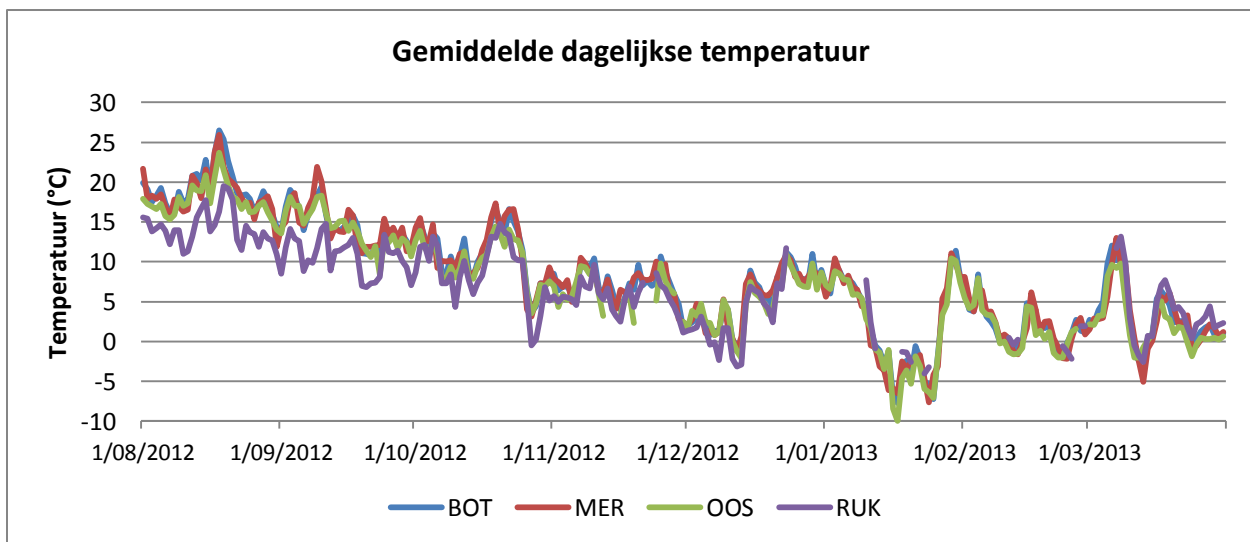


**FIGUUR 7: MAANDELIJKE GEMIDDELDE TEMPERatuur (A), ZONNESCHIJNUREN (B), NEERSLAG (C) EN AANTAL NEERSLAGDAGEN (D) VOOR MAART-DECEMBER 2012 EN JANUARI-MAART 2013 TE UKKEL T.O.V. HET KLIMATOLOGISCH GEMIDDELDE EN DE MINIMA EN MAXIMA OOIET GEMETEN TE UKKEL (KMI, 2013).**

Het weer op de 4 locaties sloot net als in het 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai geogst, aangezien de

2<sup>e</sup> zaai nog niet voldoende ontwikkeld was om geoogst te kunnen worden. In Oostende werd de 1<sup>e</sup> 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.**

<b>Locatie</b>	<b>Proefjaar</b>	<b>Oogst 1</b>	<b>Oogst 2</b>	<b>Oogst 3</b>
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.

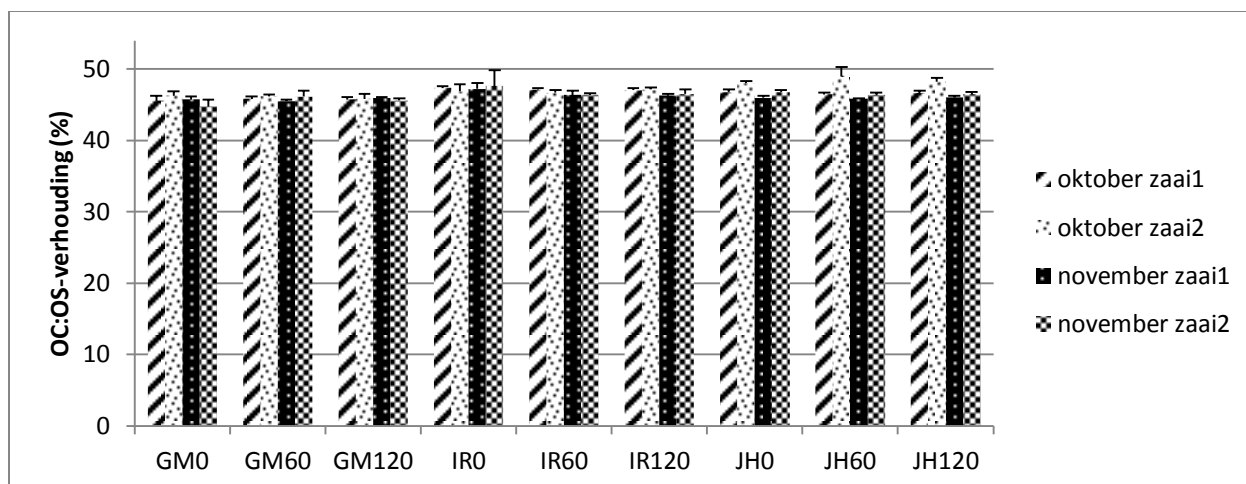
### 3.5.1.3 STIKSTOF

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.

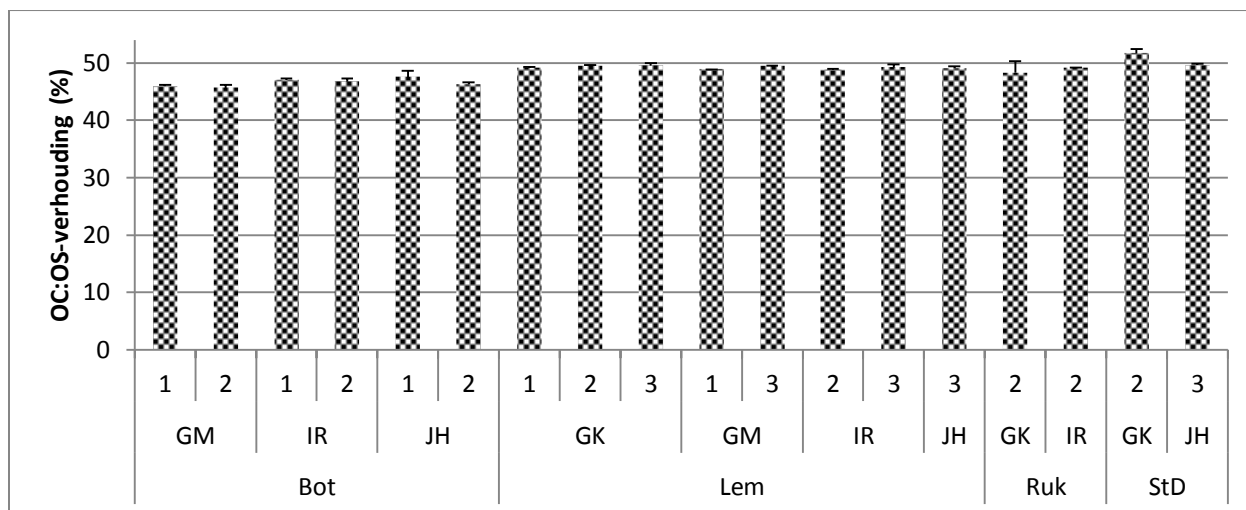
### 3.5.1.4 KOOLSTOF

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<sup>e</sup> jaar en 0,479 voor het 2<sup>e</sup> 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 ZAAITIJDSIPPEN IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR. DE GEMIDDELDEN ZIJN WEERGEGEVEN MET DE STANDAARD AFWIJING.



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<sup>E</sup> PROEFJAAR. DE WEERGEGEVEN GEMIDDELDEN OMVATTEN BEMESTE EN NIET-BEMESTE VANGGEWASSEN VAN BEIDE ZAAITIJDSIPPEN EN ZIJN WEERGEGEVEN MET DE STANDAARD AFWIJING.

### 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.

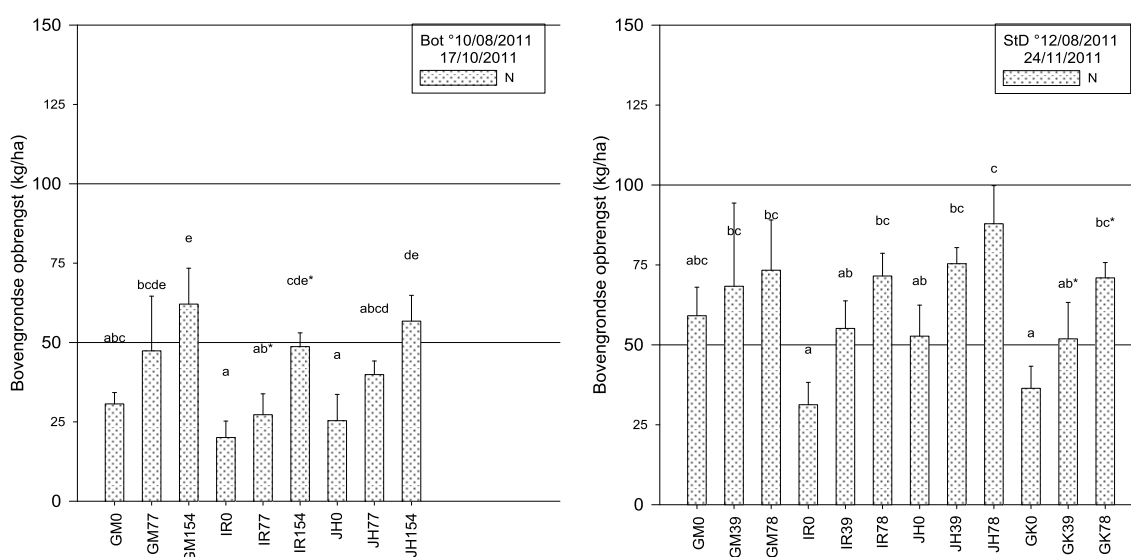
#### 3.5.2.1 BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST 1<sup>E</sup> PROEFJAAR

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

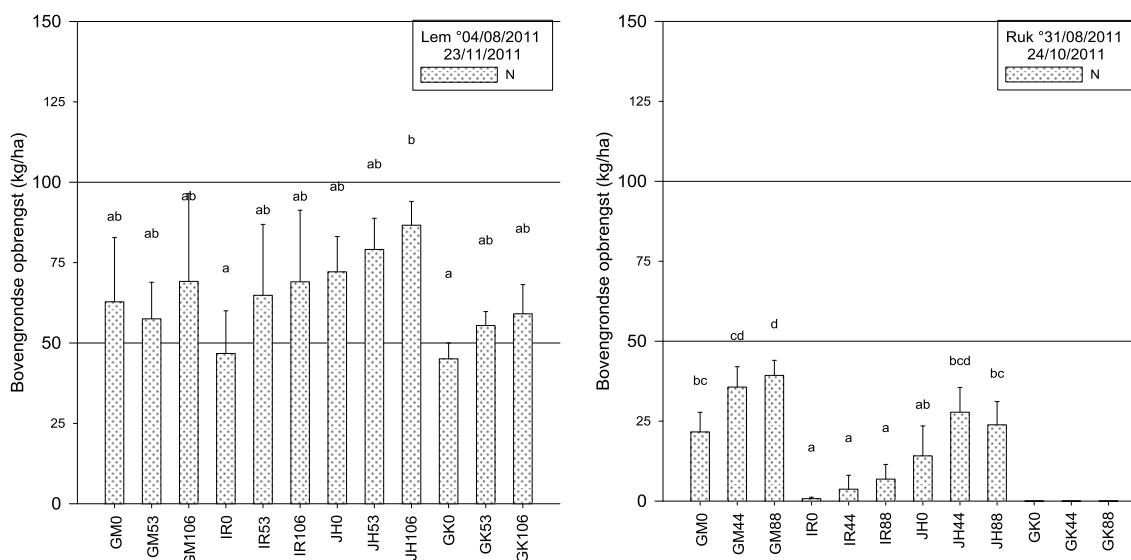
de weersomstandigheden en de inzaaidata te verschillend waren om de waarnemingen samen te bespreken. In de uitgebreide samenvattingen werden de resultaten wel geanalyseerd over beide proefjaren heen.

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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai en in Lemberge werd voor geen van de vanggewassen een significant effect van de bemesting gevonden (Figuur 13).

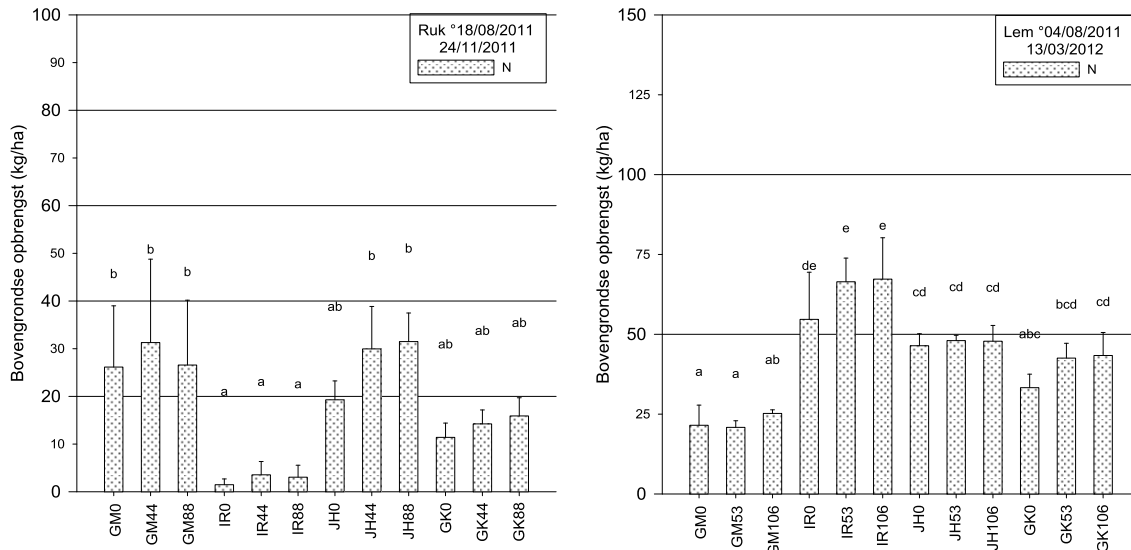


FIGUUR 12:  $N_{PLANT}$  VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI TE BOTTELARE OP 17 OKTOBER (L) EN VOOR DE 2<sup>E</sup> ZAAI TE SINT-DENIJS OP 24 NOVEMBER (R).



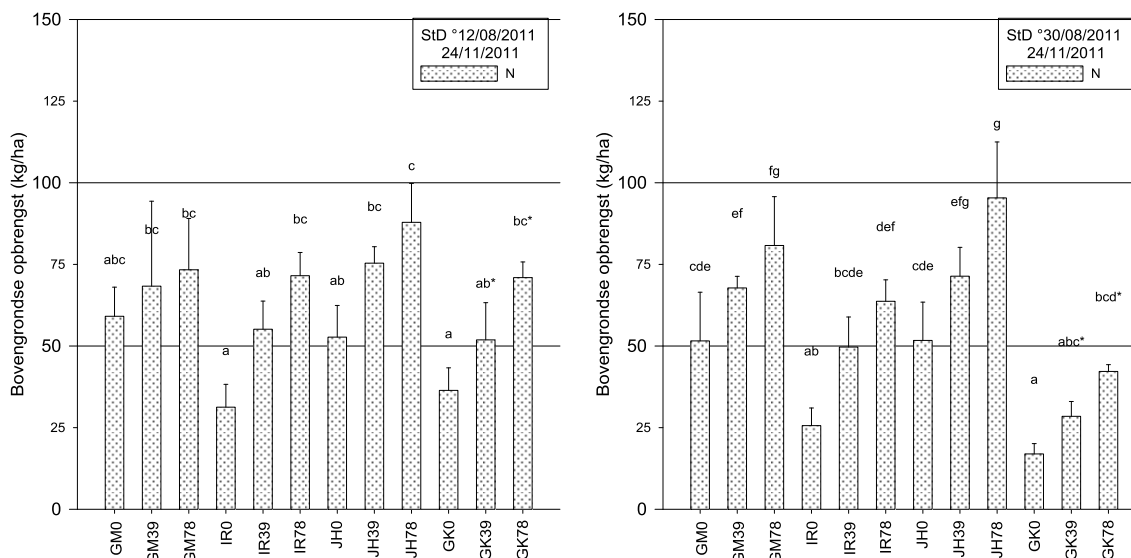
FIGUUR 13:  $N_{PLANT}$  VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI TE LEMBERGE OP 23 NOVEMBER (L) EN VOOR DE 2<sup>E</sup> ZAAI TE RUK-LOON OP 24 OKTOBER (R).

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<sup>e</sup> zaai dan voor de 1<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> 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<sup>e</sup> zaai, waardoor  $N_{plant}$  voor de 2<sup>e</sup> zaai significant groter was dan voor de 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> ZAAI (L) EN DE 2<sup>E</sup> ZAAI (R).

### 3.5.2.2 BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST 2<sup>E</sup> PROEFJAAR

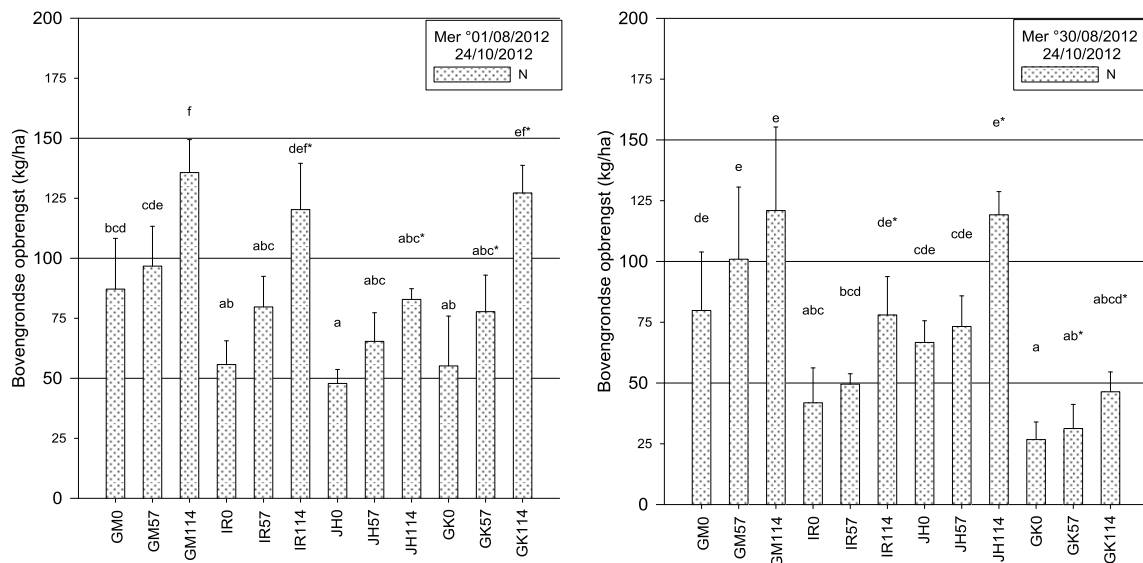
Ook voor het 2<sup>e</sup> proefjaar kunnen de resultaten van de bovengrondse stikstofopbrengst ( $N_{plant}$ ) teruggevonden worden in Bijlage 5. In Merelbeke was er in augustus een zeer uitbundige opslag van de wintergerst. Om een goede opkomst van alle vanggewassen te verzekeren werd de opslag in de 1<sup>e</sup> zaai Italiaans raaigras en grasklaver gemaaid. De N-opbrengst van dit maaisel werd voor de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> oogst bij de gewasopbrengsten opgeteld. In Bottelare werd de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup>), terwijl in Oostende nauwelijks N werd opgenomen. De 1<sup>e</sup> zaai van Bottelare bleek zich relatief goed te ontwikkelen, maar toch minder goed dan de 2<sup>e</sup> zaai van Merelbeke, terwijl de beschikbare hoeveelheid  $N_{min}$  in de bodem (op de braak) vergelijkbaar was. Voor de 1<sup>e</sup> zaai in Rukkelingen-Loon was  $N_{plant}$  vergelijkbaar met die voor de 1<sup>e</sup> zaai in Bottelare, maar de 2<sup>e</sup> 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 $N_{plant}$

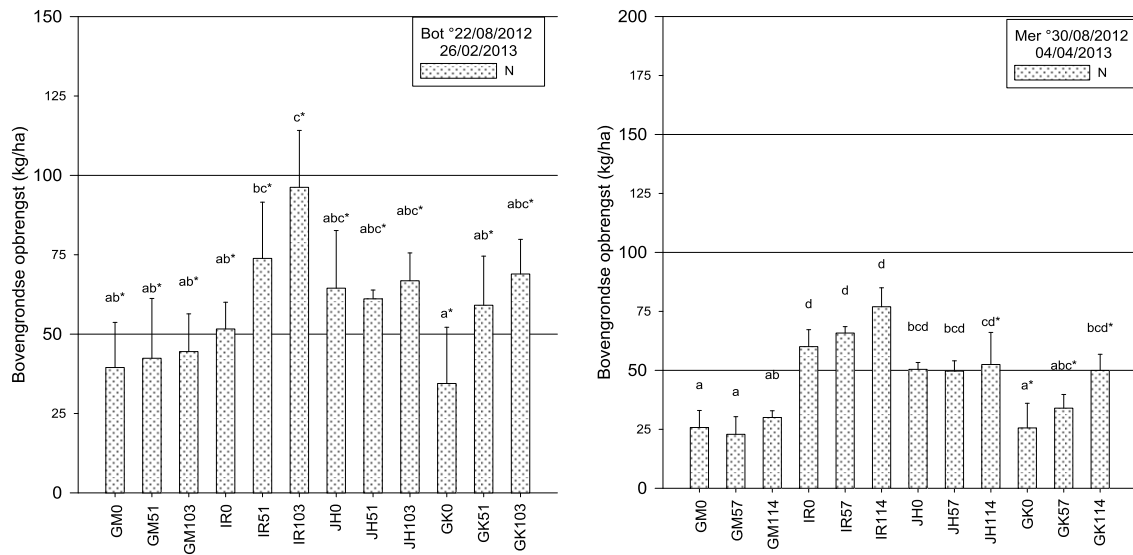
$N_{plant}$  werd zeer duidelijk beïnvloed door het zaaitijdstip. In Merelbeke, waar de 2<sup>e</sup> zaai nog voor 1 september werd uitgevoerd, zijn vooral significante verschillen waarneembaar voor de zich trager ontwikkelende vanggewassen, met name Italiaans raaigras en het grasklavermengsel (Figuur 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<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> 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<sup>e</sup> als voor de 2<sup>e</sup> zaai (Figuur 16). In Bottelare en Rukkelingen-Loon was dat voornamelijk het geval voor de 1<sup>e</sup> zaai. In het voorjaar was in Bottelare en Merelbeke enkel nog een duidelijk effect te zien voor de winterharde vanggewassen van het 1<sup>e</sup> zaaitijdstip (Figuur 17). Voor het 2<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> ZAAI IN BOTTELARE (L) EN VOOR DE 2<sup>E</sup> 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<sup>e</sup> zaai. Wel werd voor sommige vanggewassen (vooral Japanse haver) voor de 1<sup>e</sup> oogst een hogere opbrengst teruggevonden dan voor de 2<sup>e</sup> oogst, doordat het afsterven van de onderste plantdelen sneller verliep dan de aangroei aan de bovenzijde. Voor de 2<sup>e</sup> 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.

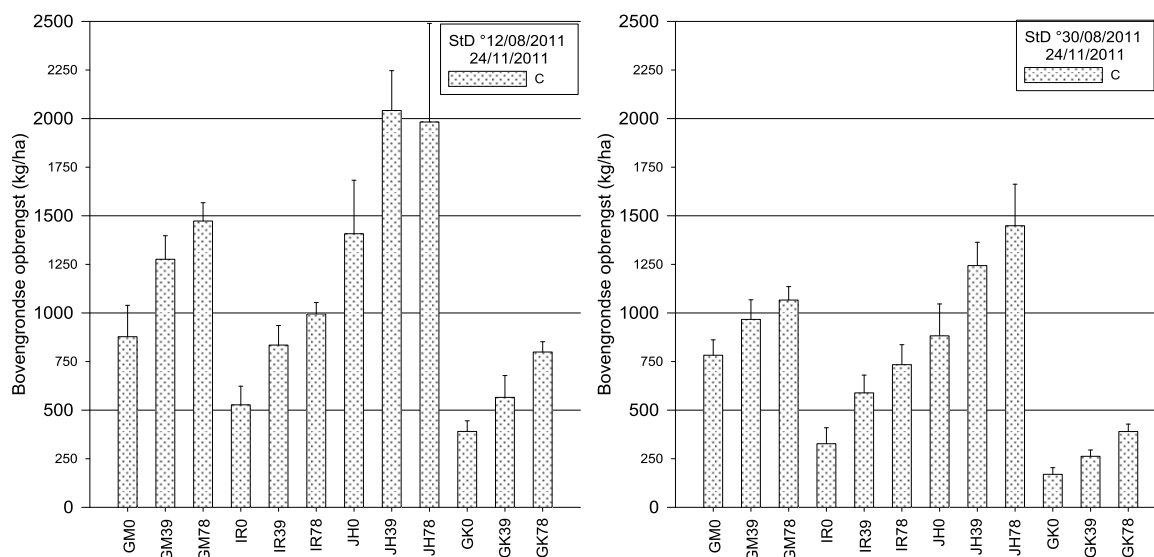
### 3.5.3.1 BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST 1<sup>E</sup> PROEFJAAR

#### 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<sup>-1</sup> voor de 1<sup>e</sup> zaai en 0,5 tot 1,5 ton C ha<sup>-1</sup> voor de 2<sup>e</sup> zaai. In Rukkelingen-Loon, waar stormweer plaatsgreep kort na de 1<sup>e</sup> zaai, werden voor alle vanggewassen minder hoge C-opbrengsten bereikt.

#### 2. Effect van het zaaitijdstip op $C_{plant}$

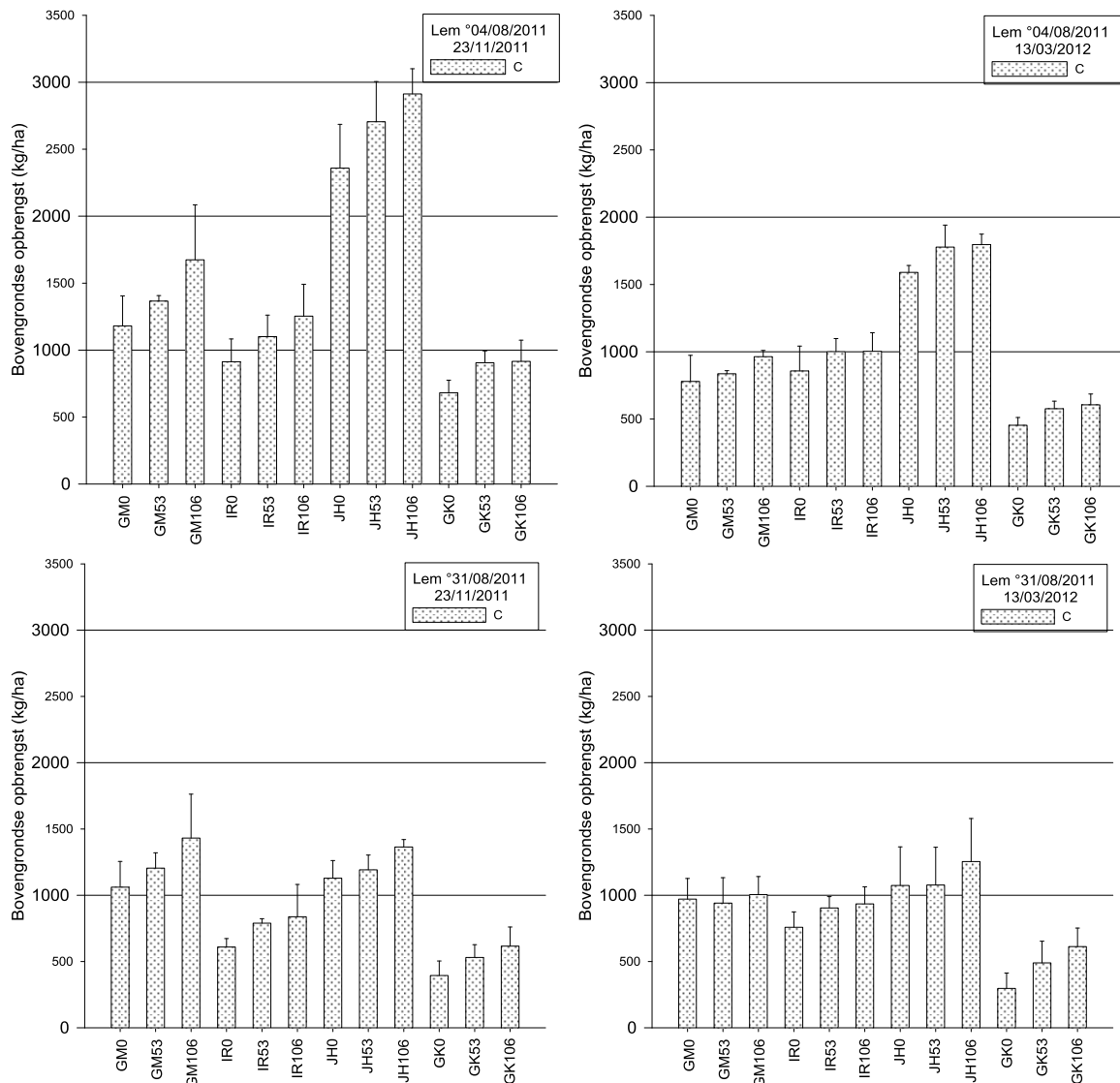
Bij vroege zaai werden in bijna alle gevallen hogere C-opbrengsten bekomen dan bij late zaai (Figuur 18). De verschillen in  $C_{plant}$  tussen beide zaaitijdstippen zijn meer uitgesproken in het najaar dan in het voorjaar. In Rukkelingen-Loon werden voor enkele vanggewassen hogere C-opbrengsten gevonden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



FIGUUR 18:  $C_{plant}$  EIND NOVEMBER IN SINT-DENIJS: 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R).

#### 3. Effect van de bemestingsdosis op $C_{plant}$

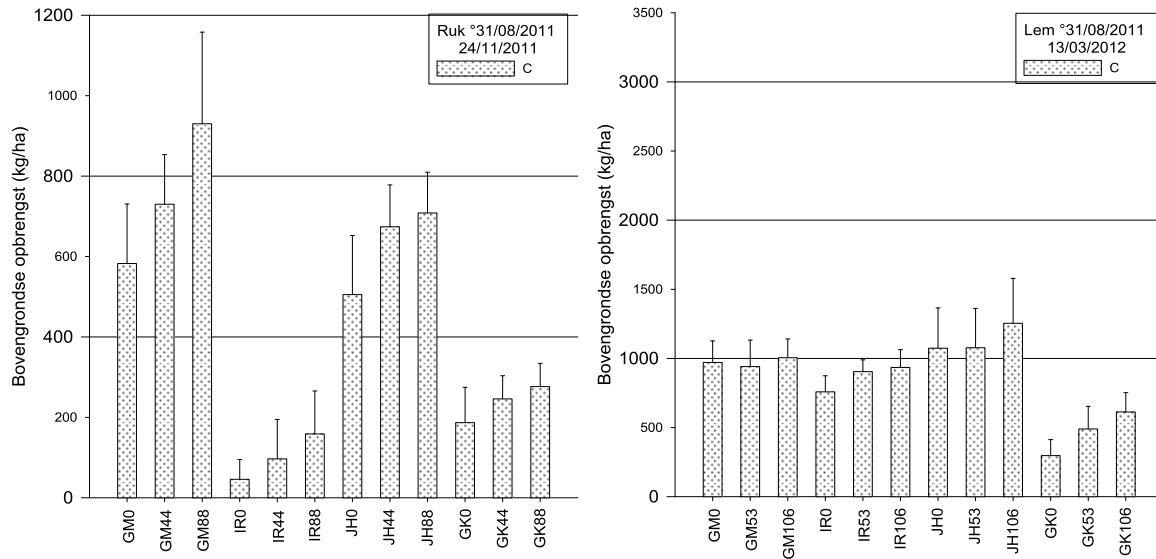
In het najaar waren de bemestingsdosis en  $C_{plant}$  duidelijk positief gecorreleerd (Figuur 19); in het voorjaar waren de verschillen in  $C_{plant}$  tussen de bemestingstrappen minder groot of zelfs geheel afwezig. Dit wijst erop dat een deel van de extra  $C_{plant}$  afstierf tijdens de winter: 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<sup>E</sup> ZAAI (BOVEN) EN 2<sup>E</sup> 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 groot deel van  $C_{plant}$  tijdens de winter (Figuur 20).

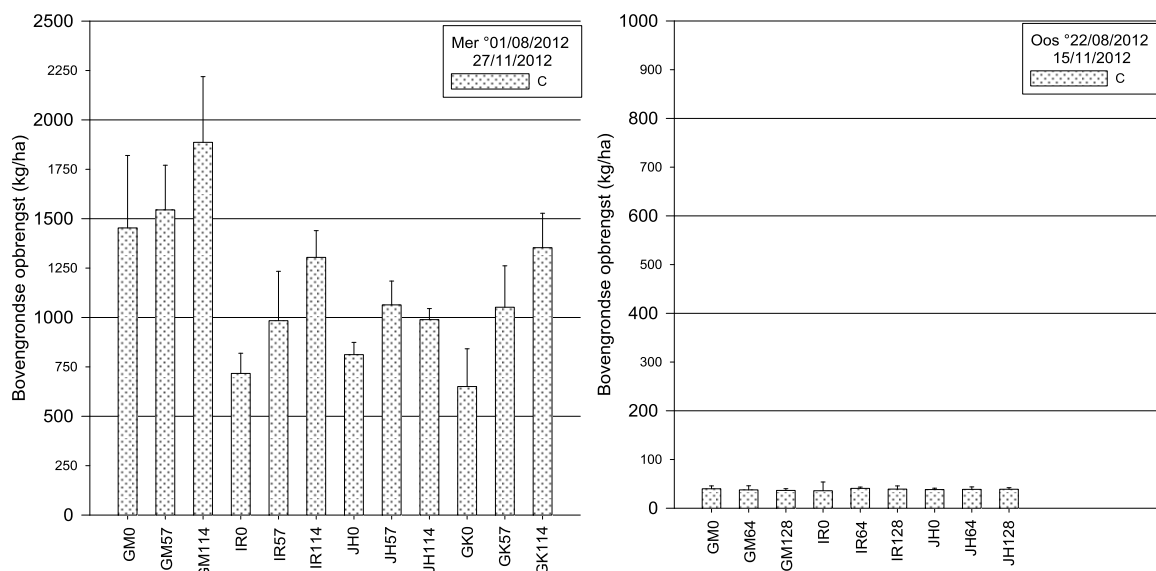


FIGUUR 20: C<sub>PLANT</sub> 2<sup>E</sup> ZAAI EIND NOVEMBER IN RUKKELINGEN-LOON (L) EN MIDDEN MAART (R) IN LEMBERGE.

### 3.5.3.2 BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST 2<sup>E</sup> PROEFJAAR

#### 1. Effect van de locatie op C<sub>plant</sub>

De verschillen in C<sub>plant</sub> tussen de verschillende locaties waren voor het 2<sup>e</sup> proefjaar meer uitgesproken dan voor het 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar. In Bottelare en Rukkelingen-Loon waren enkel de C-opbrengsten voor de 1<sup>e</sup> zaai vergelijkbaar met die van het 1<sup>e</sup> proefjaar. Zoals vermeld onder hoofdstuk 3.5.2.2 ontkiemden de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> zaai in Oostende beiden zeer laat en nagenoeg op hetzelfde tijdstip; er werd minder dan 100 kg C ha<sup>-1</sup> geoogst (Figuur 21). Door de slechte ontwikkeling worden de resultaten van Oostende verder niet opgenomen in deze bespreking.



FIGUUR 21: C<sub>PLANT</sub> 1<sup>E</sup> 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<sup>e</sup> zaai ingezaaid in de eerste helft van september. Hoewel de 1<sup>e</sup> zaai op die locaties ook relatief laat werd ingezaaid (2<sup>e</sup> helft augustus), werden grote verschillen in  $C_{plant}$  waargenomen tussen beide zaaitijdstippen. Enkel in Merelbeke, waar de 2<sup>e</sup> zaai werd ingezaaid op 30 augustus, bleven de verschillen beperkt.

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

Net als voor het 1<sup>e</sup> proefjaar waren de bemestingsdosis en  $C_{plant}$  duidelijk positief gecorreleerd, voor de 1<sup>e</sup> zaai zowel in het najaar als in het voorjaar; voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> als voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> als 2<sup>e</sup> 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  $\text{NH}_4^+$  en de som van  $\text{NO}_2^-$  en  $\text{NO}_3^-$  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, veggewas 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.

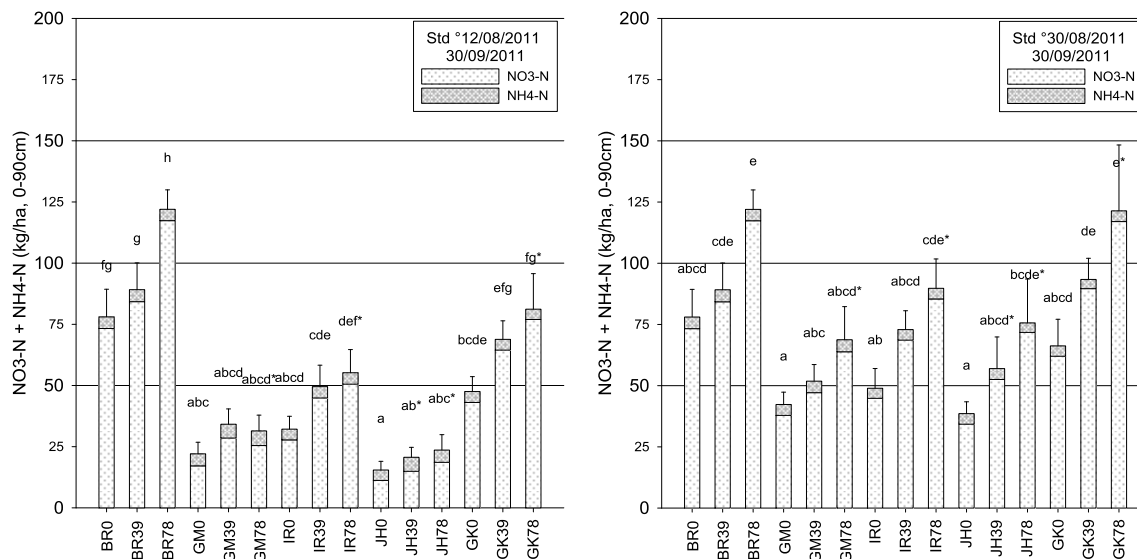
Een eerste reeks grafieken (Bijlage 7 en Bijlage 8) geeft in staafdiagrammen de gemiddelde totale hoeveelheid  $N_{\min}$  en de bijhorende standaardafwijking per behandeling weer. De gemiddelde totale  $N_{\min}$  is steeds opgesplitst in  $\text{NH}_4\text{-N}$  en  $\text{NO}_3\text{-N}$ . De cumulatieve 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<sup>E</sup> PROEFJAAR

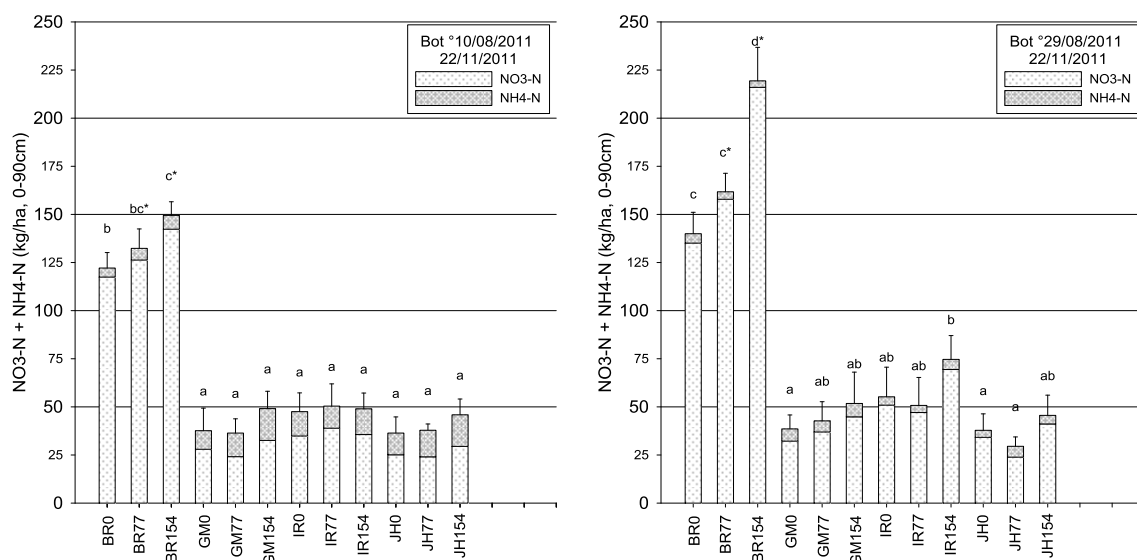
De belangrijkste vaststellingen betreffende  $N_{\min}$  in het 1<sup>e</sup> proefjaar (Bijlage 7) worden hieronder beschreven:

- 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<sup>e</sup> zaai), Japanse haver (2<sup>e</sup> zaai) en grasklaver (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> zaai) en in Lemberge onder grasklaver (2<sup>e</sup> zaai).



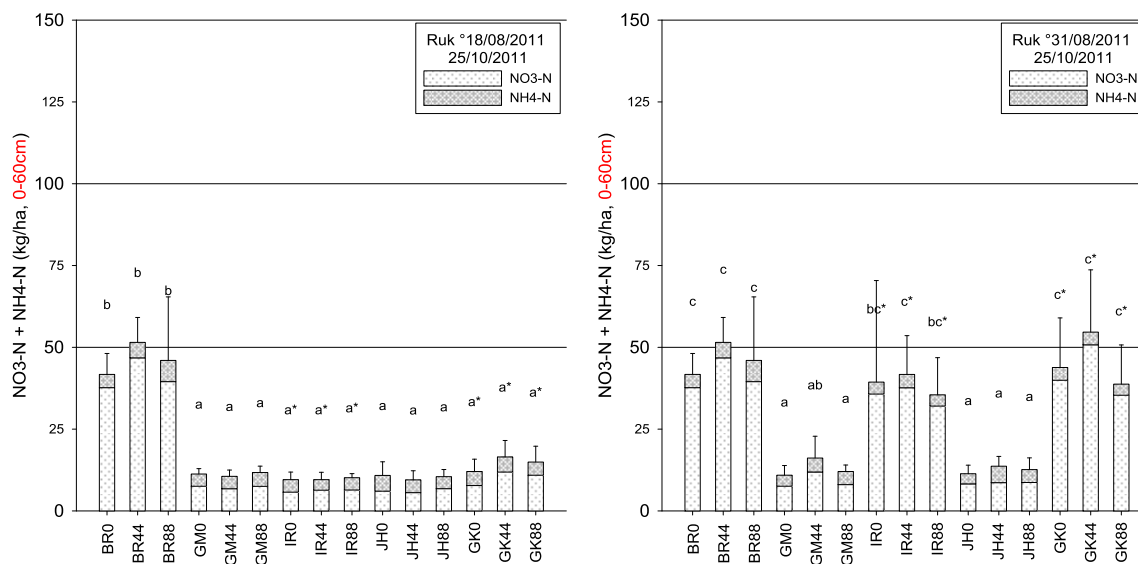
FIGUUR 22:  $N_{min}$  TE SINT-DENIJS OP 30 SEPTEMBER 2011 VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI (LINKS) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (RECHTS).

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).



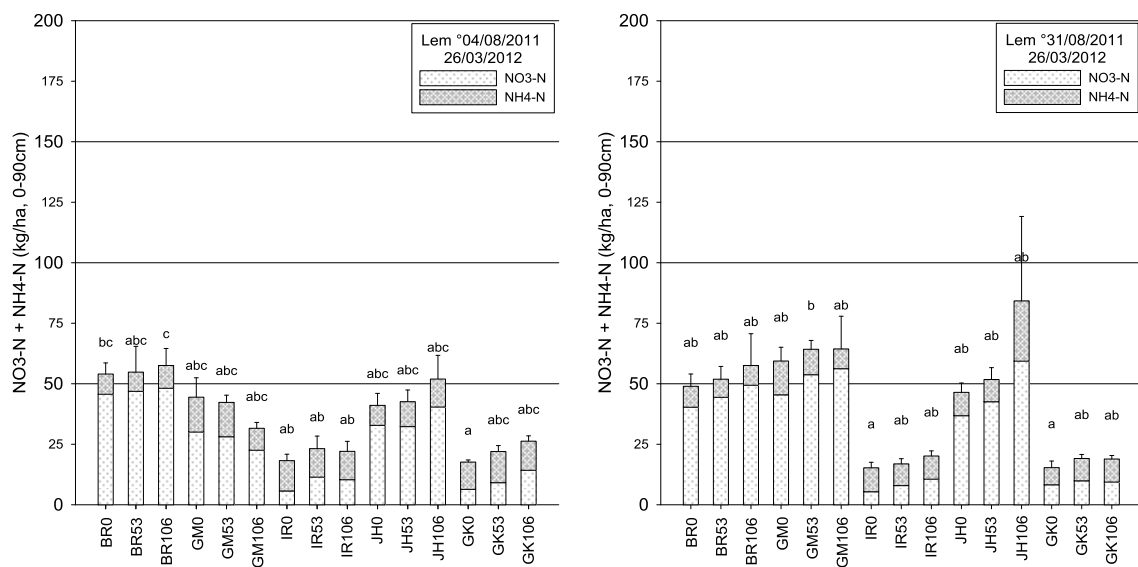
FIGUUR 23:  $N_{min}$  TE BOTTELARE OP 22 NOVEMBER 2011 VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R). MERK OP DAT DE 1<sup>E</sup> EN 2<sup>E</sup> ZAAI IN BOTTELARE OP 2 VERSCHILLENDE PERCELLEN WERDEN AANGELEGD.

2.  $N_{\min}$  was in het najaar onder bijna alle vanggewassen van de 1<sup>e</sup> zaai significant kleiner dan onder braak en dit op alle locaties; voor de 2<sup>e</sup> 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).

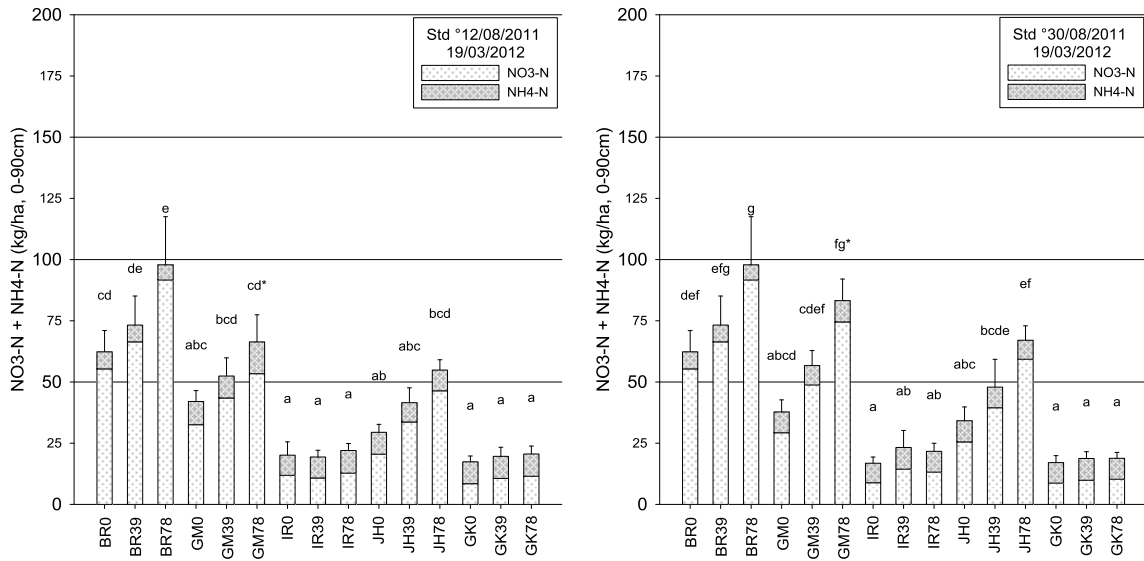


FIGUUR 24:  $N_{\min}$  TE RUKKELINGEN-LOON OP 25 OKTOBER 2011 VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R). MERK OP DAT ER UITZONDERLIJK SLECHTS TOT 60 CM DIEP BEMONSTERD WERD WEGENS MOEILIJK WERKBARE OMSTANDIGHEDEN DOOR DROOGTE.

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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai was vaak groter (zij het niet steeds significant) dan  $N_{\min}$  onder de overeenkomstige objecten van de 1<sup>e</sup> zaai (Figuur 25 en Figuur 26). Dit effect was groter bij een toenemende bemestingsdosis.

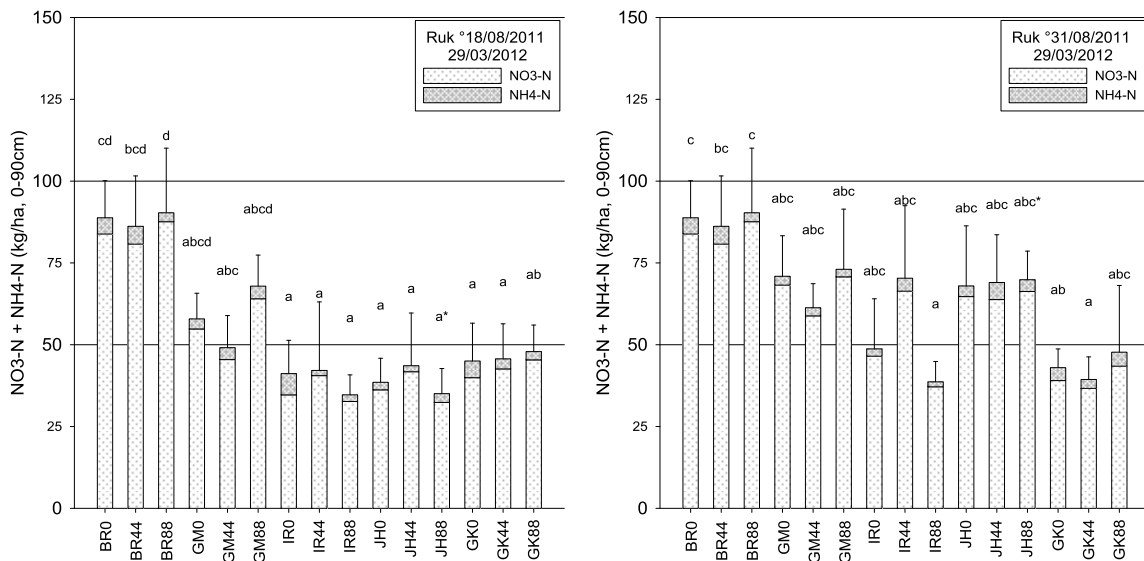


FIGUUR 25:  $N_{\min}$  TE LEMBERGE OP 26 MAART 2012 VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R).



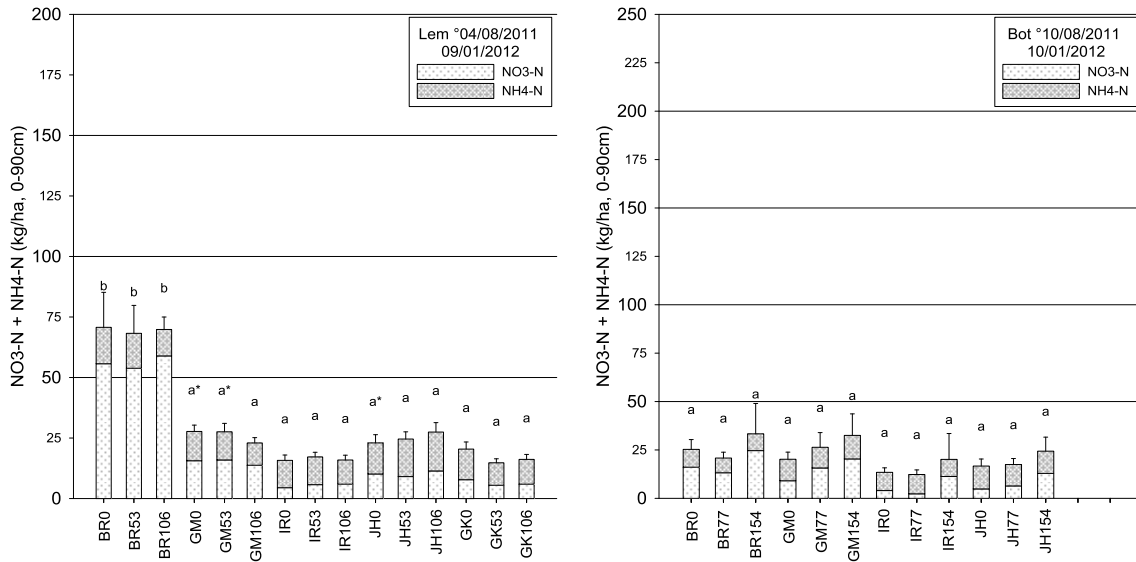
FIGUUR 26: N<sub>min</sub> TE SINT-DENIJS OP 19 MAART 2012 VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R).

4. In Rukkelingen-Loon, waar de vanggewassen ingewerkt werden in de 2<sup>e</sup> helft van januari, werden in het voorjaar per zaaitijdstip geen significante verschillen gevonden tussen N<sub>min</sub> voor de objecten met ingewerkte vanggewassen (Figuur 27). Voor de 1<sup>e</sup> zaai was N<sub>min</sub> significant groter op de braakobjecten dan op alle objecten met ingewerkte vanggewassen, met uitzondering van gele mosterd. Voor de 2<sup>e</sup> zaai was N<sub>min</sub> significant groter op de braakobjecten dan op enkele objecten met ingewerkte winterharde vanggewassen. Hoewel de verschillen niet overal significant zijn, toonden de N<sub>min</sub>-profielen in het voorjaar (Bijlage 9) wel aan dat N<sub>min</sub> 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<sub>min</sub> was hoger onder de objecten van 2<sup>e</sup> zaai, hetgeen toegeschreven kan worden aan de lagere C:N-verhouding.



FIGUUR 27: N<sub>min</sub> TE RUKKELINGEN-LOON OP 29 MAART 2012 VOOR DE 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R). MERK OP DAT DE VANGGEWASSEN WERDEN INGEWERKT IN DE 2<sup>E</sup> 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<sup>E</sup> ZAAI BEGIN JANUARI IN LEMBERGE (L) EN IN BOTTELARE (R).

### 3.6.3.2 MINERALE BODEMSTIKSTOF 2<sup>E</sup> PROEFJAAR

De belangrijkste vaststellingen betreffende de minerale bodemstikstof in het 2<sup>e</sup> 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 $N_{\min}$

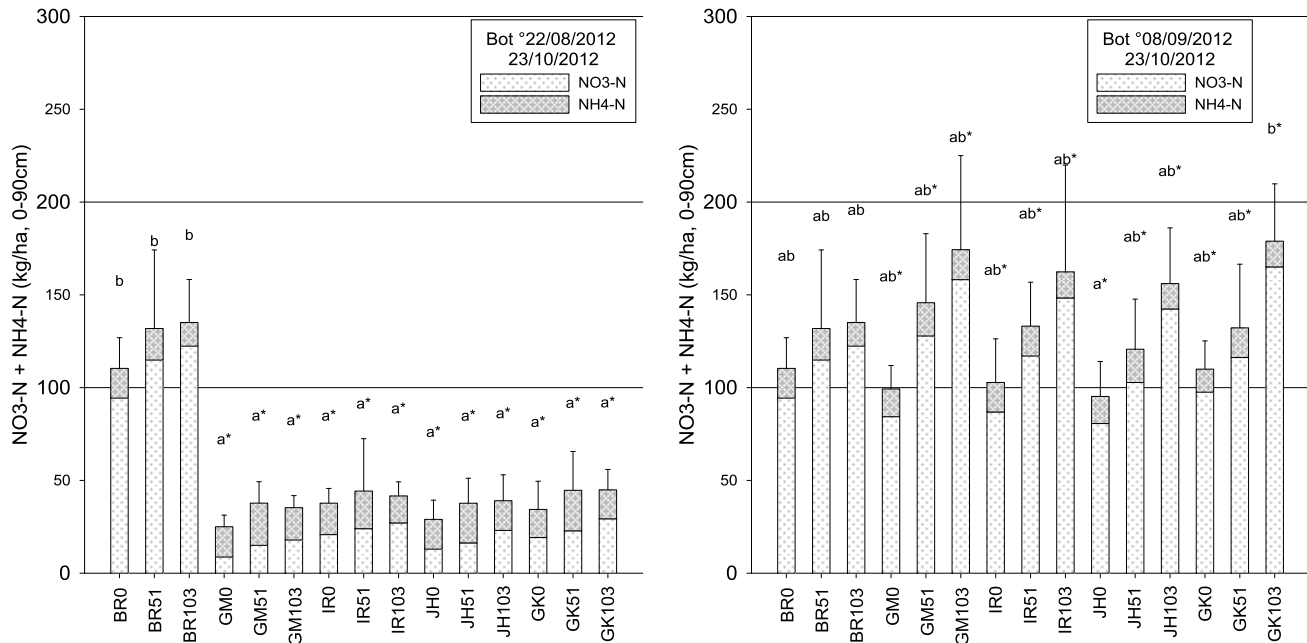
De resultaten voor  $N_{\min}$  waren in het 2<sup>e</sup> proefjaar zeer verschillend van locatie tot locatie: deze zijn grotendeels toe te schrijven aan de al dan niet goede ontwikkeling van de vanggewassen, zoals vermeld in hoofdstuk 3.5.2.2 en 3.5.3.2. De initiële  $N_{\min}$ -gehalten kort na de oogst van de wintergranen waren voor alle locaties vergelijkbaar en lagen tussen 40 en 80 kg N ha<sup>-1</sup>. 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai (met uitzondering van Merelbeke) en de minder gunstige weersomstandigheden: in augustus en de eerste helft van september viel er weinig neerslag. In

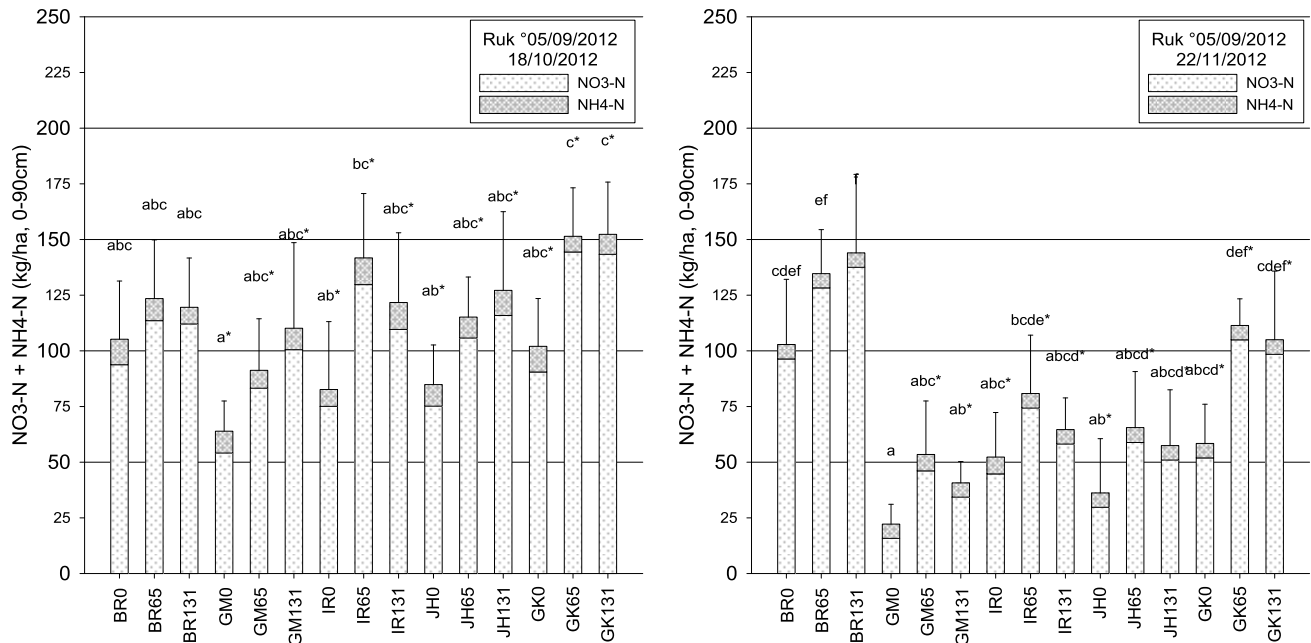
Oostende waren de verschillen tussen beide zaaitijdstippen bijzonder klein omdat beide zaaitijdstippen zich niet voldoende konden ontwikkelen.

De 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai onder alle vanggewassen sterk afgenomen t.o.v. de braak. Het effect van de bemestingsdosis was beperkt. Voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> ZAAI (LINKS) EN DE 2<sup>e</sup> ZAAI (RECHTS).

Ook in Rukkelingen-Loon was  $N_{min}$  eind oktober meer afgenomen voor de 1<sup>e</sup> zaai dan voor de 2<sup>e</sup> zaai. Desondanks nam  $N_{min}$  onder vanggewassen van de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> 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<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> zaaitijdstip voor de niet-winterharde vanggewassen in Merelbeke:  $N_{min}$  was significant hoger onder gele mosterd en Japanse haver van het 2<sup>e</sup> zaaitijdstip.

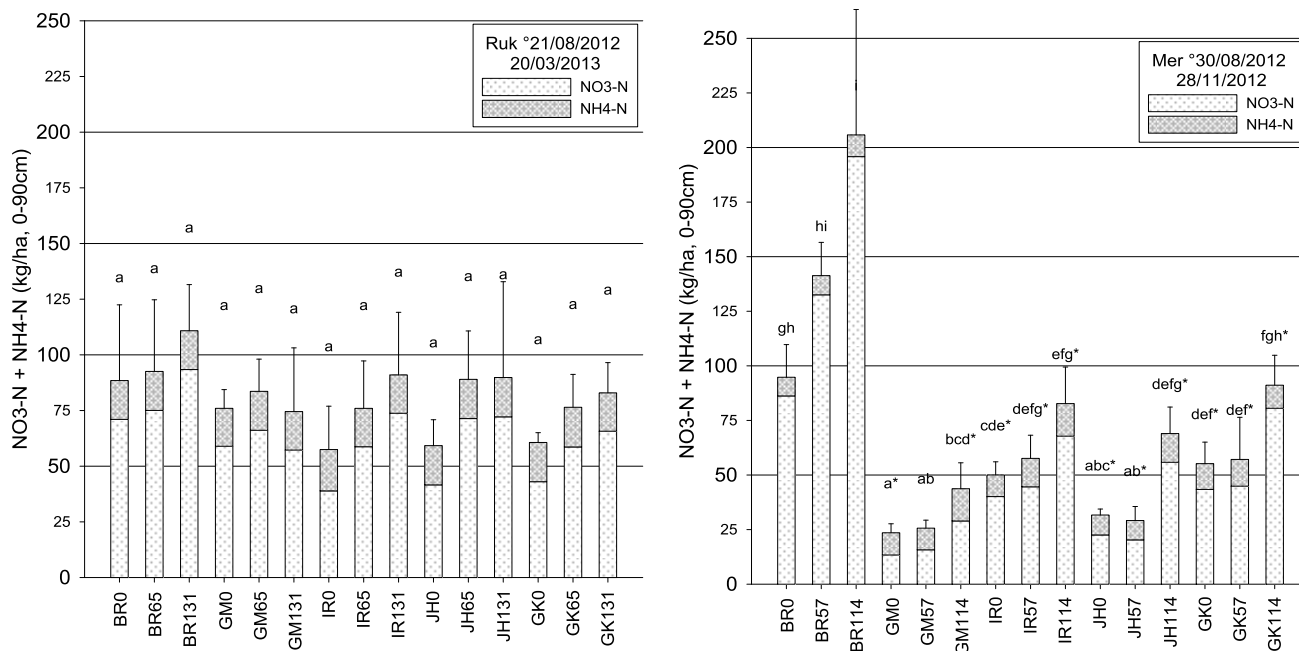
### 3. Effect van de bemestingsdosis op $N_{min}$

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

Voor de 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai zijn de bemestingstrappen in het najaar overal goed waarneembaar. Enkel in Merelbeke, waar de 2<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> ZAAI EIND MAART IN RUKKELINGEN-LOON (LINKS) EN VOOR DE 2<sup>E</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup>) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 1<sup>E</sup> 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.**

<b>OKTOBER</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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

<b>NOVEMBER</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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  $N_{\text{MIN}}$ -GEHALTE VAN DE BODEM (0-90CM) TUSSEN BEMESTE (60 EN 120 KG N HA<sup>-1</sup>) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 2<sup>E</sup> 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  $N_{\text{MIN}}$ -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  $N_{\min}$ -gehaltenes door toedoen van een bemesting wordt zichtbaar beïnvloed door de diverse oogsttijdstippen, zaaitijdstippen, bemestingsniveaus, vanggewassen en locaties/proefjaren. Opvallend is dat de  $N_{\min}$ -gehaltenes onder braak in het najaar niet in alle situaties significant verschillend zijn (vooral voor het 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai dan voor de 1<sup>e</sup> zaai. Een hogere bemesting resulteerde eveneens in een hoger percentage individueel significante verschillen. Voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> 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
<b>Najaar</b>	12	17	32 (21)	48 (42)
<b>Voorjaar</b>	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<sup>-1</sup>) 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.

<b>NAJAAR</b>	Zaai 1		Zaai 2	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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

<b>VOORJAAR</b>	Zaai 1		Zaai 2	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> zaai werden niet altijd dezelfde p-waarden bekomen aangezien in het 1<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar na 1 september werden ingezaaid; indien voor de 2<sup>e</sup> 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-GECORRIGEEDE P-WAARDEN VOOR DE VERSCHILLEN IN HET  $N_{\min}$ -GEHALTE TUSSEN BEMESTE (60 OF 120 KG N HA<sup>-1</sup>) 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<sup>E</sup> 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.**

<b>NAJAAR</b>	<b>Zaai 1</b>		<b>Zaai 2</b>	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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

<b>VOORJAAR</b>	<b>Zaai 1</b>		<b>Zaai 2</b>	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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<sup>-1</sup>. 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  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) weergegeven. Onder veggewassen blijken zelfs significante verschillen relatief klein t.o.v. de meetfout in de praktijk ( $\pm 10 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Voor de braakbehandeling voor de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> zaai werden opnieuw geen identieke cijfers bekomen aangezien in het 1<sup>e</sup> proefjaar op 2 locaties (Bottelare en Lemberge) voor beide zaaitijdstippen een aparte braakbehandeling werd aangelegd.

**TABEL 15: GEMIDDELDE VERSCHILLEN ( $\text{KG N HA}^{-1}$ ) IN HET  $N_{\min}$ -GEHALTE (0-90 CM) TUSSEN BEMESTE (60 OF 120  $\text{KG N HA}^{-1}$ ) 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<sup>E</sup> 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).**

<b>NAJAAR</b>	<b>Zaai 1</b>		<b>Zaai 2</b>	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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*

<b>VOORJAAR</b>	<b>Zaai 1</b>		<b>Zaai 2</b>	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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 ( $N_{\text{plant}}$ ) 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.**

<b>Oogstijdstip</b>	<b>Eind oktober</b>	<b>Eind november</b>	<b>Voorjaar</b>
<b>N vrijgesteld (%)</b>	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<sup>-1</sup>) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 1<sup>E</sup> 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.**

<b>OKTOBER</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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

<b>NOVEMBER</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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

<b>VOORJAAR</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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<sup>-1</sup>) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND OKTOBER, EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 2<sup>E</sup> 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<sup>E</sup> 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?**

<b>OKTOBER</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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

<b>NOVEMBER</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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<sup>E</sup> 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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ . 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<sup>-1</sup>) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR. P-WAARDEN ZIJN RESULTATEN VAN EENZIJDIGE GEPAARDE T-TESTEN. P-WAARDEN < 0,05 VOOR SIGNIFICANTR POSITIEVE VERSCHILLEN ZIJN IN HET ROOD AANGEDUID.**

<b>NOVEMBER</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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

<b>VOORJAAR</b>	<b>Zaai 1</b>				<b>Zaai 2</b>			
<b>behandeling</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>	<b>BOT</b>	<b>LEM</b>	<b>RUK</b>	<b>STD</b>
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<sup>-1</sup>) EN NIET-BEMESTE BEHANDELINGEN EIND NOVEMBER EN IN HET VOORJAAR VAN HET 2<sup>E</sup> 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<sup>e</sup> zaai dan voor de 2<sup>e</sup> zaai, hoewel dit minder uitgesproken werd indien voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES OOK DE PERCENTAGES WEERGEGEVEN INDIEN OOSTENDE NIET IN REKENING WERD GEBRACHT. VOOR DE 2<sup>E</sup> 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
<b>November</b>	57 (63)	77 (85)	50 (58)	57 (68)
<b>Voorjaar</b>	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  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  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<sup>-1</sup>) 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<sup>E</sup> ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES OOK DE P-WAARDEN WEERGEGEVEN INDIEN OOSTENDE NIET IN REKENING WERD GEBRACHT. VOOR DE 2<sup>E</sup> ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES DE P-WAARDEN WEERGEGEVEN INDIEN ENKEL DE LOCATIES IN REKENING GEBRACHT WERDEN WAAR DE VANGGEWASSEN VOOR 1 SEPTEMBER WERDEN INGEZAAID.

<b>NOVEMBER</b>	Zaai 1		Zaai 2	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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)

<b>VOORJAAR</b>	Zaai 1		Zaai 2	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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<sup>-1</sup>) weergegeven. Deze varieerden tussen 26 en 450 kg C ha<sup>-1</sup> indien de slecht ontwikkelde (Oostende) en de na 1 september ingezaaide vanggewassen werden meegenomen, of tussen 24 en 514 kg C ha<sup>-1</sup> indien deze niet werden meegenomen.

**TABEL 25: GEMIDDELDE VERSCHILLEN (KG C HA<sup>-1</sup>) IN DE BOVENGRONDSE C-OPBRENGST TUSSEN BEMESTE (60 OF 120 KG N HA<sup>-1</sup>) 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<sup>E</sup> ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES OOK DE GEMIDDELDE VERSCHILLEN WEERGEGEVEN INDIEN OOSTENDE NIET IN REKENING WERD GEBRACHT. VOOR DE 2<sup>E</sup> ZAAI ZIJN TUSSEN HAAKJES DE GEMIDDELDE VERSCHILLEN WEERGEGEVEN INDIEN ENKEL DE LOCATIES IN REKENING GEBRACHT WERDEN WAAR DE VANGGEWASSEN VOOR 1 SEPTEMBER WERDEN INGEZAAD.**

<b>NOVEMBER</b>	<b>Zaai 1</b>		<b>Zaai 2</b>	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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*)

<b>VOORJAAR</b>	<b>Zaai 1</b>		<b>Zaai 2</b>	
<b>vanggewas</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>	<b>0-60N</b>	<b>0-120N</b>
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<sub>min</sub>-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<sup>-1</sup> 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<sub>min</sub>-gehalte in het voorjaar niet noodzakelijk tot hogere N-verliezen moet leiden en dat het aandeel C<sub>plant</sub> 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<sub>MIN</sub>-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 $C_{\text{plant}}$ en geen significant verschil in $N_{\min}$
NEEN	Significant verschil in $C_{\text{plant}}$ en een significant verschil in $N_{\min}$
NEEN	Geen significant verschil in $C_{\text{plant}}$ 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<sup>e</sup> zaai) en 79% (2<sup>e</sup> zaai) van de gevallen géén significante verschillen in het  $N_{\min}$ -gehalte tussen niet-bemeste en met 60 kg N ha<sup>-1</sup> bemeste vanggewassen. Bij een bemesting van 120 kg N ha<sup>-1</sup> waren er in 83% (1<sup>e</sup> zaai) en 58% (2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) 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  $N_{\min}$ -gehalten en bodemvochtgehalten 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.

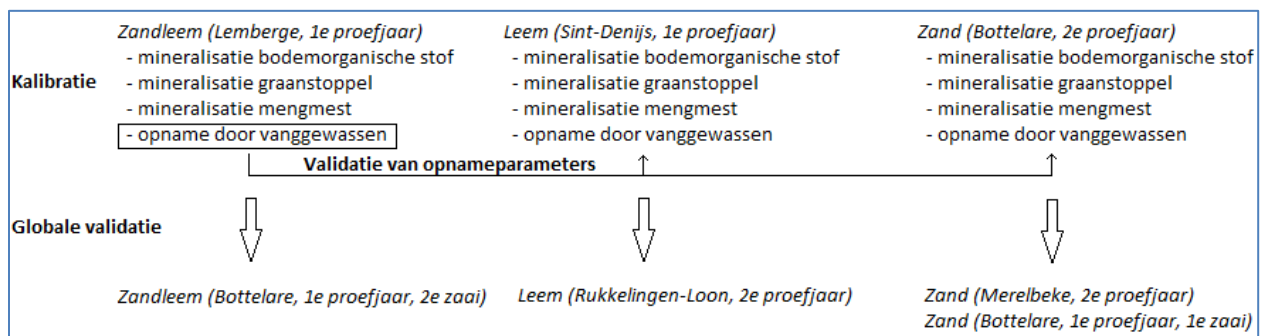
### 4.3 INITIËLE SIMULATIES

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<sup>e</sup> proefjaar), leem (Sint-Denijs, 1<sup>e</sup> proefjaar) en zand (Bottelare, 2<sup>e</sup> 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)

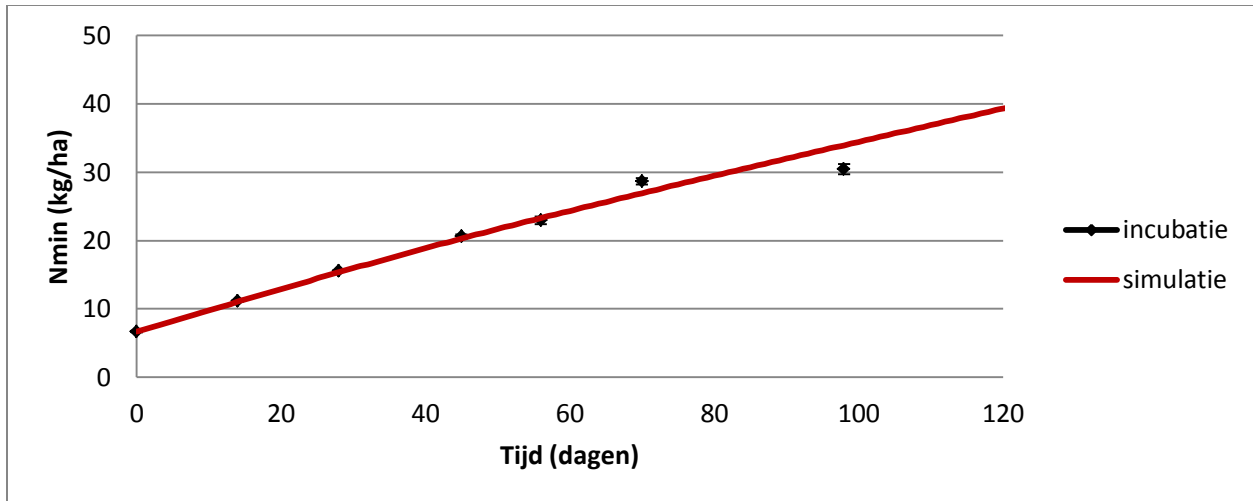
In een eerste stap dienden de parameters voor de mineralisatie van de bodemorganische stof gekalibreerd te worden. Hiertoe werden de resultaten van de incubatieproef op BR0 (ter bepaling van de N-mineralisatie) gebruikt. Deze incubatieproef werd uitgevoerd op de niet-bemeste braakpercelen bemonsterd 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 ( $\theta_{\text{WP}}$ ), BIJ VELDCAPACITEIT ( $\theta_{\text{FC}}$ ) EN BIJ VERZADIGING ( $\theta_{\text{SAT}}$ ) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN LEMBERGE.**

<b>Bodemlaag</b>	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
$\theta_{\text{WP}}$	0,08	0,08	0,10
$\theta_{\text{FC}}$	0,22	0,21	0,22
$\theta_{\text{SAT}}$	0,46	0,46	0,46

De kalibratie leverde uitstekende resultaten. De gemiddelde absolute afwijking tussen de gesimuleerde en de gemeten  $N_{\text{min}}$ -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.

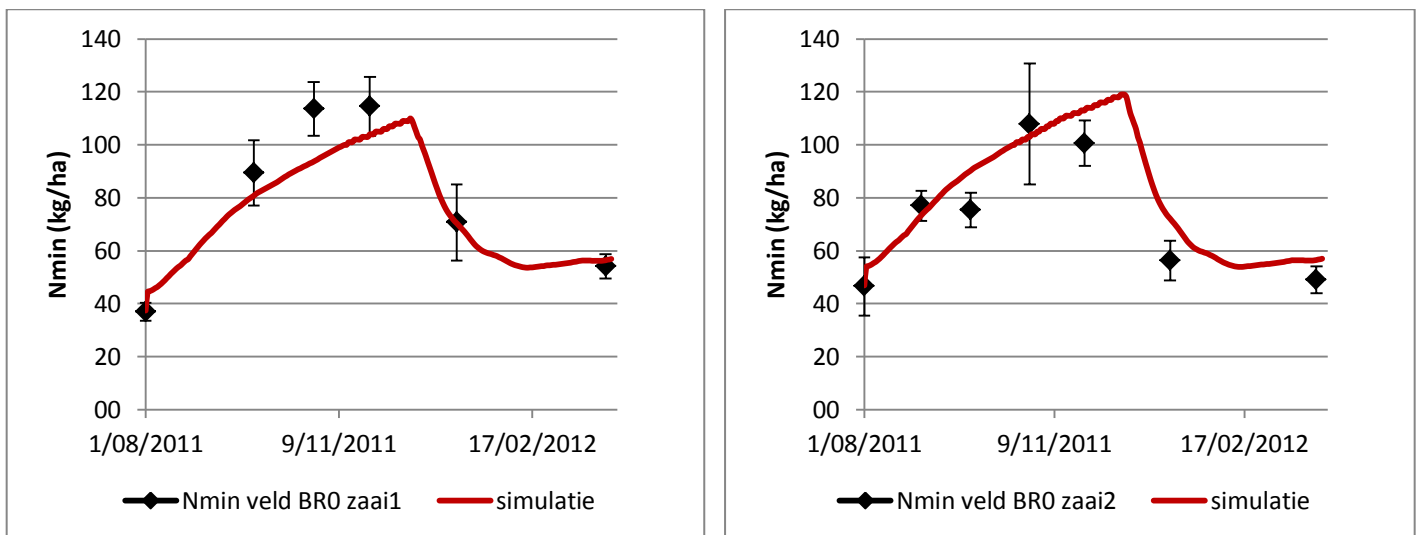


FIGUUR 33: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALE N-CONCENTRATIES IN DE BODEM ALS GEVOLG VAN N-MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF VOOR DE GEÏNCUBEERDE BRO-BEHANDLING. VOOR DE GEMETEN WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN EN (KLEINE) STANDAARD AFWIJINGEN WEERGEGEVEN.

#### 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  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; de gemiddelde afwijking was negatief voor de 1<sup>e</sup> zaai en positief voor de 2<sup>e</sup> zaai (overzicht residuen in Bijlage 21).

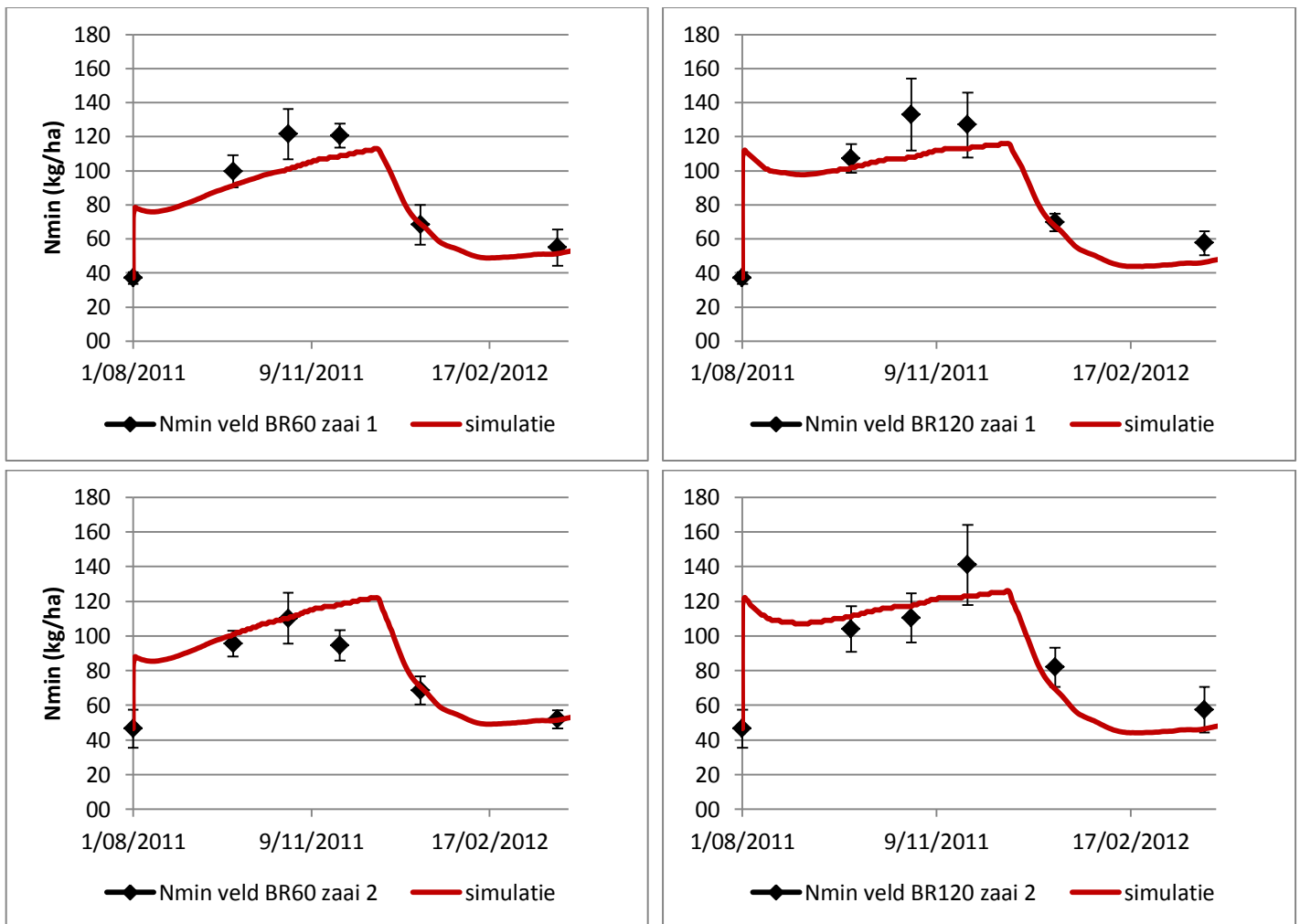


FIGUUR 34: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALE N-CONCENTRATIES IN DE BODEM ALS GEVOLG VAN N-MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF EN OOGSTRESTEN VOOR HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR IN LEMBERGE (BRO-BEHANDLING 1<sup>E</sup> ZAAI LINKS EN 2<sup>E</sup> ZAAI RECHTS).

#### 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  $12 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Voor BR60 was de gemiddelde afwijking negatief voor de 1<sup>e</sup> zaai en positief voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> PROEFJAAR IN LEMBERGE (BR60 LINKS, BR120 RECHTS; 1<sup>E</sup> ZAAI BOVEN EN 2<sup>E</sup> ZAAI ONDER).

#### 4.4.1.4 KALIBRATIE OPNAMEPARAMETERS VAN DE VANGGEWASSEN (ZANDLEEM)

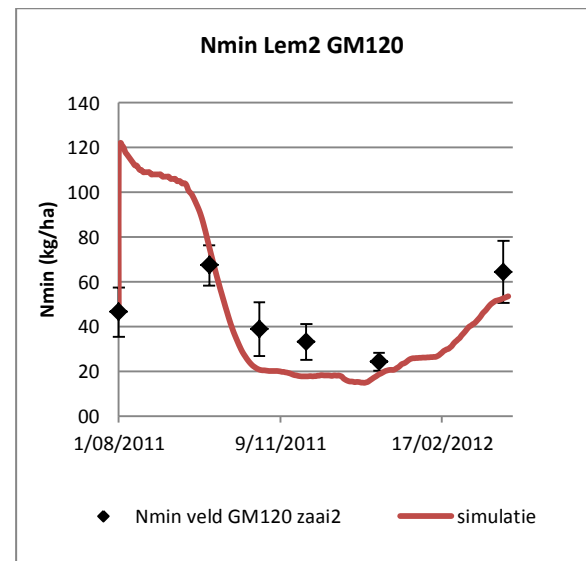
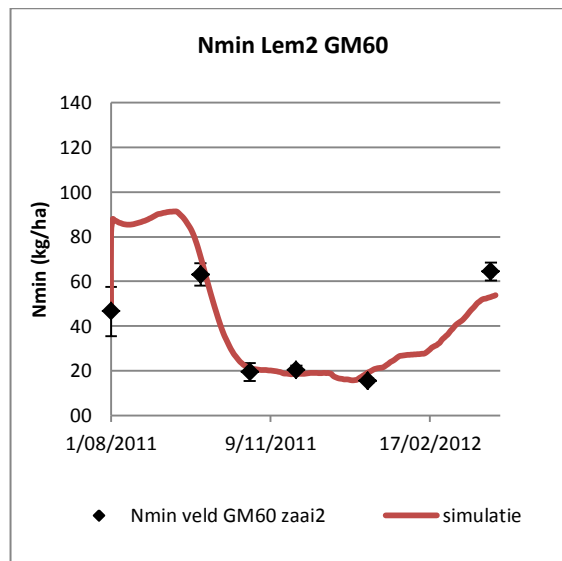
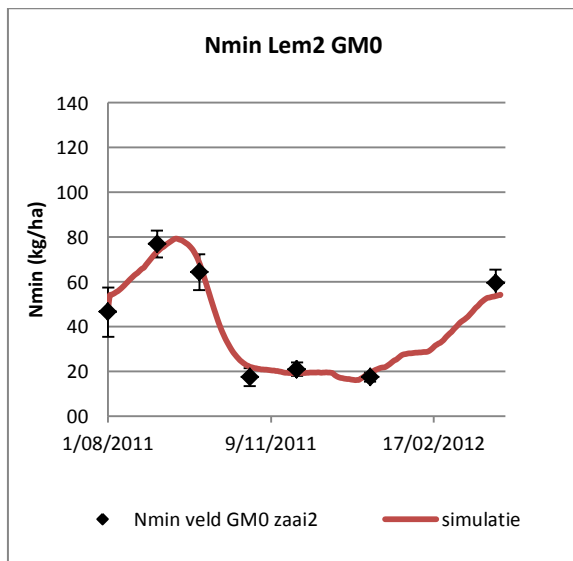
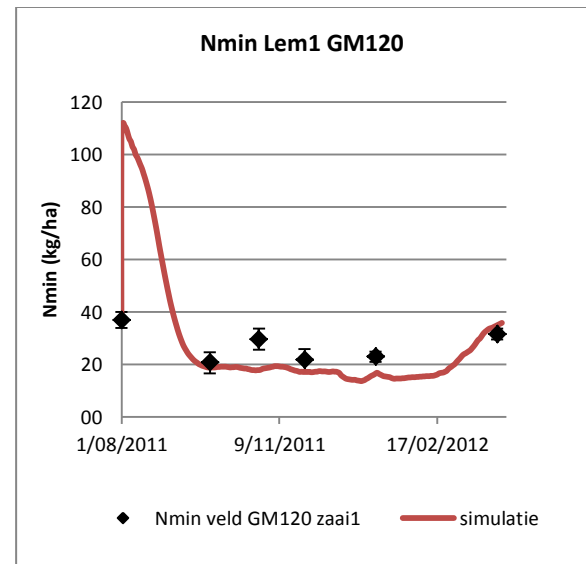
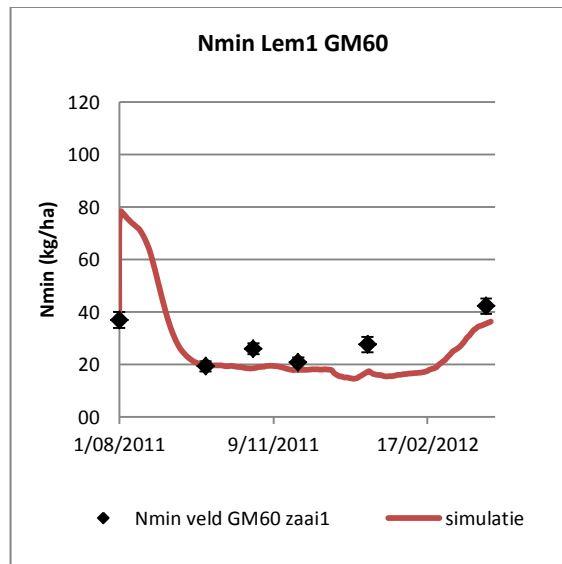
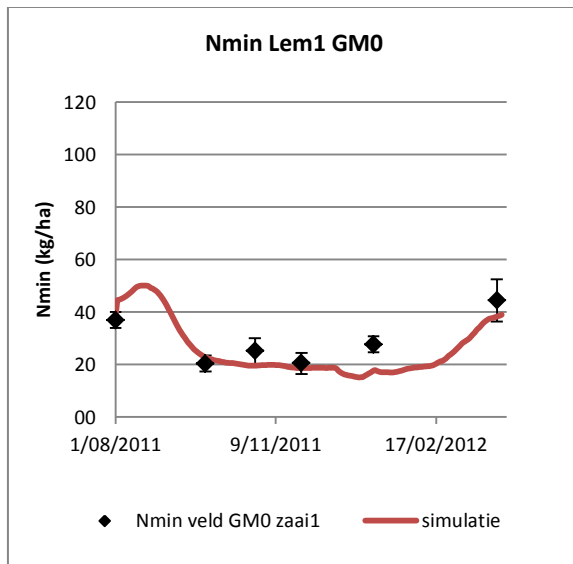
In een vierde en laatste stap dienden de groei- en opnameparameters van de vanggewassen gekalibreerd te worden. Dit kon niet meer door enkel het  $N_{\min}$ -gehalte van de bodem in rekening te brengen. Ook de bovengrondse N-opbrengst ( $N_{\text{plant}}$ ) en de drogestofopbrengst werden meegenomen 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

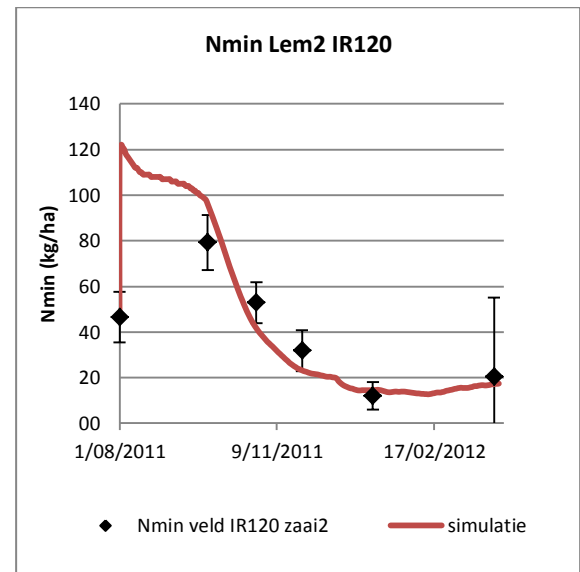
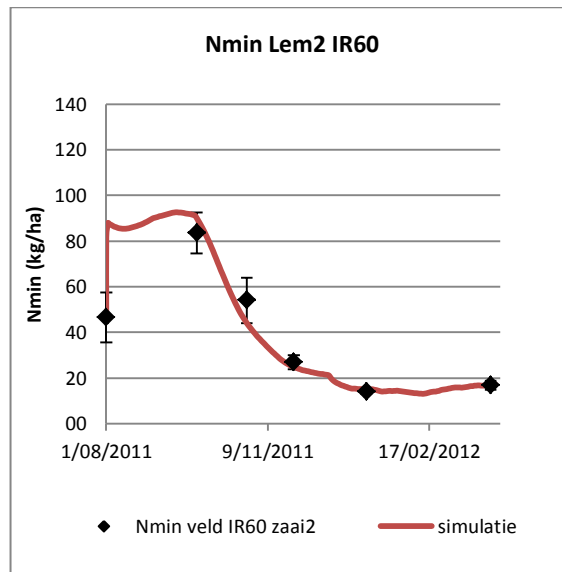
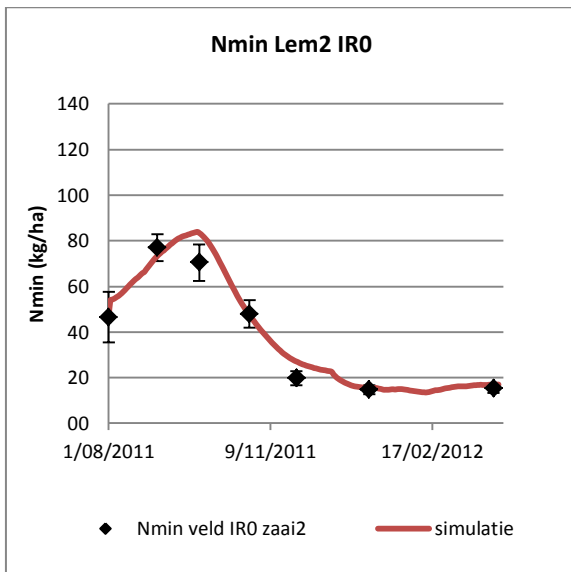
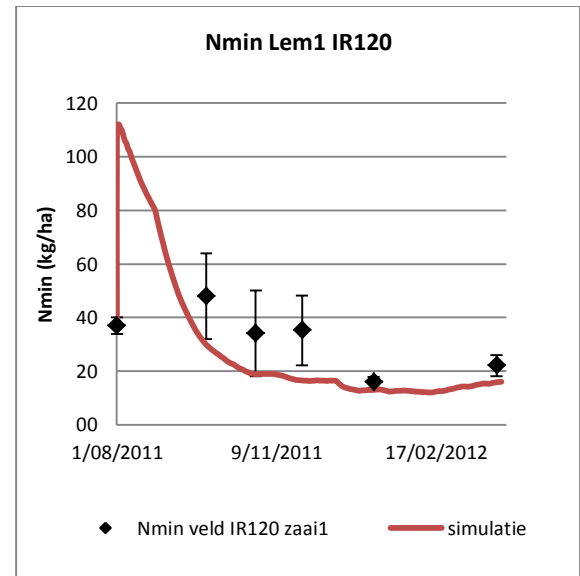
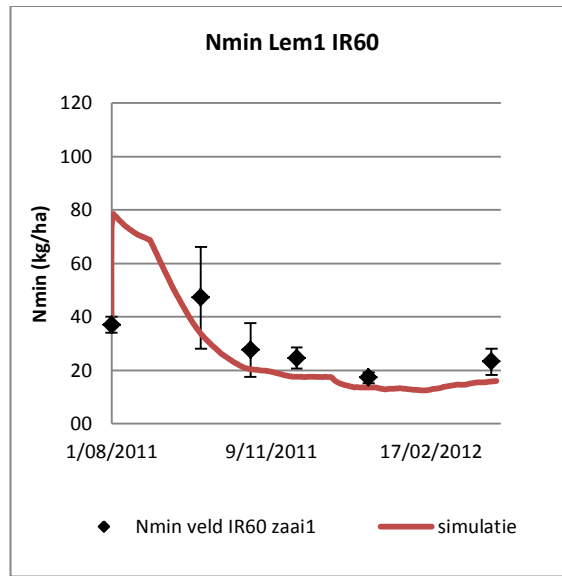
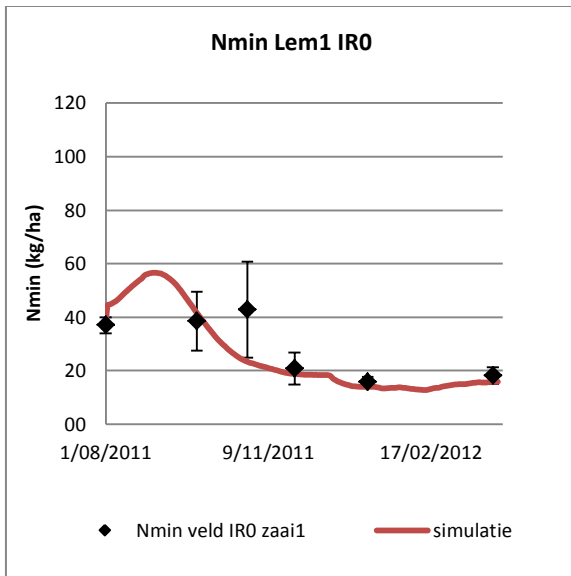
ook op de uitspoeling en de denitrificatie. Een beperkt aantal parameters omtrent de bijdrage van de ondergrondse biomassa werd ingeschat op basis van eigen aanvullend onderzoek uitgevoerd in beide proefjaren.

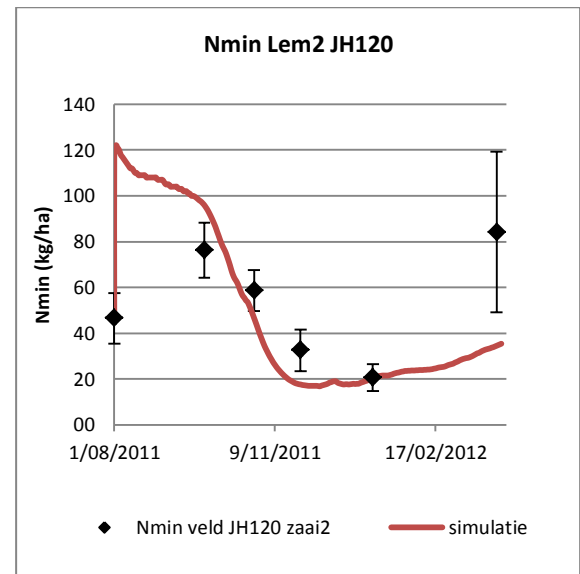
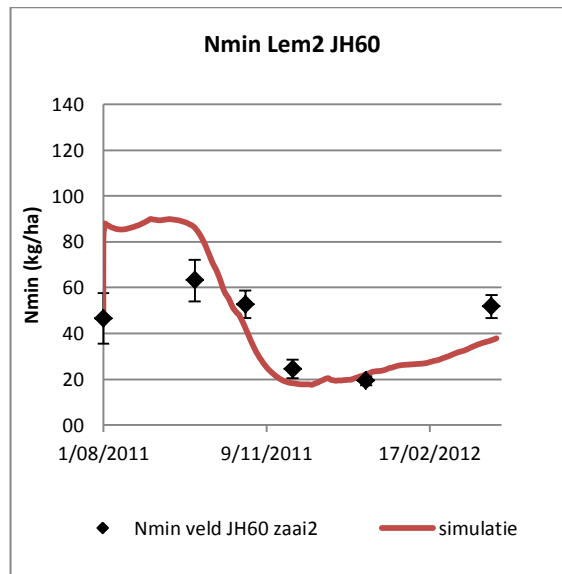
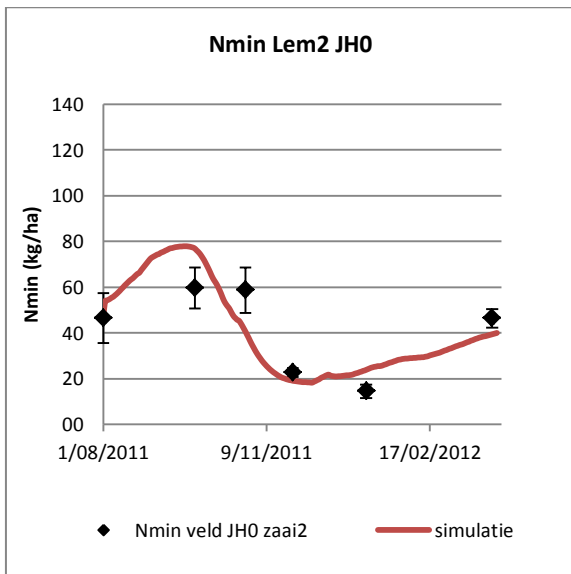
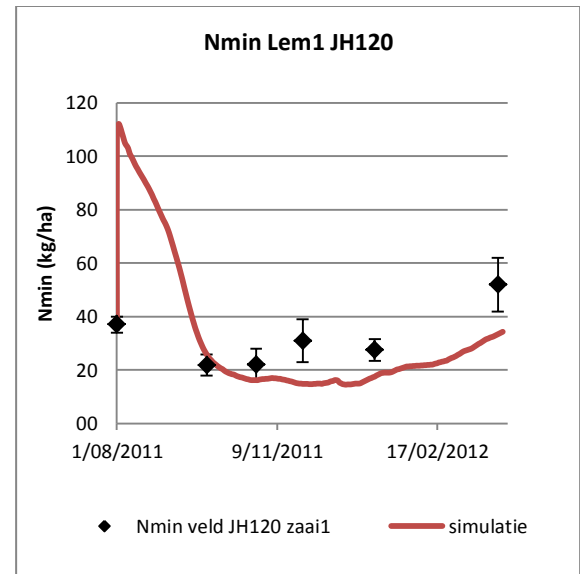
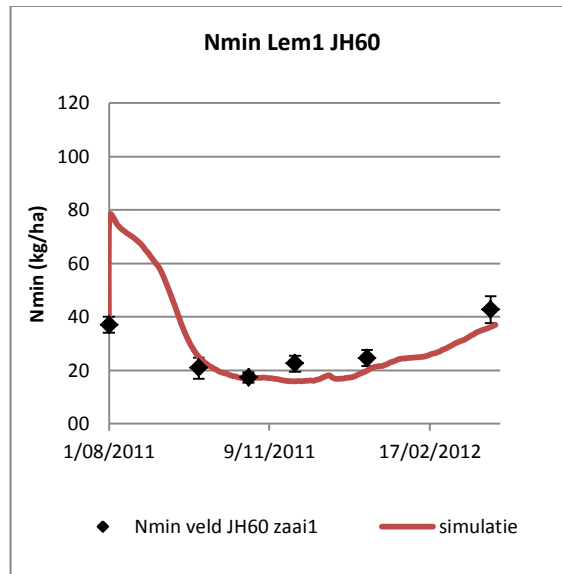
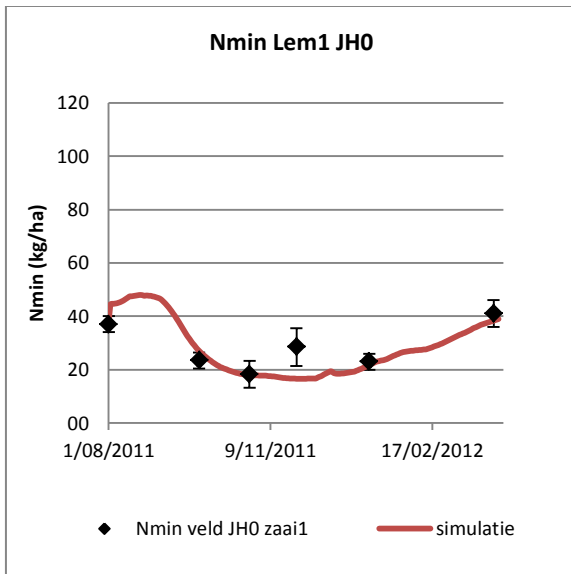
In de kalibratie van de opnameparameters werd voor het grasklavermengsel in eerste instantie aangenomen dat er sprake is van N-fixatie door de klavercomponent. Hierdoor werd de N-opbrengst onafhankelijk van de bemestingsdosis, hetgeen niet overeenkwam met de waarnemingen in het veld. Er is echter geen 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.

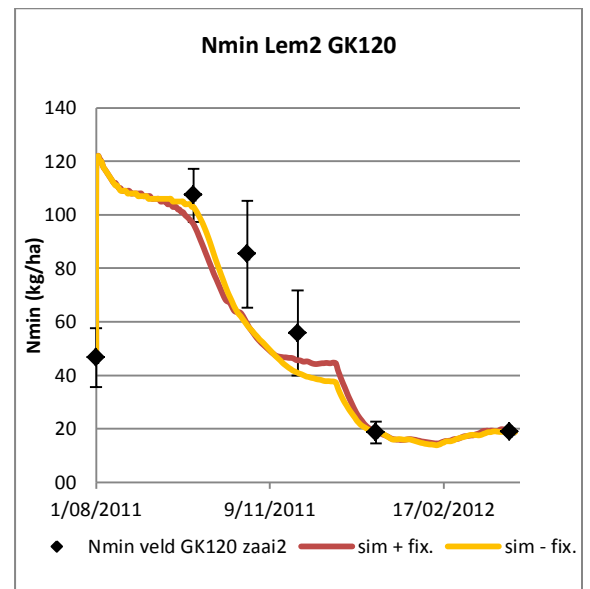
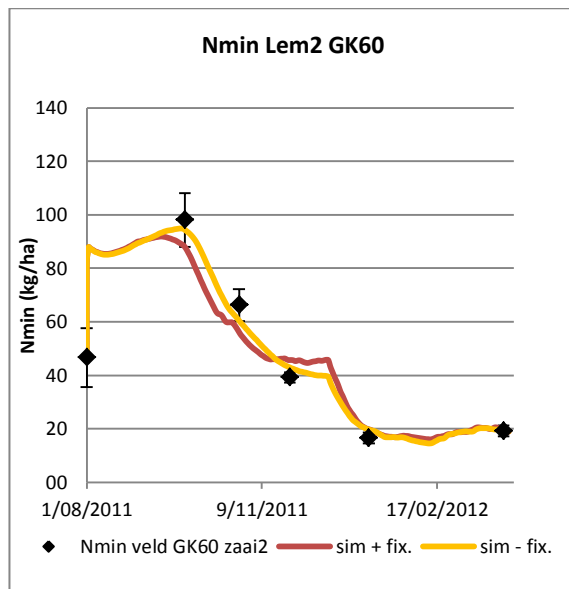
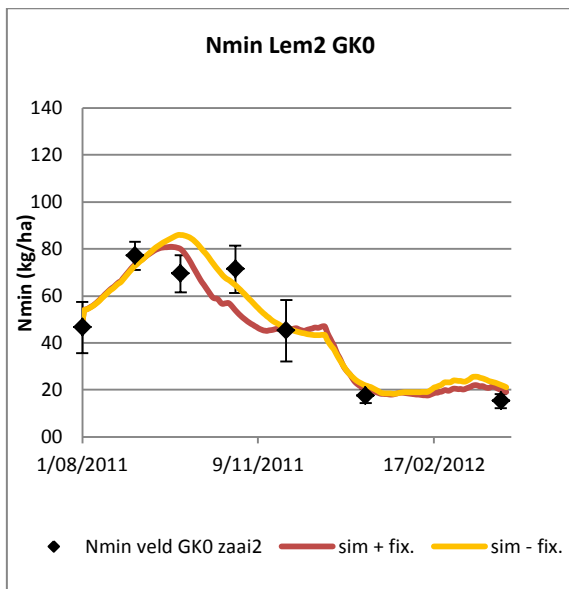
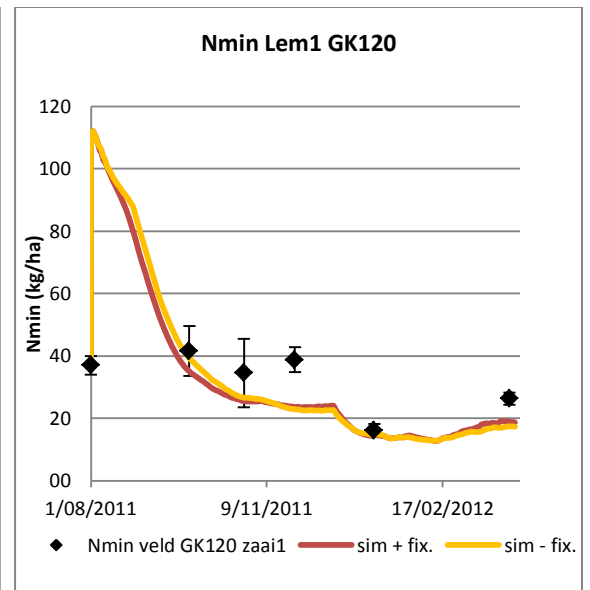
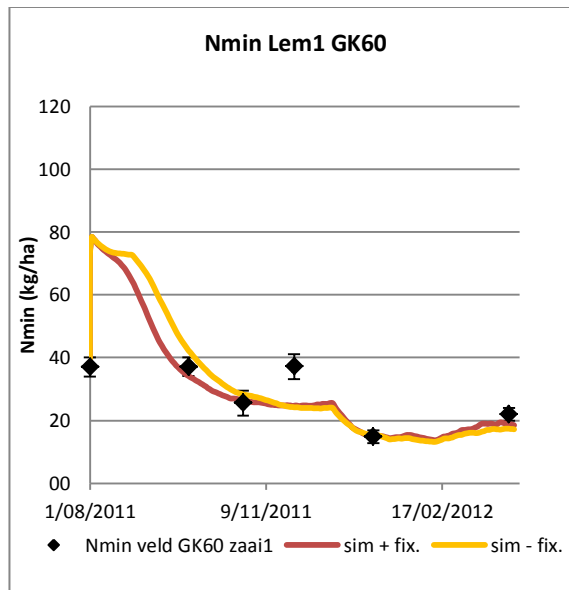
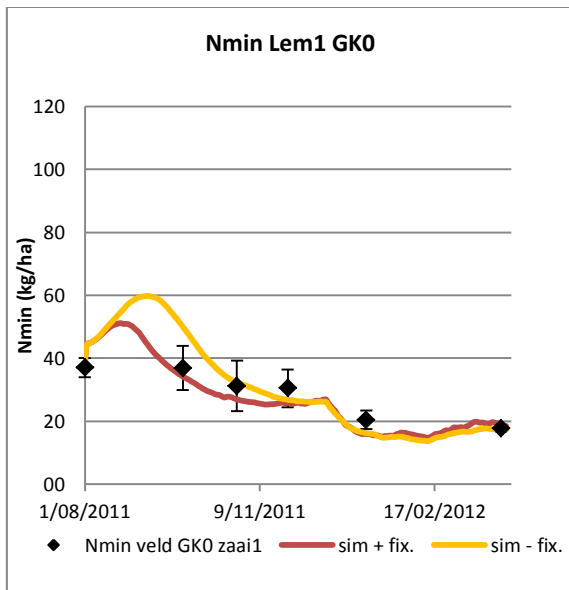
De gemiddelde absolute afwijkingen tussen de gesimuleerde en de gemeten waarden ( $N_{\min}$  en  $N_{\text{plant}}$ ) waren kleiner dan  $15 \text{ kg N ha}^{-1}$  op één geval na (JH120, 2<sup>e</sup> zaai); hiervoor bleek de standaard afwijking van de gemeten  $N_{\min}$  in het voorjaar echter erg groot te zijn. Algemeen werd met name op de bemeste behandelingen zowel  $N_{\min}$  als  $N_{\text{plant}}$  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).

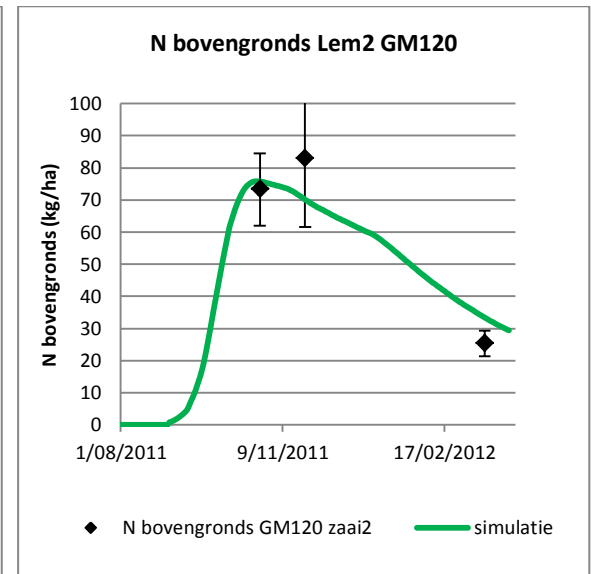
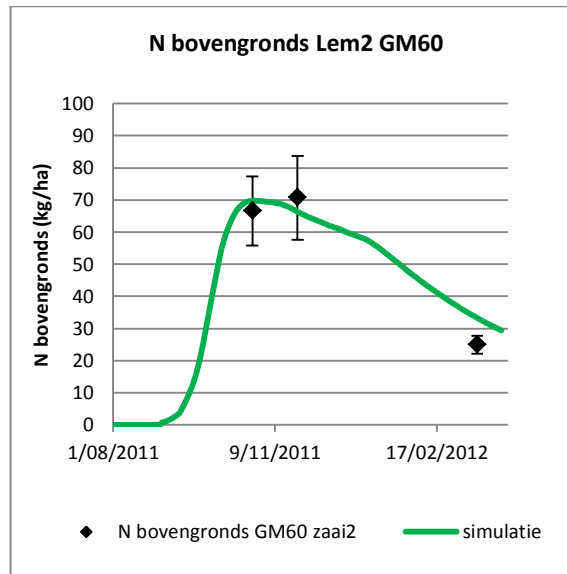
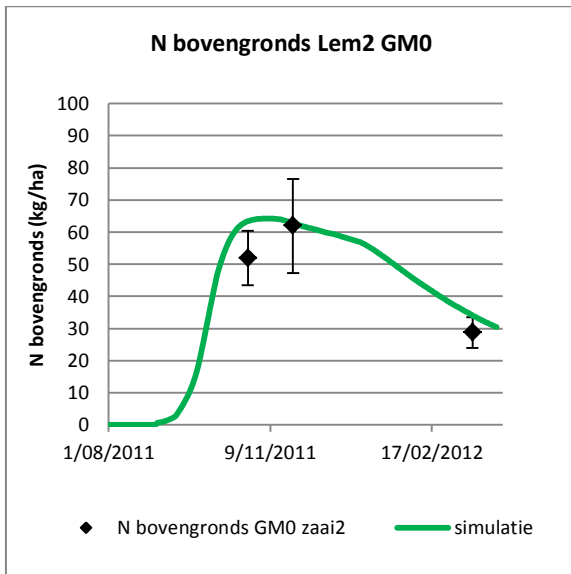
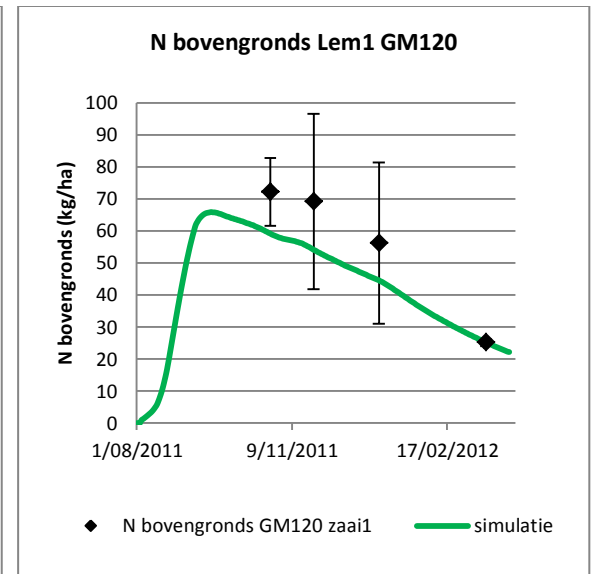
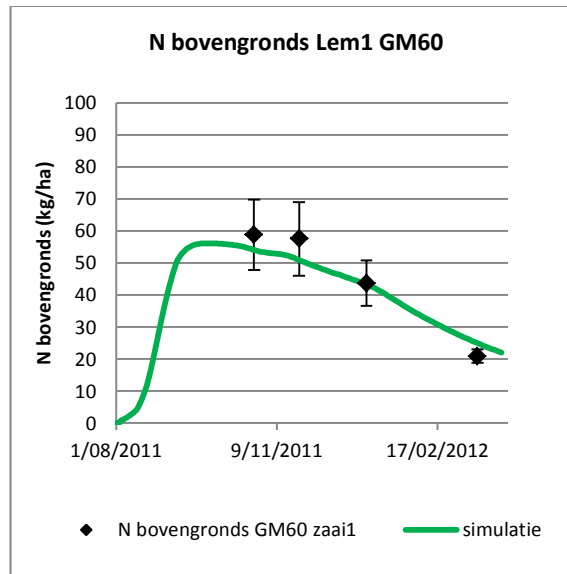
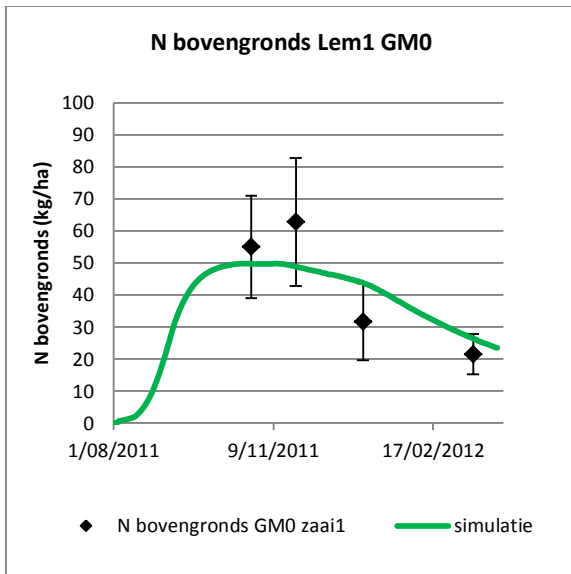


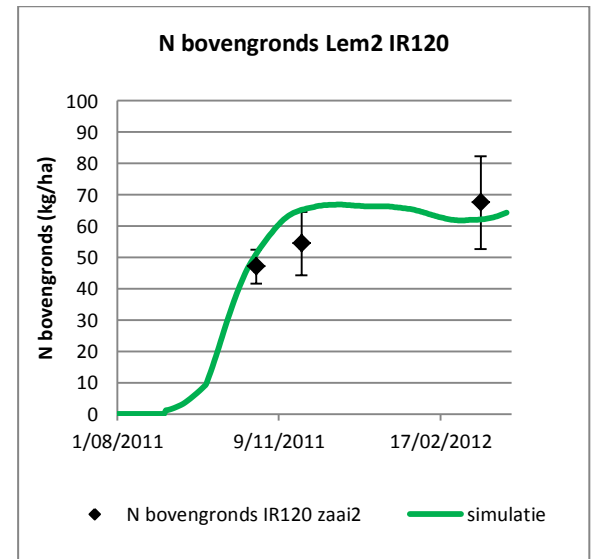
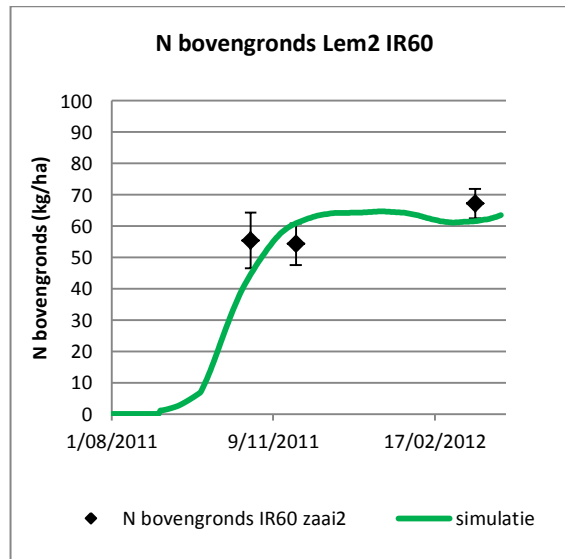
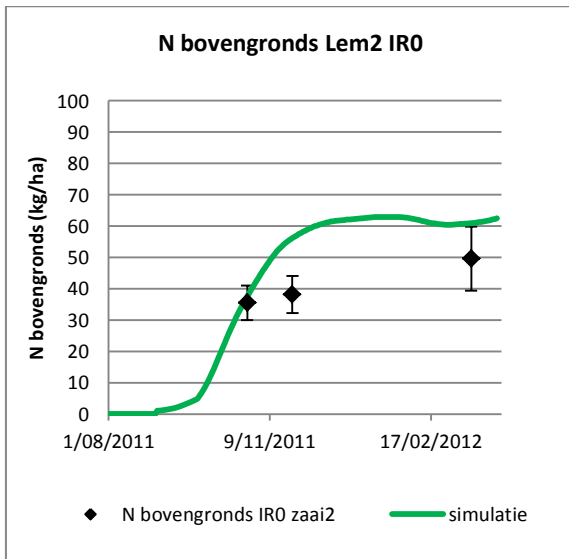
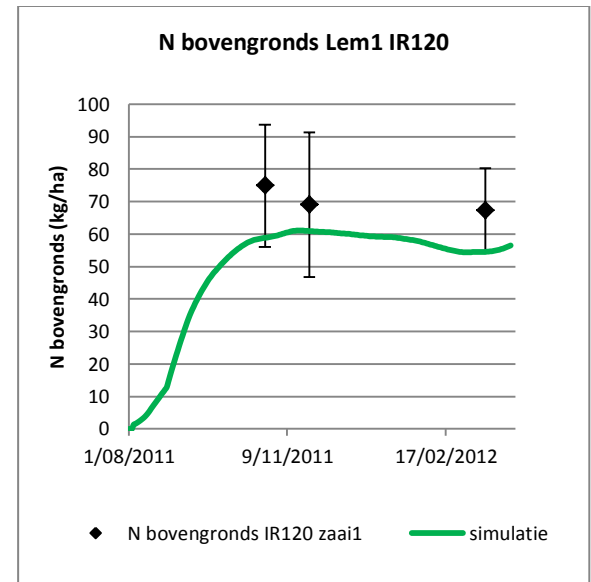
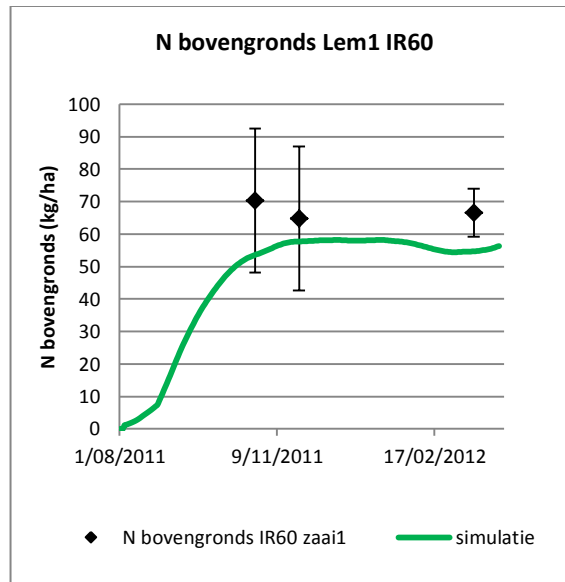
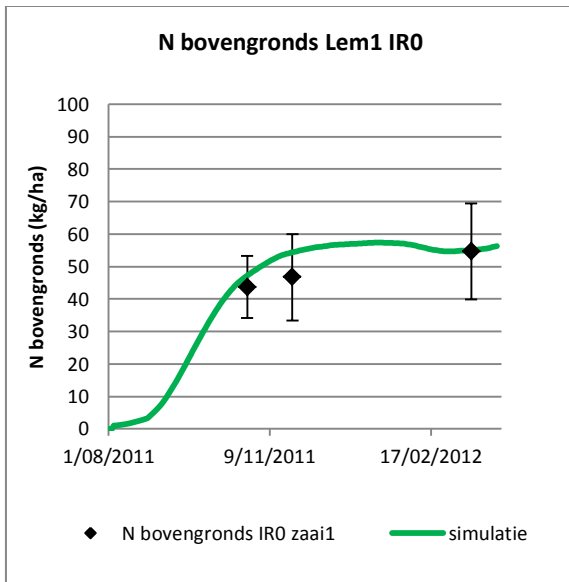


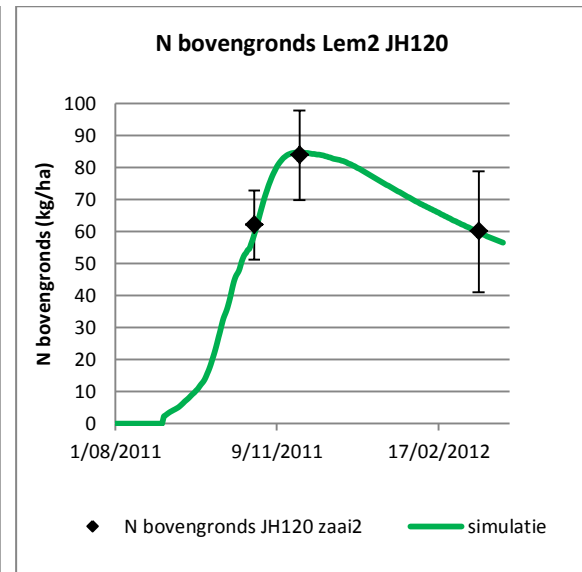
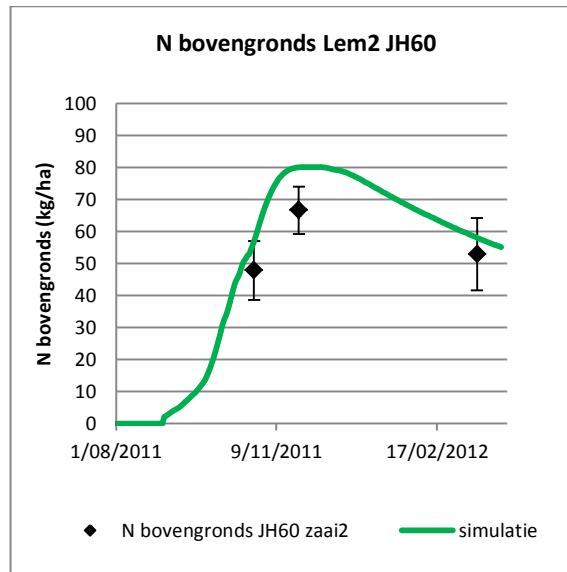
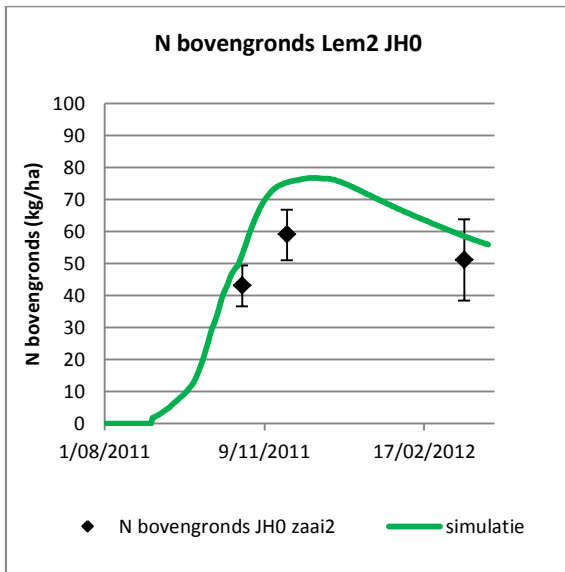
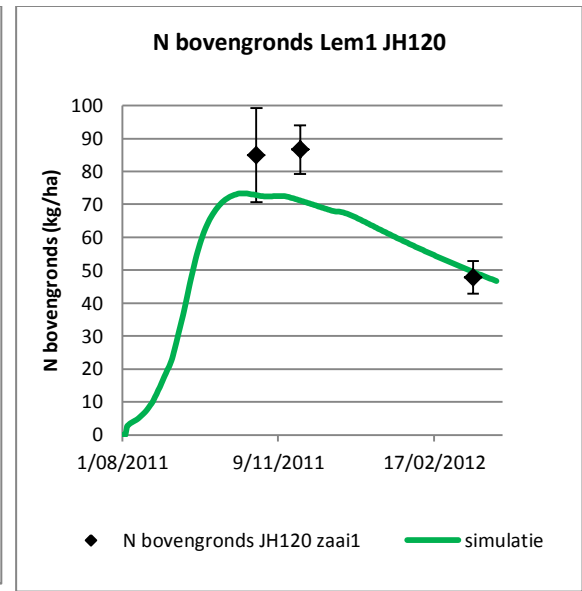
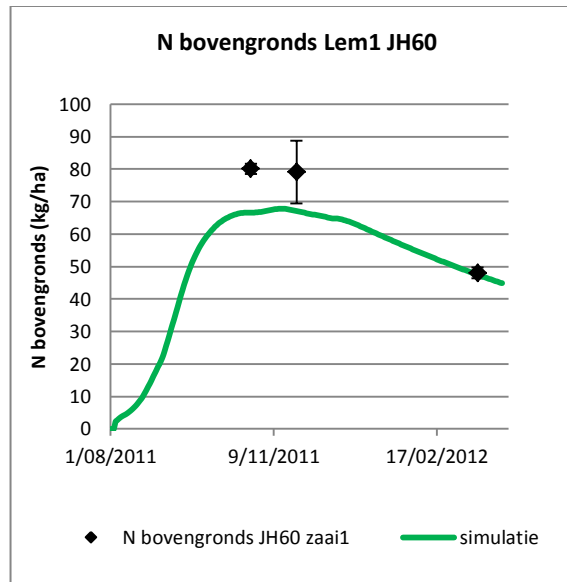
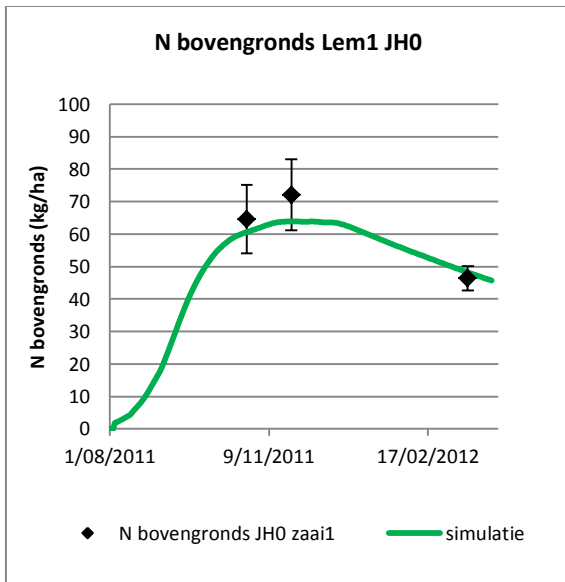


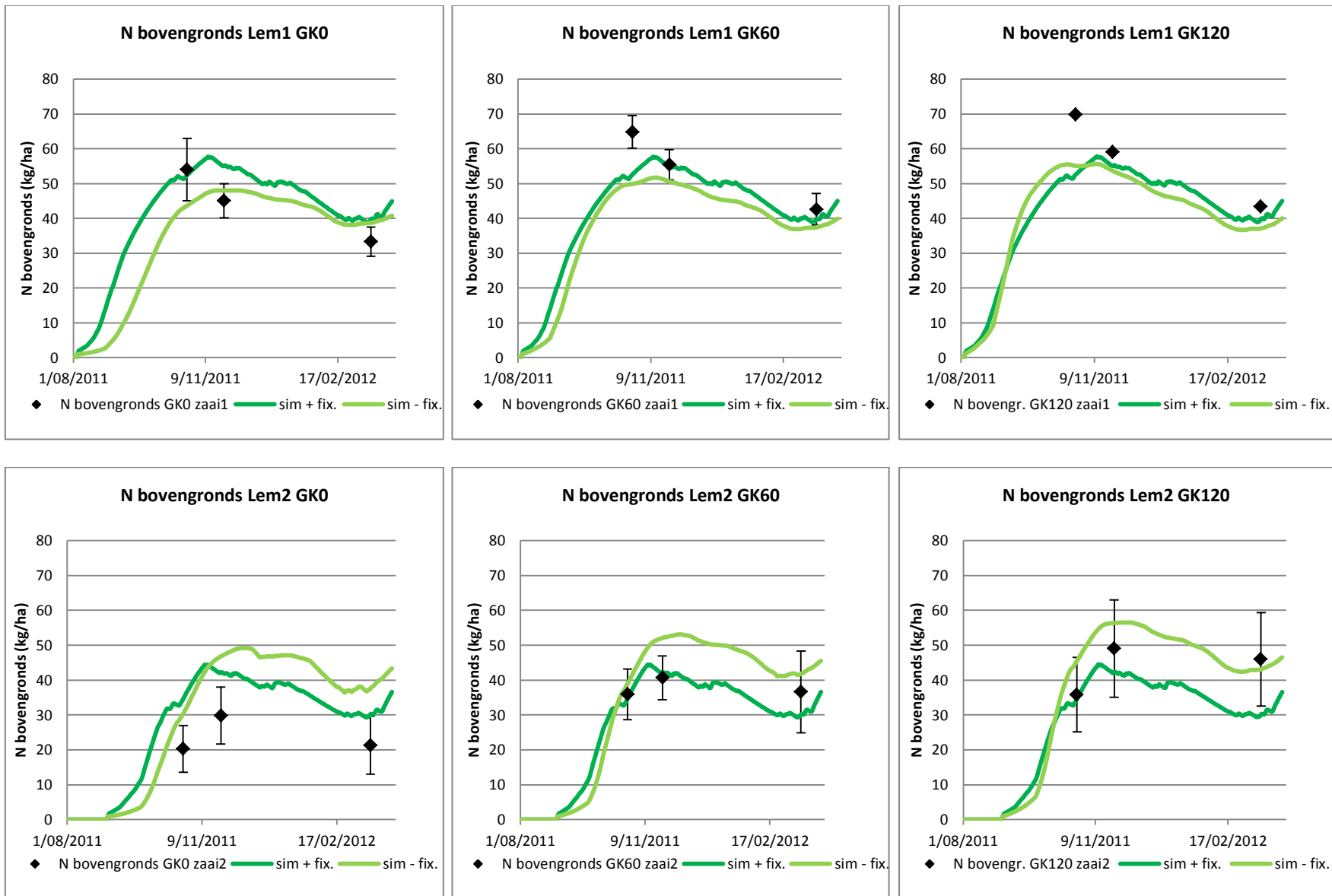












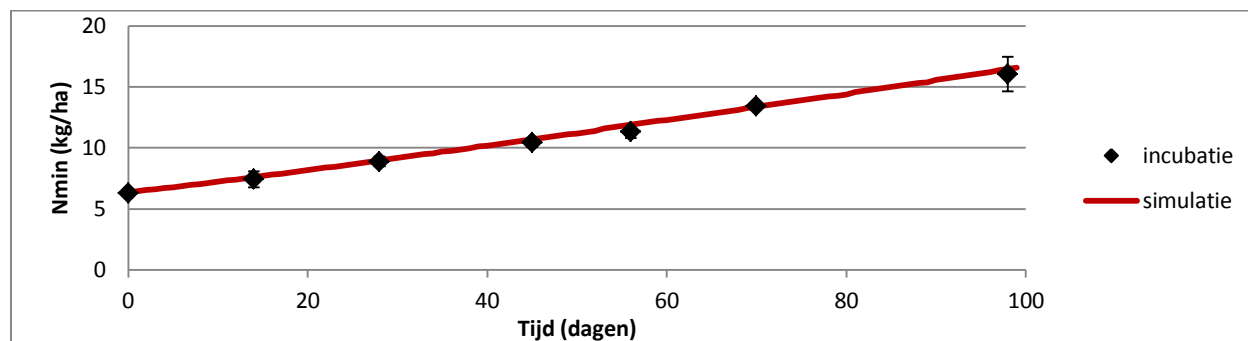
FIGUUR 36: GESIMULEERDE EN GEMETEN MINERALE N-CONCENTRATIES IN DE BODEM EN BOVENGRONDSE N-OPBRENGSTEN ONDER VANGGEWASSEN VOOR HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR IN LEMBERGE.



## 4.4.2 KALIBRATIE EN VALIDATIE OP LEEM

### 4.4.2.1 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT BODEMORGANISCHE STOF (LEEM)

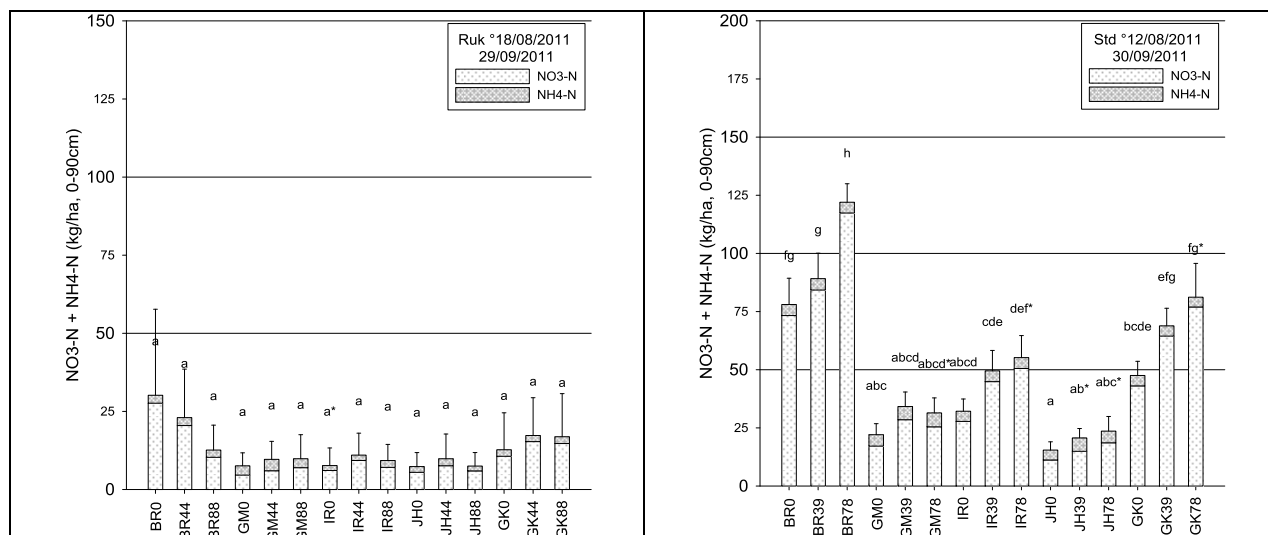
Op leem werd initieel voor de dataset van Rukkelingen-Loon (1<sup>e</sup> proefjaar) gekozen, aangezien met de bodem van dat proefperceel eveneens een incubatieproef werd uitgevoerd. Op basis van de resultaten van deze proef werden de modelparameters voor mineralisatie uit bodemorganische stof succesvol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

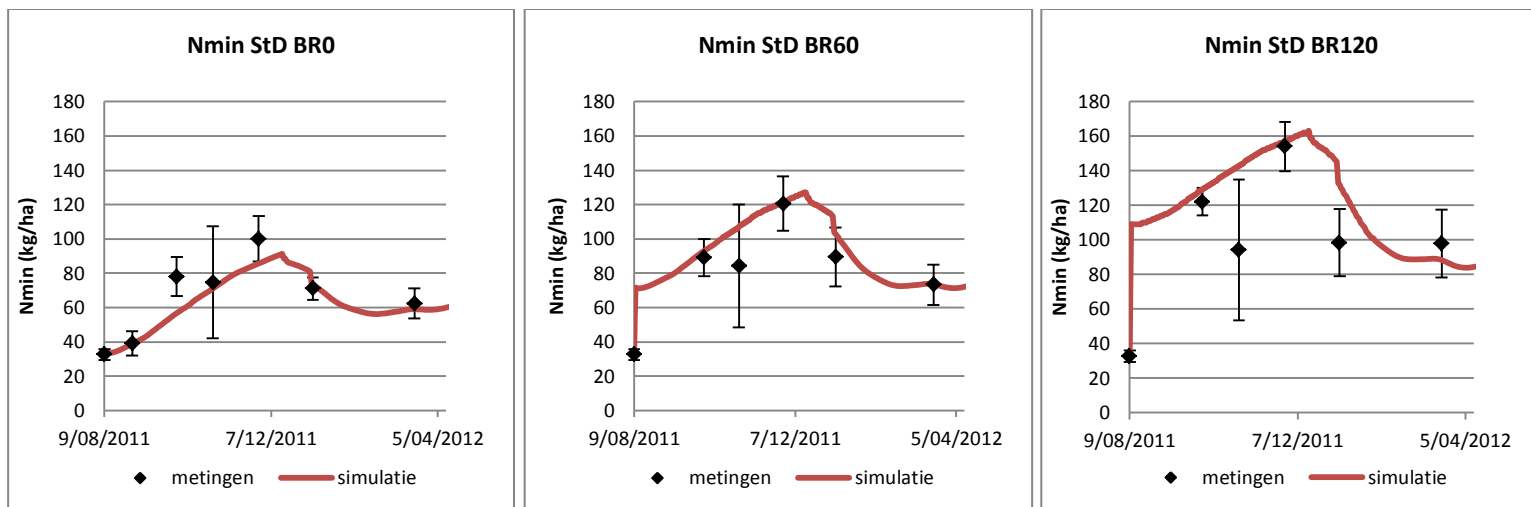
	<b>Rukkelingen-Loon</b>	<b>Sint-Denijs</b>
Zand (%)	7,5	10,5
Leem (%)	74,5	76,5
Klei (%)	17,9	13,0
OC (%)	1,18	1,07
pH-KCl	6,8	6,8
P (mg/100g)	28	19
K (mg/100g)	19	22
Mg (mg/100g)	14	17
Ca (mg/100g)	258	257
Na (mg/100g)	3,8	<2,0

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<sup>e</sup> 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 (CM<sup>3</sup> CM<sup>-3</sup>) BIJ VERWELKINGSPUNT ( $\theta_{WP}$ ), BIJ VELDCAPACITEIT ( $\theta_{FC}$ ) EN BIJ VERZADIGING ( $\theta_{SAT}$ ) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN SINT-DENIJS.**

<b>Bodemlaag</b>	<b>0-30 cm</b>	<b>30-60 cm</b>	<b>60-90 cm</b>
$\theta_{WP}$	0,11	0,14	0,14
$\theta_{FC}$	0,28	0,30	0,30
$\theta_{SAT}$	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<sup>-1</sup> voor BR0 en BR60 en 20 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaai iets te hoog lag. De bovengrondse N-opbrengsten werden echter wel correct gesimuleerd.

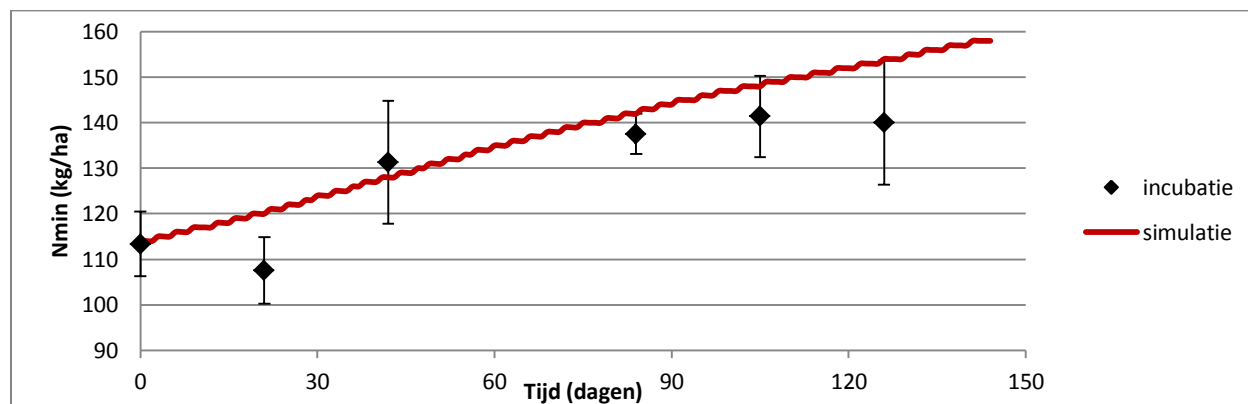
Voor het grasklavermengsel waren de simulaties iets minder performant maar zeker aanvaardbaar. Bij het in rekening brengen van de N-fixatie was de gesimuleerde N-opbrengst voor de 3 bemestingstrappen identiek, wat niet overeenstemde met de metingen. Zonder N-fixatie werden er wel verschillen in N-opbrengsten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

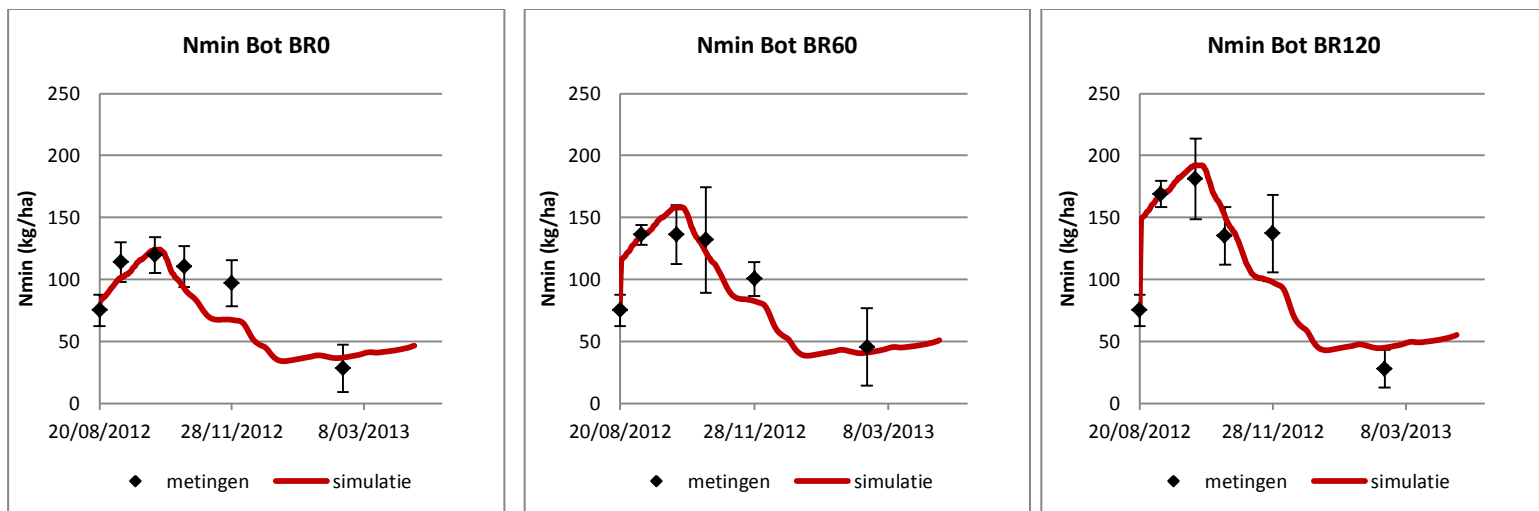
##### 4.4.4.2 KALIBRATIE PARAMETERS MINERALISATIE UIT DE GRAANSTOPPEL EN UIT DE MENGMEEST

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 ( $\theta_{\text{WP}}$ ), BIJ VELDCAPACITEIT ( $\theta_{\text{FC}}$ ) EN BIJ VERZADIGING ( $\theta_{\text{SAT}}$ ) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN BOTTELARE (2<sup>E</sup> PROEFJAAR).

Bodemlaag	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
$\theta_{\text{WP}}$	0,05	0,04	0,04
$\theta_{\text{FC}}$	0,15	0,13	0,12
$\theta_{\text{SAT}}$	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  $17 \text{ kg N ha}^{-1}$  (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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar) in Bottelare tijdens het 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar) door hierop de gekalibreerde parameterset voor mineralisatie uit bodemorganische stof en mengmest op zand (Bottelare, 2<sup>e</sup> proefjaar) toe te passen. Aangezien beide datasets uit het 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 (CM<sup>3</sup> CM<sup>-3</sup>) BIJ VERWELKINGSPUNT ( $\theta_{WP}$ ), BIJ VELDCAPACITEIT ( $\theta_{FC}$ ) EN BIJ VERZADIGING ( $\theta_{SAT}$ ) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN MERELBEKE (2<sup>E</sup> PROEFJAAR). HET GEMETEN VOCHTGEHALTE IS WEERGEGEVEN MET DE STANDAARD AFWIJING, HET GESCHAT VOCHTGEHALTE STAAT TUSSEN HAAKJES.**

<b>Bodemlaag</b>	<b>0-30 cm</b>	<b>30-60 cm</b>	<b>60-90 cm</b>
<b><math>\theta_{WP}</math></b>	0,06 ± 0,02 (0,10)	0,06 ± 0,03 (0,10)	0,05 ± 0,02 (0,10)
<b><math>\theta_{FC}</math></b>	0,20 ± 0,01 (0,19)	0,15 ± 0,03 (0,19)	0,14 ± 0,06 (0,19)
<b><math>\theta_{SAT}</math></b>	0,45 ± 0,03 (0,44)	0,37 ± 0,03 (0,44)	0,36 ± 0,02 (0,44)

De simulaties van het N<sub>min</sub>-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<sub>min</sub>-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<sub>min</sub>-gehalten eind augustus. Op de 60N-bemestingstrap ligt het gesimuleerde N<sub>min</sub>-gehalte ook in september en oktober nog iets boven de metingen.

Onder alle vanggewassen van het 1<sup>e</sup> zaaitijdstip komen het gesimuleerde en gemeten N<sub>min</sub>-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 vanggewassen 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<sup>e</sup> zaai van het grasklavermengsel.

Voor de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar) door hierop de gekalibreerde parameterset voor mineralisatie uit bodemorganische stof (Rukkelingen-Loon, 1<sup>e</sup> proefjaar) en uit de graanstoppel en de mengmest (Sint-Denijs, 1<sup>e</sup> proefjaar) toe te passen. Voor simulatie van opname en groei van de vanggewassen werd opnieuw de gekalibreerde parameterset uit Lemberge (1<sup>e</sup> 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 ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) BIJ VERWELKINGSPUNT ( $\theta_{\text{WP}}$ ), BIJ VELDCAPACITEIT ( $\theta_{\text{FC}}$ ) EN BIJ VERZADIGING ( $\theta_{\text{SAT}}$ ) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN RUKKELINGEN-LOON (2<sup>E</sup> PROEFJAAR).**

<b>Bodemlaag</b>	<b>0-30 cm</b>	<b>30-60 cm</b>	<b>60-90 cm</b>
$\theta_{\text{WP}}$	0,11	0,14	0,14
$\theta_{\text{FC}}$	0,28	0,30	0,30
$\theta_{\text{SAT}}$	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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar). Aangezien 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> proefjaar) en Lemberge (1<sup>e</sup> proefjaar) toegepast voor respectievelijk het 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> zaaitijdstip) en wintertarwe (2<sup>e</sup> 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 ( $\theta_{\text{WP}}$ ), BIJ VELDCAPACITEIT ( $\theta_{\text{FC}}$ ) EN BIJ VERZADIGING ( $\theta_{\text{SAT}}$ ) VOOR DE VERSCHILLENDE BODEMLAGEN IN BOTTELARE (1<sup>E</sup> PROEFJAAR, 1<sup>E</sup> ZAAITIJDS TIP).**

<b>Bodemlaag</b>	<b>0-30 cm</b>	<b>30-60 cm</b>	<b>60-90 cm</b>
<b><math>\theta_{\text{WP}}</math></b>	0,05	0,05	0,05
<b><math>\theta_{\text{FC}}</math></b>	0,16	0,14	0,14
<b><math>\theta_{\text{SAT}}</math></b>	0,43	0,38	0,40



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

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

De simulaties van het  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -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<sup>e</sup> zaaitijdstip. Op het perceel van het 2<sup>e</sup> zaaitijdstip werd het  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -gehalte in het najaar enigszins onderschat. Voor Italiaans raaigras werden de bovengrondse N-opbrengsten zwaar overschat maar bleek het  $N_{\text{min}}$ -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<sup>e</sup> zaaitijdstip ook een te hoge bovengrondse N-opbrengst gesimuleerd. Desondanks lagen de gesimuleerde  $N_{\text{min}}$ -gehaltenes initieel boven de gemeten waarden, hoewel vanaf eind oktober de simulaties en metingen vrij goed overeenkwamen. Voor het 2<sup>e</sup> zaaitijdstip werden de bovengrondse N-opbrengsten beter gesimuleerd, mits een lichte onderschatting van het effect van de bemesting. De  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -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  $N_{\text{min}}$ -gehalte (Bijlage 11). De verhouding was het grootst voor het grasklavermengsel, met name voor het 1<sup>e</sup> zaaitijdstip, waarbij echter zowel met als zonder het simuleren van de N-fixatie vergelijkbare cijfers gevonden werden. Voor het 1<sup>e</sup> 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	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>
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	<b>1,3</b>	<b>1,0</b>
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	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>
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	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>
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	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>
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	<b>2,2</b>	<b>2,2</b>
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	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>
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	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>
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	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>
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	<b>2,0</b>	<b>1,6</b>
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	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>
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	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>
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	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>
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	<b>2,5</b>	<b>2,9</b>
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	<b>3,3</b>	<b>2,6</b>
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	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>
GK0 + fixatie	0,9	1,1	5,4	3,0	-	-	3,3	0,8	9,2	1,3	0,5	2,2	<b>3,9</b>	<b>1,7</b>
GK60 + fixatie	1,2	1,6	3,0	3,1	-	-	3,8	1,8	10,7	3,4	0,8	1,3	<b>3,9</b>	<b>2,2</b>
GK120 + fixatie	2,0	0,7	5,7	6,5	-	-	6,9	1,8	11,5	2,8	2,0	2,0	<b>5,6</b>	<b>2,8</b>
GK + fixatie	1,4	1,1	4,7	4,2	-	-	4,7	1,5	10,5	2,5	1,1	1,9	<b>4,5</b>	<b>2,2</b>
GK0 - fixatie	0,8	1,3	6,6	4,9	-	-	2,3	1,2	9,5	1,3	0,7	2,1	<b>4,0</b>	<b>2,2</b>
GK60 - fixatie	1,6	1,0	2,4	3,7	-	-	3,3	1,6	10,2	3,3	0,9	1,3	<b>3,7</b>	<b>2,2</b>
GK120 - fixatie	2,0	0,6	5,3	6,9	-	-	9,0	2,2	10,5	2,7	1,9	2,1	<b>5,8</b>	<b>2,9</b>
GK - fixatie	1,5	1,0	4,8	5,2	-	-	4,9	1,7	10,1	2,4	1,2	1,8	<b>4,5</b>	<b>2,4</b>
<b>gemiddeld</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>1,9</b>	<b>5,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,3</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>	<b>2,0</b>
<b>gemiddeld Z1+Z2</b>	<b>1,2</b>		<b>3,1</b>		<b>2,3</b>		<b>2,2</b>		<b>3,4</b>		<b>1,6</b>		<b>2,3</b>	

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<sup>e</sup> proefjaar). Bij vergelijking van de verschillende behandelingen bleek de accuraatheid erg variabel. Gemiddeld werden de beste resultaten gevonden voor de 2<sup>e</sup> zaai van Japanse haver en voor de 1<sup>e</sup> 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	<b>2.7</b>	<b>2.5</b>
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	<b>4.4</b>	<b>4.5</b>
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	<b>3.6</b>	<b>5.6</b>
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	<b>3.6</b>	<b>4.2</b>
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	<b>3.4</b>	<b>8.3</b>
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	<b>6.3</b>	<b>6.7</b>
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	<b>9.8</b>	<b>7.1</b>
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	<b>6.5</b>	<b>7.3</b>
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	<b>5.4</b>	<b>1.6</b>
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	<b>5.5</b>	<b>2.7</b>
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	<b>5.7</b>	<b>2.1</b>
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	<b>5.6</b>	<b>2.2</b>
GK0 + fixatie	1.3	1.6	6.1	12.1	-	-	0.7	0.7	4.1	-	0.9	1.8	<b>2.6</b>	<b>4.1</b>
GK60 + fixatie	1.1	0.3	2.3	6.1	-	-	2.4	2.6	4.2	-	0.9	2.1	<b>2.2</b>	<b>2.8</b>
GK120 + fixatie	0.8	0.6	2.5	2.1	-	-	3.8	4.4	15.1	-	1.9	0.8	<b>4.8</b>	<b>2.0</b>
GK + fixatie	1.0	0.8	3.6	6.8	-	-	2.3	2.6	7.8	-	1.2	1.6	<b>3.2</b>	<b>2.9</b>
GK0 - fixatie	1.0	1.8	2.9	6.6	-	-	0.6	1.2	3.4	-	0.6	2.1	<b>1.7</b>	<b>2.9</b>
GK60 - fixatie	1.8	0.9	3.7	10.6	-	-	1.1	1.7	2.8	-	1.3	4.5	<b>2.1</b>	<b>4.4</b>
GK120 - fixatie	0.9	0.6	5.3	6.9	-	-	2.9	2.7	0.7	-	1.3	2.9	<b>2.2</b>	<b>3.3</b>
GK - fixatie	1.2	1.1	3.9	8.0	-	-	1.5	1.9	2.3	-	1.1	3.2	<b>2.0</b>	<b>3.5</b>
gemiddeld	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>4.0</b>	<b>4.5</b>	<b>5.8</b>	<b>7.9</b>	<b>3.0</b>	<b>2.9</b>	<b>10.5</b>	<b>2.3</b>	<b>1.9</b>	<b>7.2</b>	<b>4.4</b>	<b>4.3</b>
gemiddeld Z1+Z2	<b>1.0</b>		<b>4.2</b>		<b>6.9</b>		<b>2.9</b>		<b>6.4</b>		<b>4.5</b>		<b>4.3</b>	

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 inaccuraat simulatie van de bovengrondse N-opbrengst resulteerde immers niet steeds in een inaccuraat 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<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> proefjaar).

## 4.7 GLOBALE BESPREKING VAN DE MODELOUTPUT

### 4.7.1 INLEIDING

De onderzoeksvraag is of een aanvullende bemesting van  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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

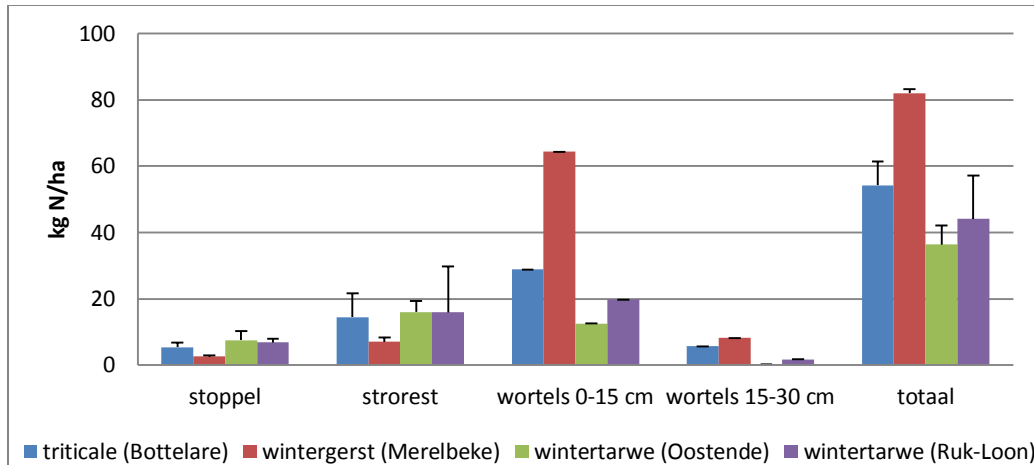
De weergegeven cijfers voor de depositie zijn telkens berekend op basis van de gemiddelde cijfers per gemeente uit het Mira Rapport (2011), waarbij rekening werd gehouden met de lengte van de simulatieperiode. De depositie in Limburg (Rukkelingen-Loon) is duidelijk kleiner dan in Oost- en West-Vlaanderen. 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  $82 \text{ kg N ha}^{-1}$  werd vrijgesteld op zandleem (Lemberge) en op leem (Merelbeke). Uit de oogstresten van wintertarwe werd  $35 \text{ kg N ha}^{-1}$  vrijgesteld op leem (Sint-Denijs en Rukkelingen-Loon) en  $49 \text{ kg N ha}^{-1}$  op licht zandleem (Bottelare, 1<sup>e</sup> proefjaar, 2<sup>e</sup> zaai). Uit de oogstresten van triticale werd op zand (Bottelare, 1<sup>e</sup> proefjaar, 1<sup>e</sup> zaai en 2<sup>e</sup> proefjaar)  $55 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $61 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> (Bottelare en Merelbeke) en 60 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) waren groter dan op leem (11 kg N ha<sup>-1</sup>), hetgeen verklaard werd door grote verschillen in het N<sub>min</sub>-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<sup>-1</sup> ofwel een beperkte afname ofwel een beperkte toename van de uitspoeling. Bij een bemesting met 120 kg N ha<sup>-1</sup> 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 NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O 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<sup>e</sup> proefjaar, met name op die locaties waar de 2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>E</sup> PROEFJAAR (IN KG N HA<sup>-1</sup> TENZIJ ANDERS VERMELD).

<b>LEMBERGE INZAAI 04/08/2011</b>	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

<b>LEMBERGE INZAAI 31/08/2011</b>	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<sup>E</sup> PROEFJAAR (IN KG N HA<sup>-1</sup> TENZIJ ANDERS VERMELD).**

<b>SINT-DENIJS INZAAI 12/08/2011</b>	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

<b>SINT-DENIJS INZAAI 30/08/2011</b>	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<sup>E</sup> PROEFJAAR (IN KG N HA<sup>-1</sup> TENZIJ ANDERS VERMELD).

<b>BOTTELARE INZAAI 10/08/2011</b>	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	-	-	-
Verschil 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	-	-	-

<b>BOTTELARE INZAAI 29/08/2011</b>	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	-	-	-
Verschil 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<sup>E</sup> PROEFJAAR (IN KG N HA<sup>-1</sup> TENZIJ ANDERS VERMELD).

<b>MERELBEKE INZAAI 01/08/2012</b>	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 NO <sub>3</sub> (mg/l)	221	277	333	34	35	37	37	36	37	35	35	36	80	80	104

<b>MERELBEKE INZAAI 30/08/2012</b>	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 NO <sub>3</sub> (mg/l)	221	277	333	62	69	81	54	50	68	79	130	185	138	155	197

TABEL 41: MODELOUTPUT VOOR RUKKELINGEN-LOON, 2<sup>Z</sup> PROEFJAAR (IN KG N HA<sup>-1</sup> TENZIJ ANDERS VERMELD).

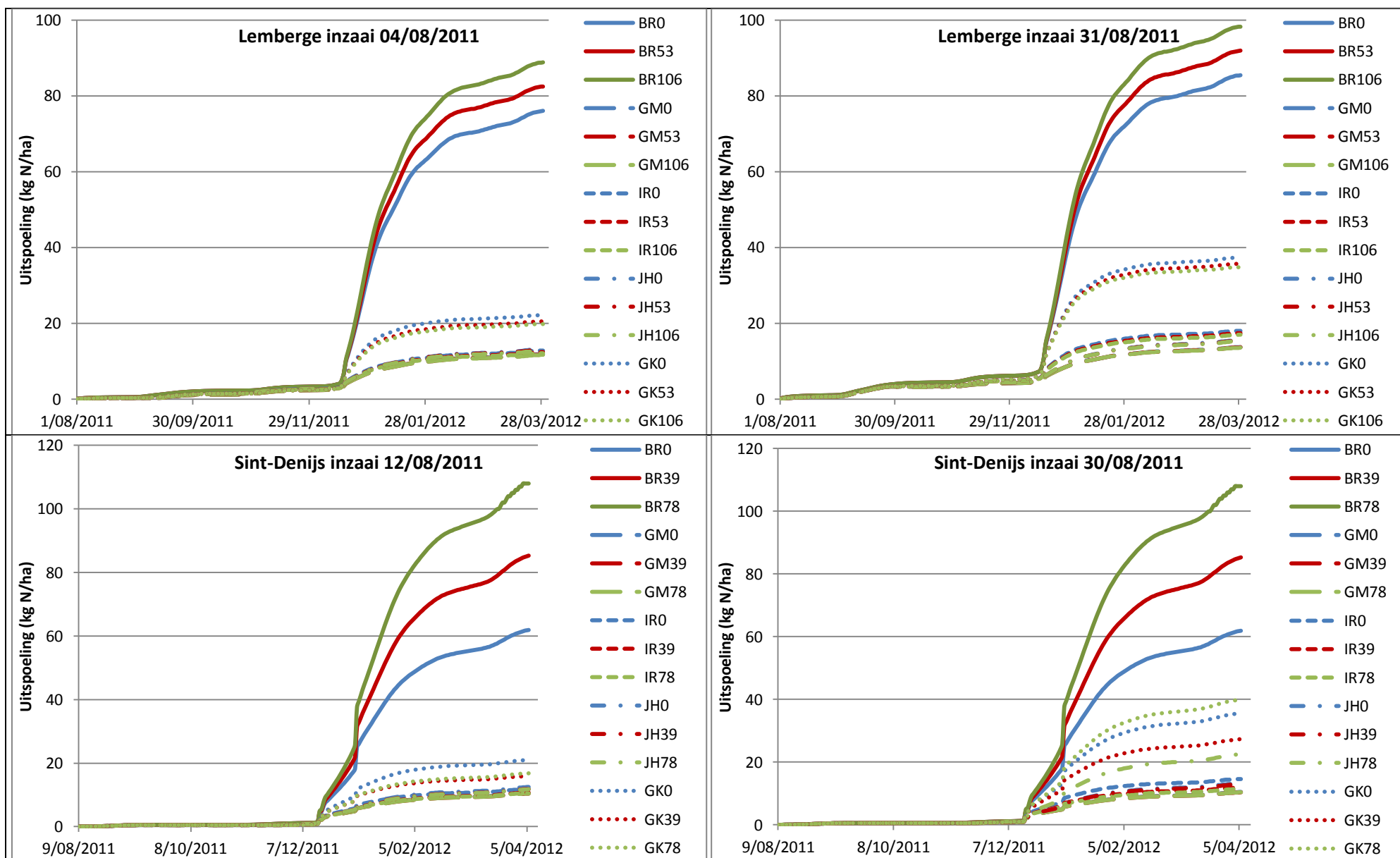
<b>RUKKELINGEN-LOON INZAAI 21/08/2012</b>	BR0	BR65	BR131	GM0	GM65	GM131	IR0	IR65	IR131	JH0	JH65	JH131	GK0	GK65	GK131
Depositie	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Mineralisatie bodemorganische stof	58	59	58	54	53	53	57	57	56	55	55	55	56	56	56
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	35	47	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
Verschil 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

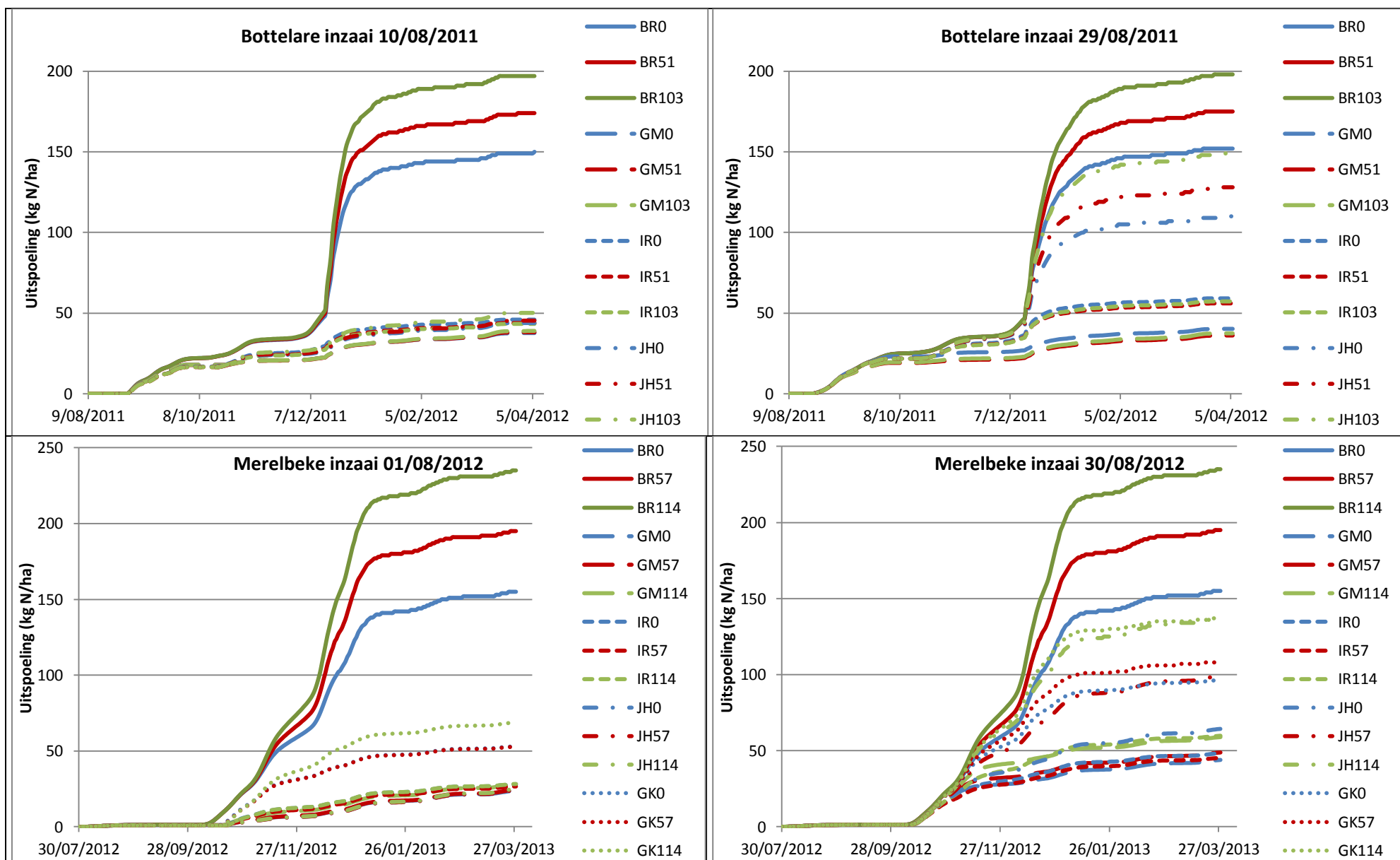
<b>RUKKELINGEN-LOON INZAAI 05/09/2012</b>	BR0	BR65	BR131	GM0	GM65	GM131	IR0	IR65	IR131	JH0	JH65	JH131	GK0	GK65	GK131
Depositie	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Mineralisatie bodemorganische stof	58	59	58	55	55	55	57	57	57	56	57	56	57	57	57
Mineralisatie toegediend organisch materiaal	35	47	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
Verschil 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

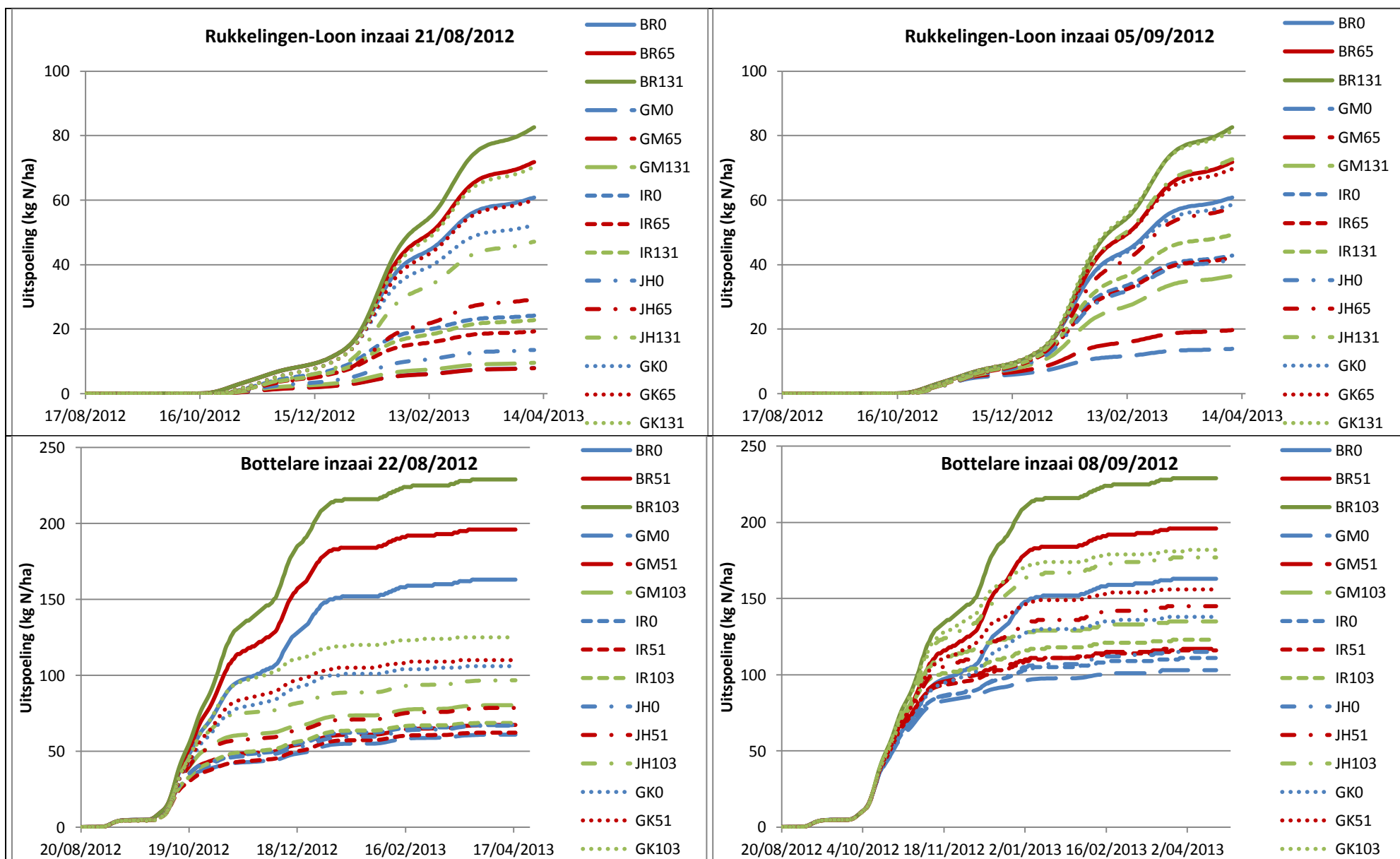
TABEL 42: MODELOUTPUT VOOR BOTTELARE, 2<sup>E</sup> PROEFJAAR (IN KG N HA<sup>-1</sup> TENZIJ ANDERS VERMELD).

<b>BOTTELARE INZAAI 22/08/2012</b>	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

<b>BOTTELARE INZAAI 08/09/2012</b>	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



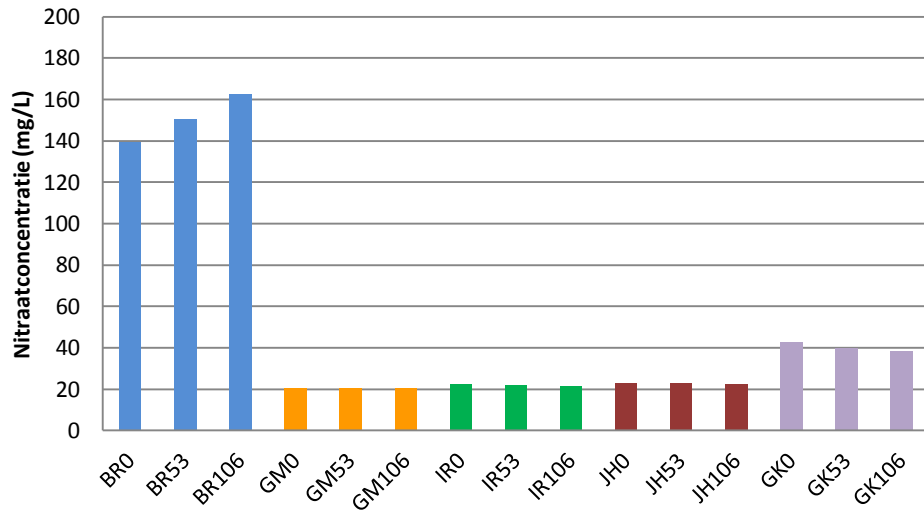




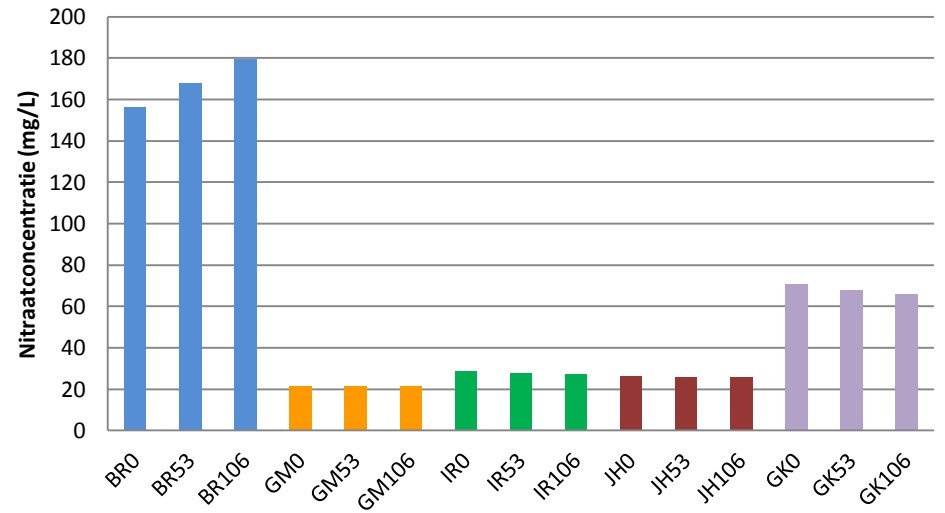
FIGUUR 43: VERLOOP VAN DE GESIMULEERDE NITRAATUITSPOELING VOOR DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN OP 6 PROEFPERCELEN.



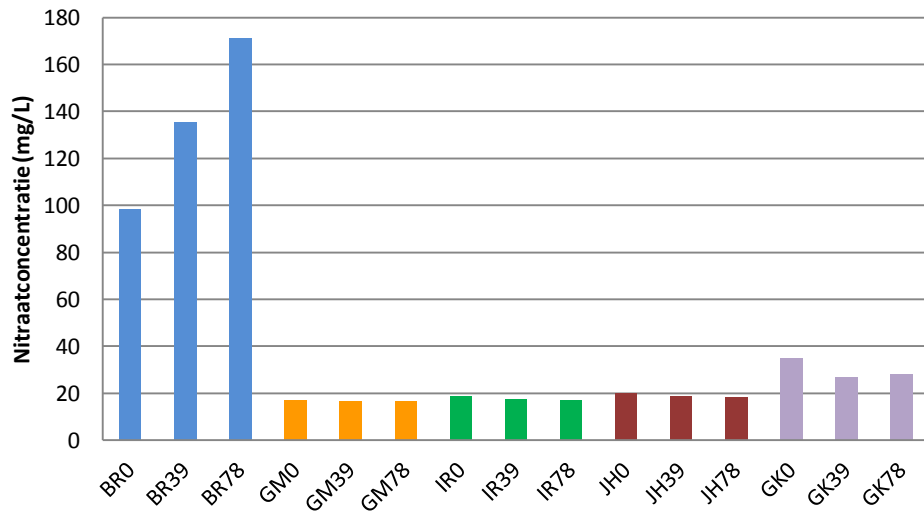
Lemberge inzaai 04/08/2011



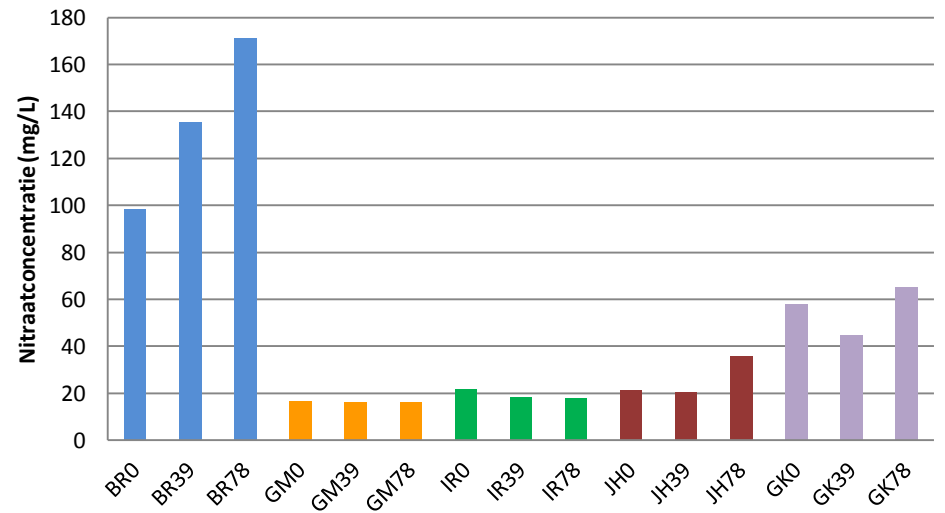
Lemberge inzaai 31/08/2011



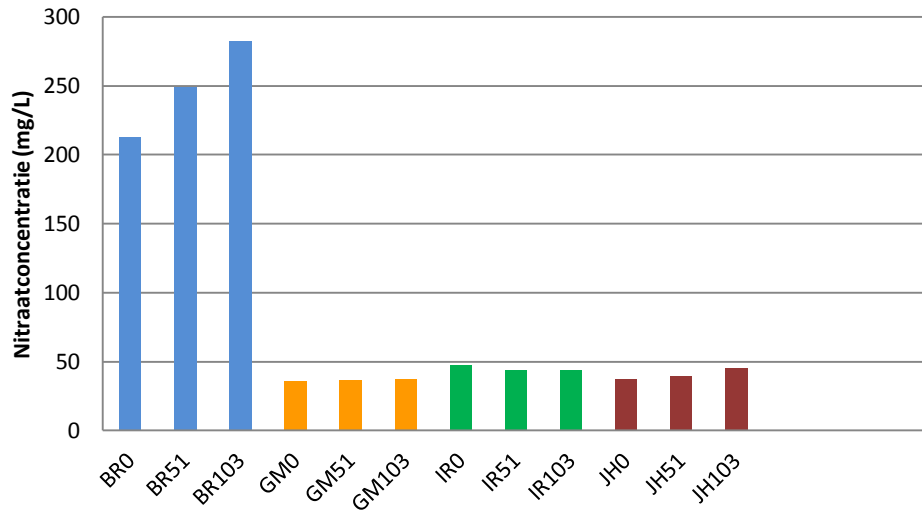
Sint-Denijs inzaai 12/08/2011



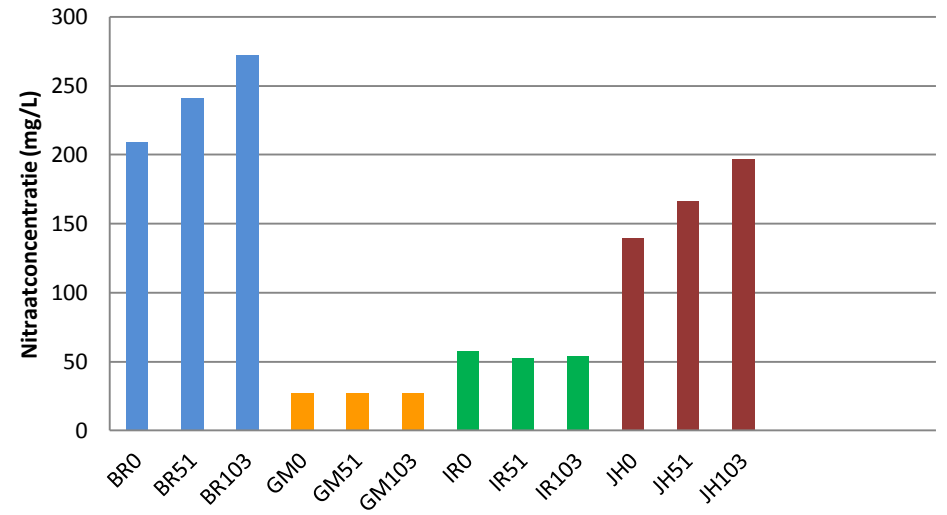
Sint-Denijs concentratie 30/08/2011



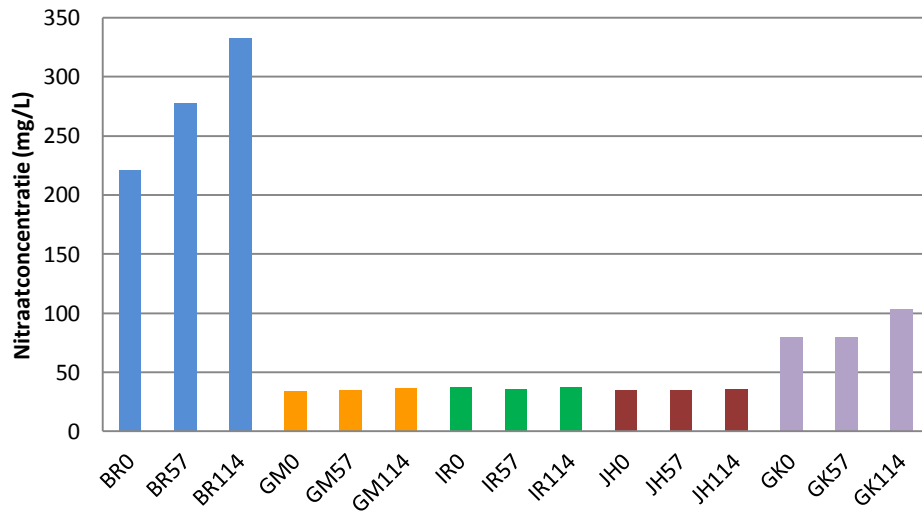
**Bottelare inzaai 10/08/2011**



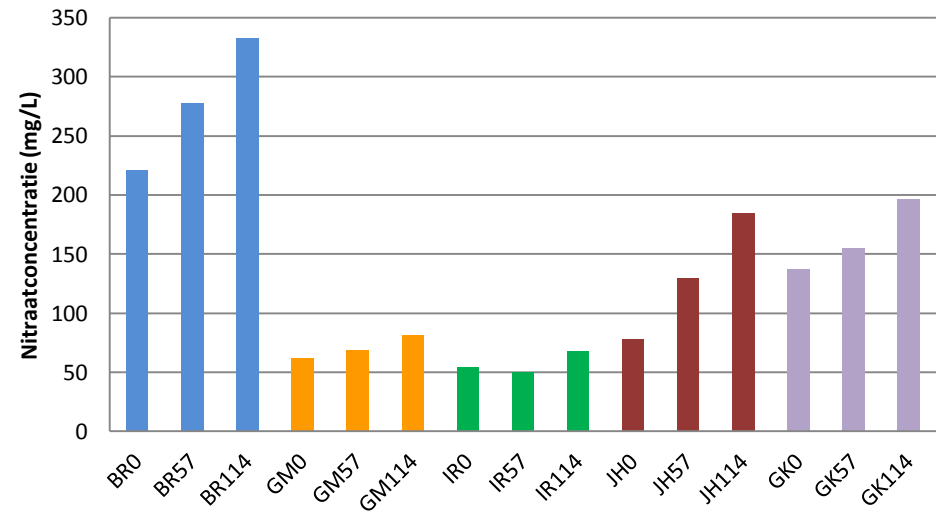
**Bottelare inzaai 29/08/2011**

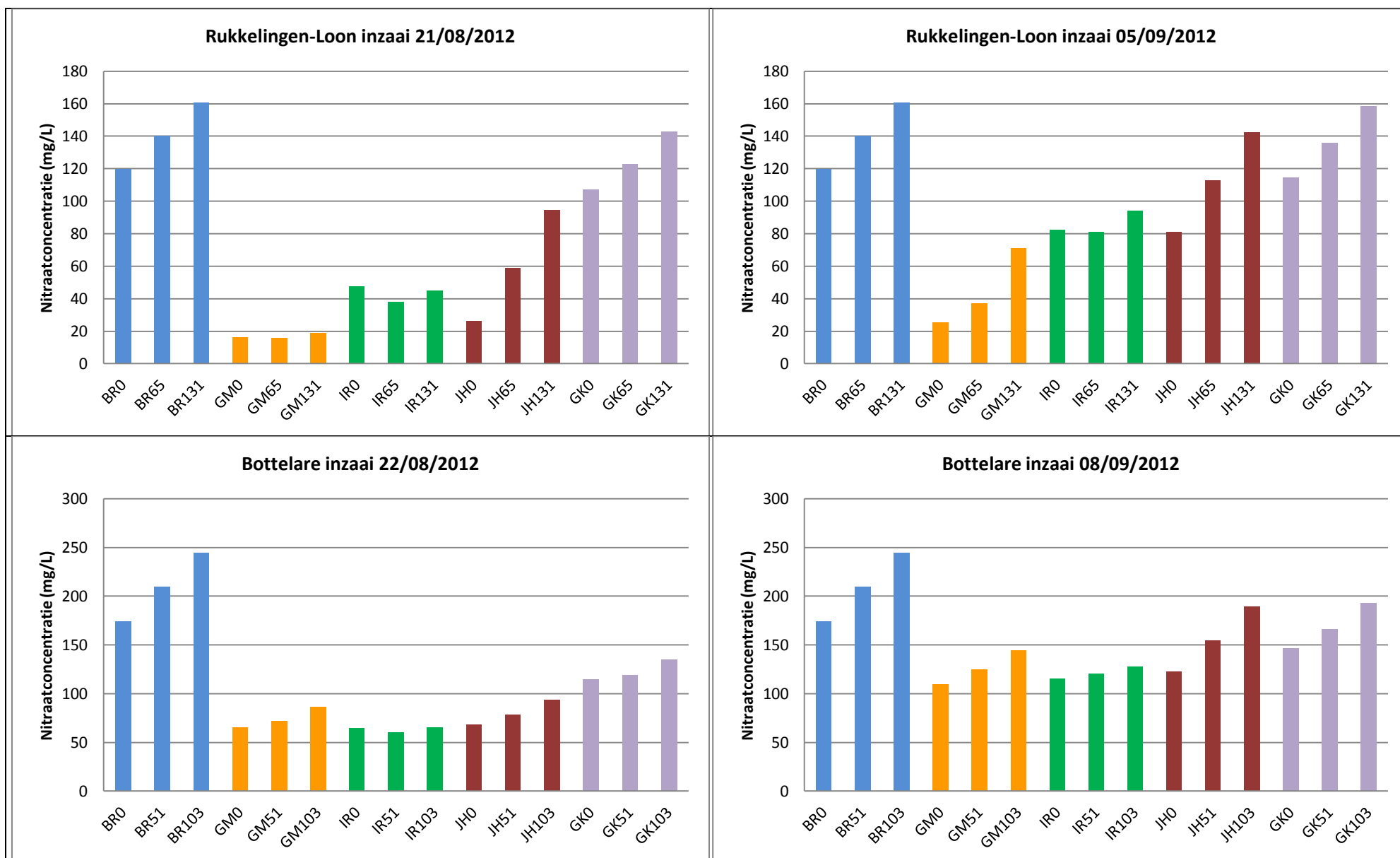


**Merelbeke inzaai 01/08/2012**



**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

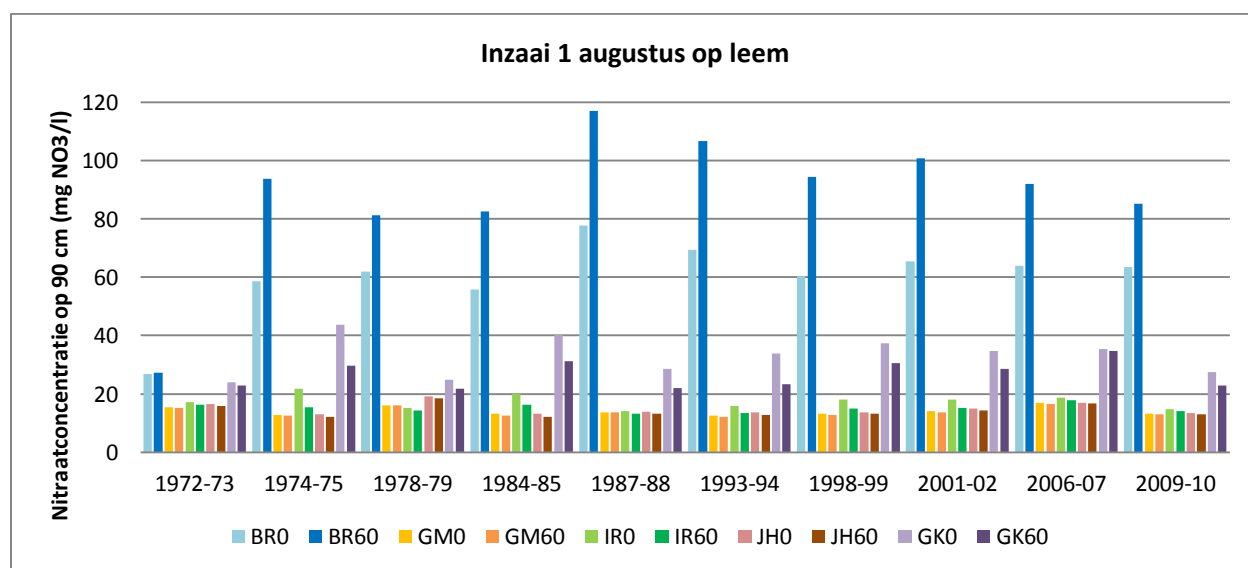
Bij deze meerjarige scenarioanalyses werden alle behandelingen met uitzondering van de 120N-bemestingstrap meegenomen. Voor het grasklavermengsel werd geen N-fixatie gesimuleerd. De inzaai van de vanggewassen werd steeds gesimuleerd op 1 en op 31 augustus. Het  $N_{\min}$ -gehalte op 31 juli was zoals gemeten op beide proefpercelen (32,7 en 74,5 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> te bekomen. In tegenstelling tot de proef, waar voor beide zaaitijdstippen de bemesting werd uitgevoerd voorafgaand aan het 1<sup>e</sup> zaaitijdstip, werd de stoppel in deze scenarioanalyses ook voor het 2<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup> 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

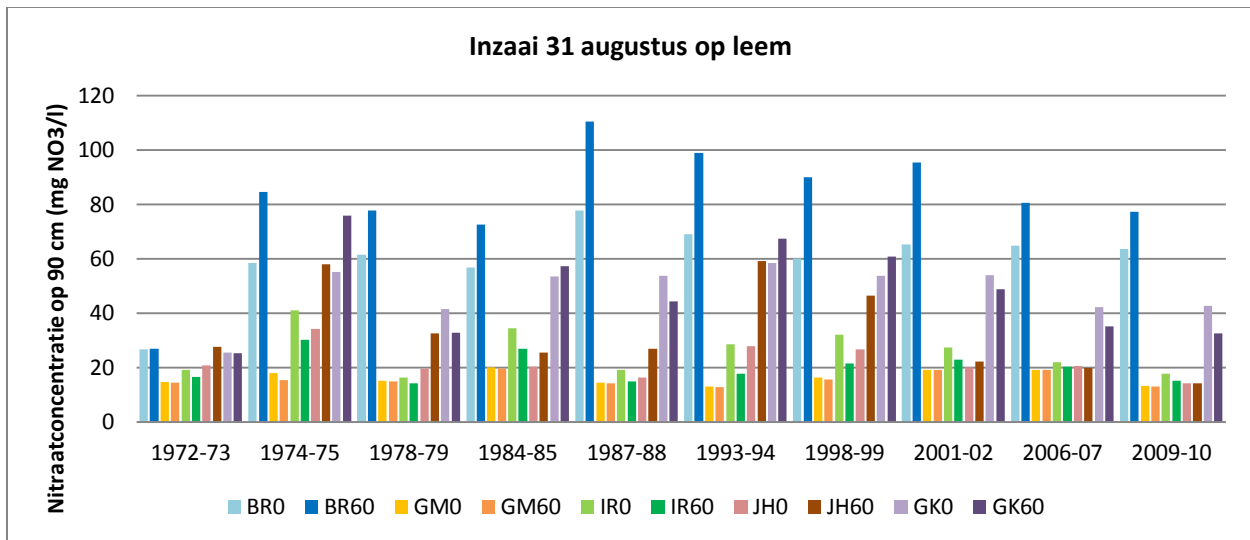
periode, was de nitraatconcentratie het laagst en was er een heel beperkte toename van de concentratie bij bemesting. In 1987-88, een relatief normaal jaar met een natte winter, was de nitraatconcentratie het hoogst en was er een grote toename van de concentratie bij bemesting. Het inwerktijdstip van 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.

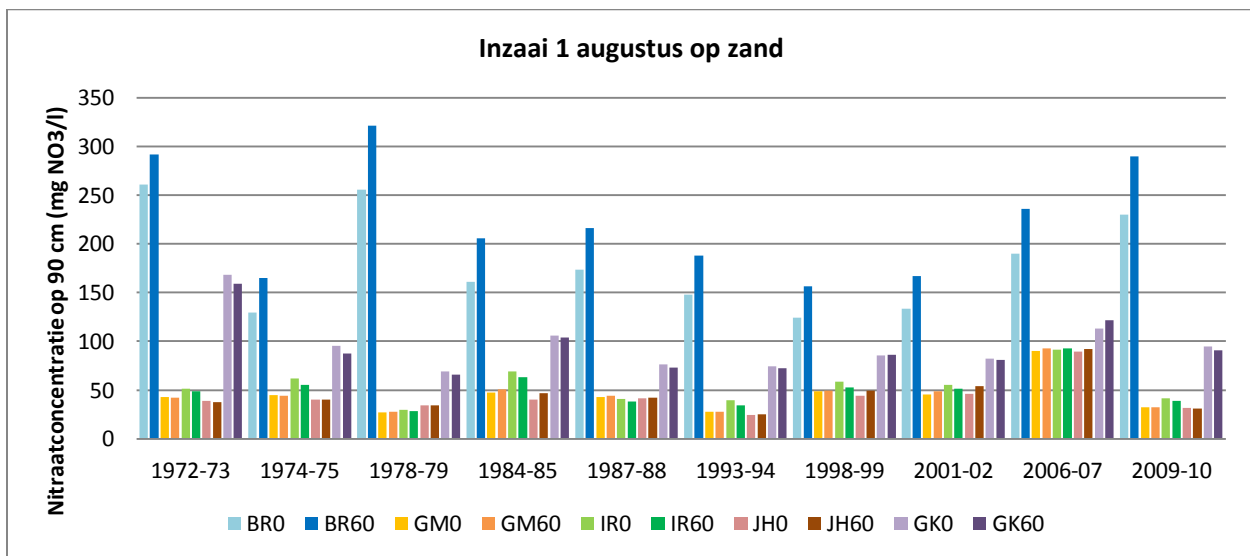


FIGUUR 45: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELTE NITRAATCONCENTRATIE OP EEN DIEPTE VAN 90 CM OP EEN LEEBODEM BIJ BEMESTING EN INZAAI OP 1 AUGUSTUS.

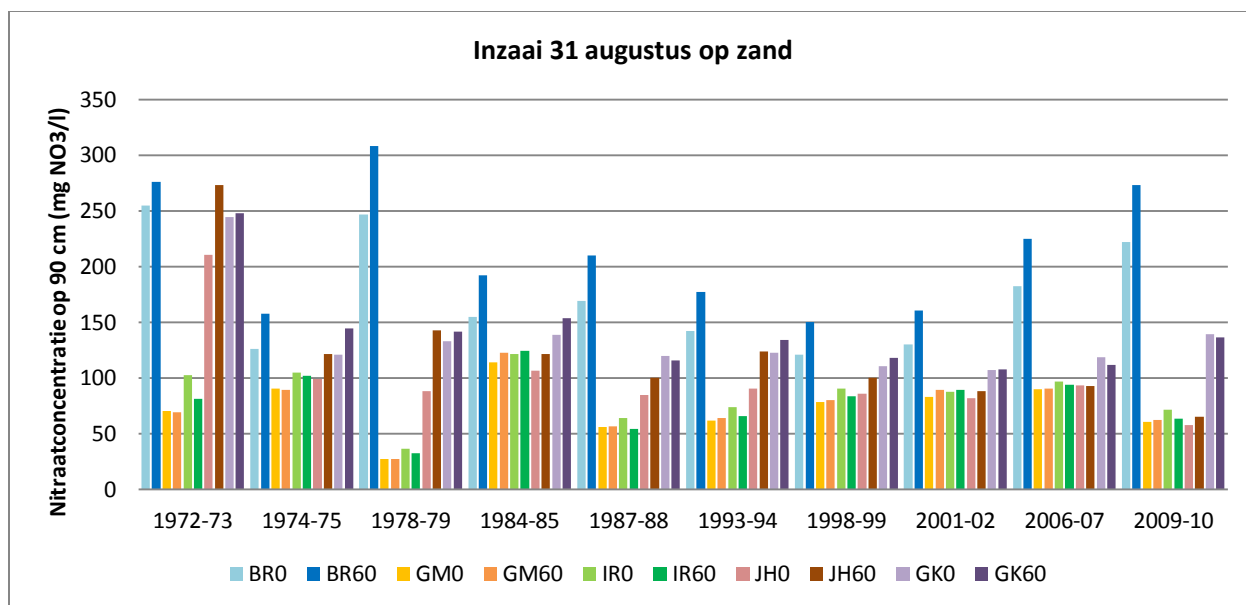


**FIGUUR 46: GESIMULEERDE GEWOGEN GEMIDDELDE NITRAATCONCENTRATIE OP EEN DIEPTE VAN 90 CM OP EEN LEEBODEM BIJ BEMESTING EN INZAAI OP 31 AUGUSTUS.**

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<sup>e</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> (standaard afwijking 19 kg N ha<sup>-1</sup>), als volgt verdeeld over 3 bodemlagen van 30 cm: 28 – 19 – 12 kg N ha<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup> (st. afw. 19 kg

N ha<sup>-1</sup>) voor percelen met niet-zandige bodemtextuur en 32 kg N ha<sup>-1</sup> (st. afw. 21 kg N ha<sup>-1</sup>) voor percelen met zandige bodemtextuur.

**TABEL 44: N<sub>MIN</sub>-GEHALTE (KG N HA<sup>-1</sup>) 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

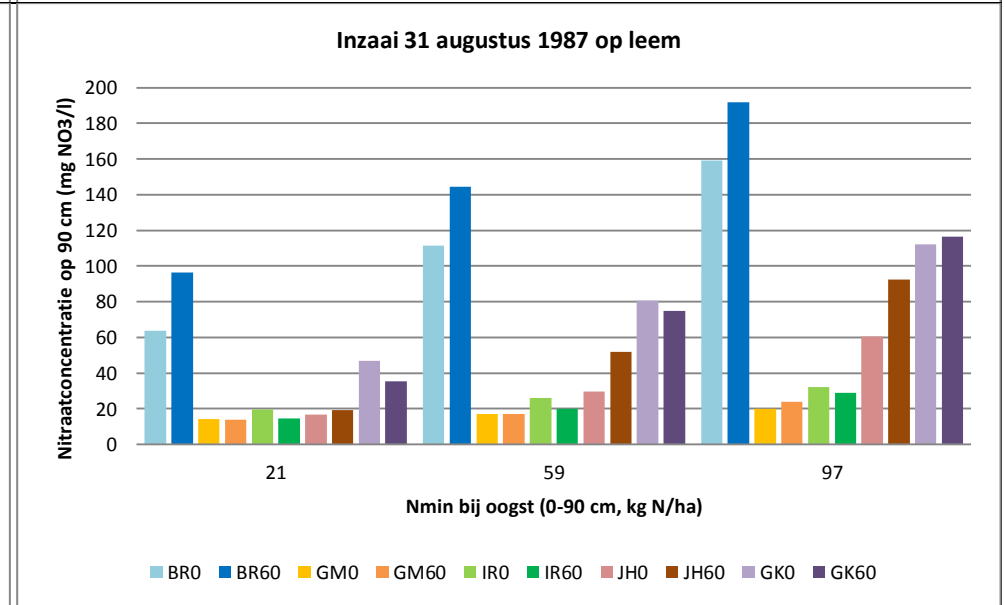
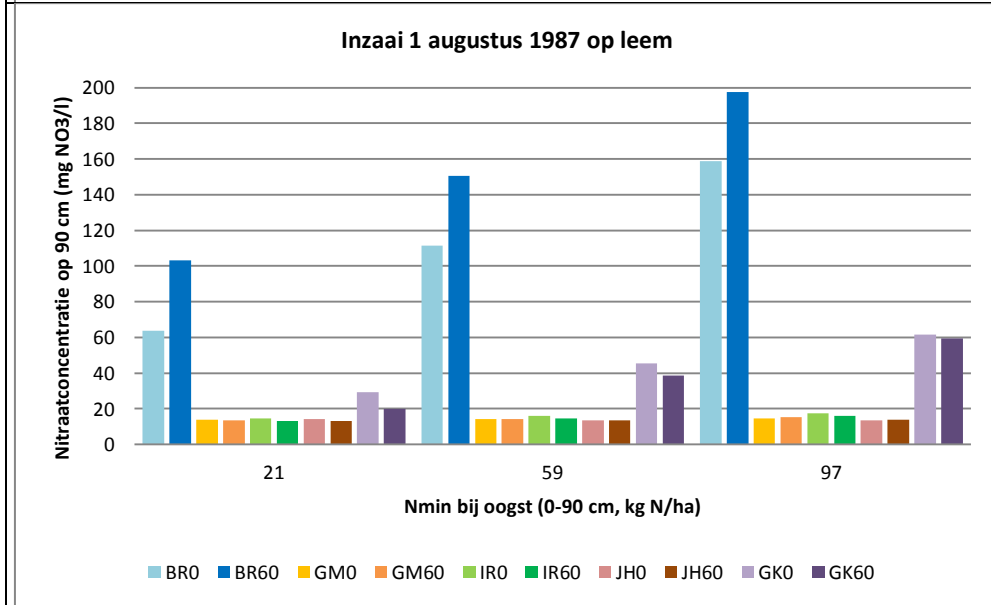
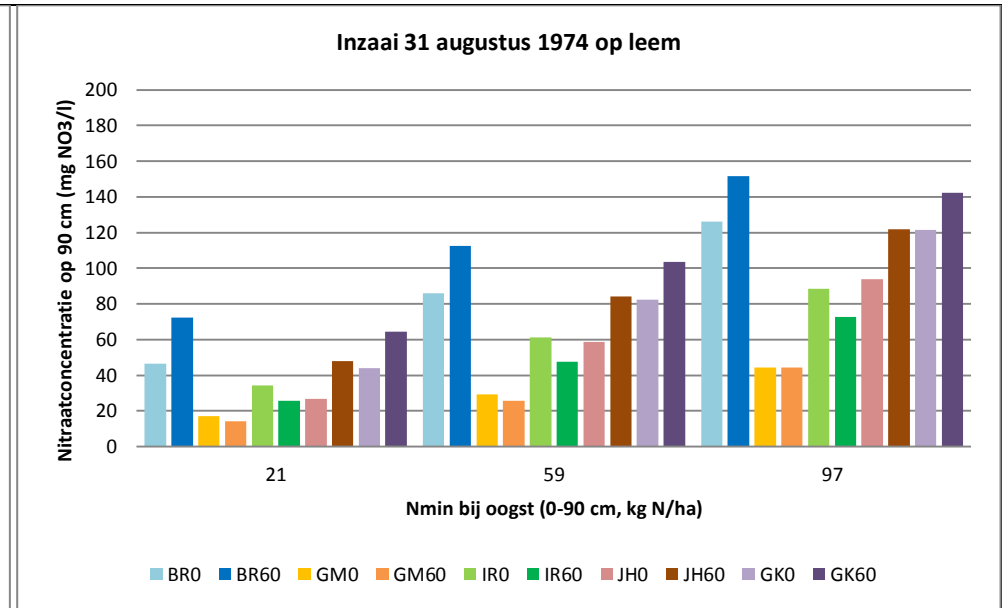
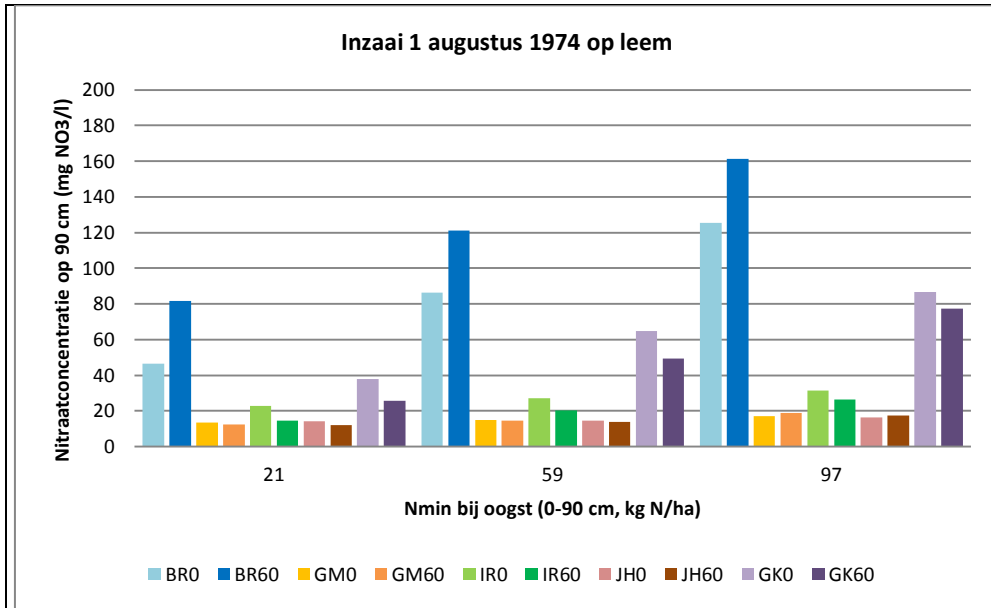
Op basis van de weersgegevens voor de herfst en de resultaten van de modeloutput voor de meerjarige scenario-analyses werden voor leem en zand een worst-case scenario (1974-75) en een relatief normaal scenario (1987-1988) geselecteerd. Om de invloed van het N<sub>min</sub>-gehalte bij oogst op de gewogen gemiddelde nitraatconcentraties na te gaan, werden telkens 3 simulaties uitgevoerd waarbij het N<sub>min</sub>-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.

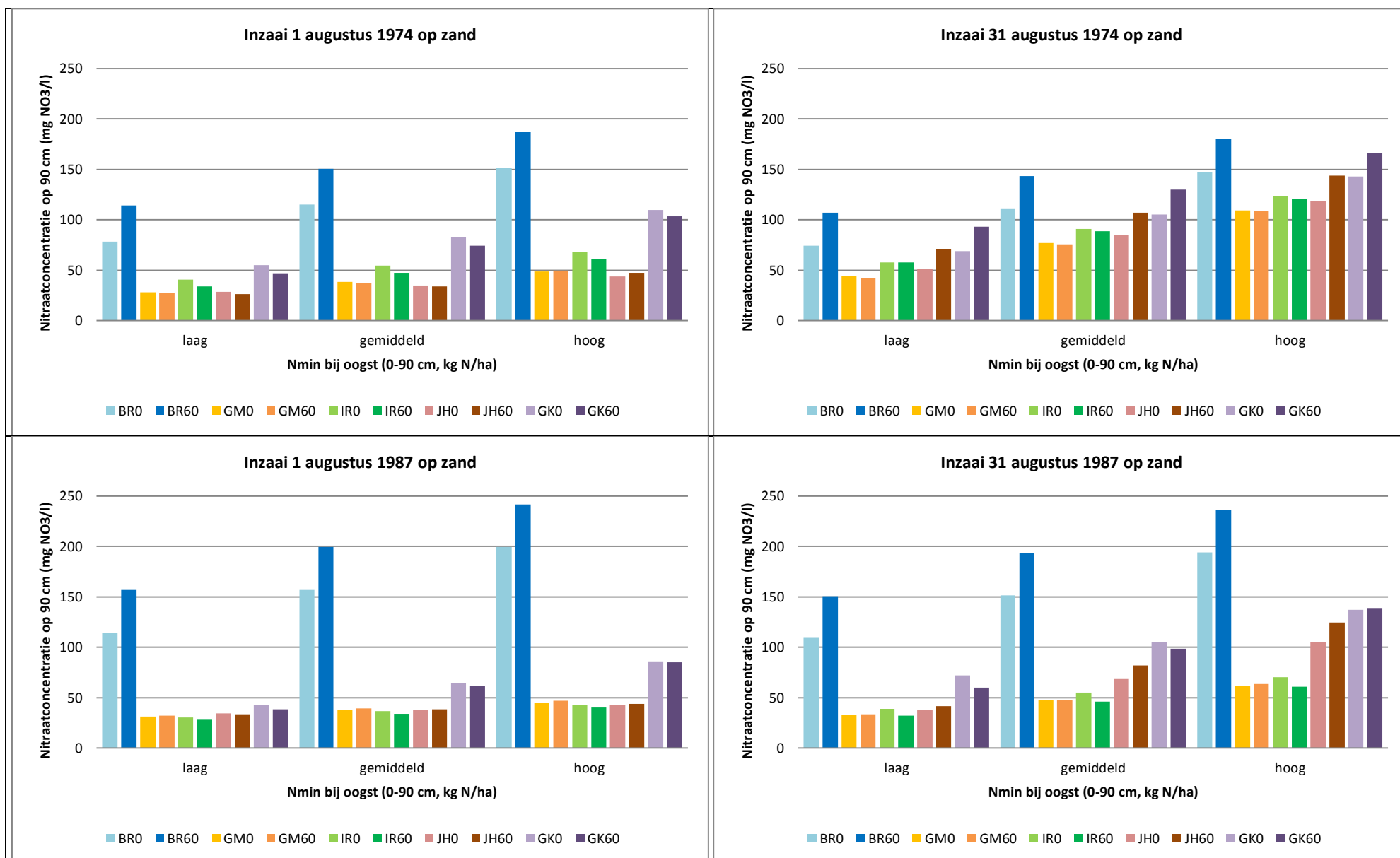
**TABEL 45: N<sub>MIN</sub>-GEHALTE (KG N HA<sup>-1</sup>) IN HET BODEMPROFIEL BIJ OOGST VOOR 3 SCENARIO'S.**

	<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<sub>min</sub>-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<sub>min</sub>-gehalte. Bij late inzaai nemen de gesimuleerde gewogen gemiddelde nitraatconcentraties toe met een toenemend initieel N<sub>min</sub>-gehalte onder alle vanggewassen. Het effect van de bemesting is weinig afhankelijk van het initieel N<sub>min</sub>-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<sub>min</sub>-gehalte. Bij een laag initieel N<sub>min</sub>-gehalte resulteert een bemesting met 60 kg N ha<sup>-1</sup> onder geen van de vanggewassen in een uitgesproken stijging van de nitraatconcentratie. Bij een gemiddeld of hoog initieel N<sub>min</sub>-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  $2 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $\text{kg N ha}^{-1}$ ).**

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

## 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  $N_{\min}$ -gehaltes.

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/cm<sup>3</sup> 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  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_4^+$  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 <sup>-1</sup> )	5,4	21,8	22,8	13,7
Drogestofopbrengst (ton ha <sup>-1</sup> )	2,4	3,6	7,0	3,4
C-opbrengst (ton ha <sup>-1</sup> )	1,1	1,4	3,0	1,3
N-opbrengst (kg ha <sup>-1</sup> )	32	70	80	79
P-opbrengst (kg ha <sup>-1</sup> )	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

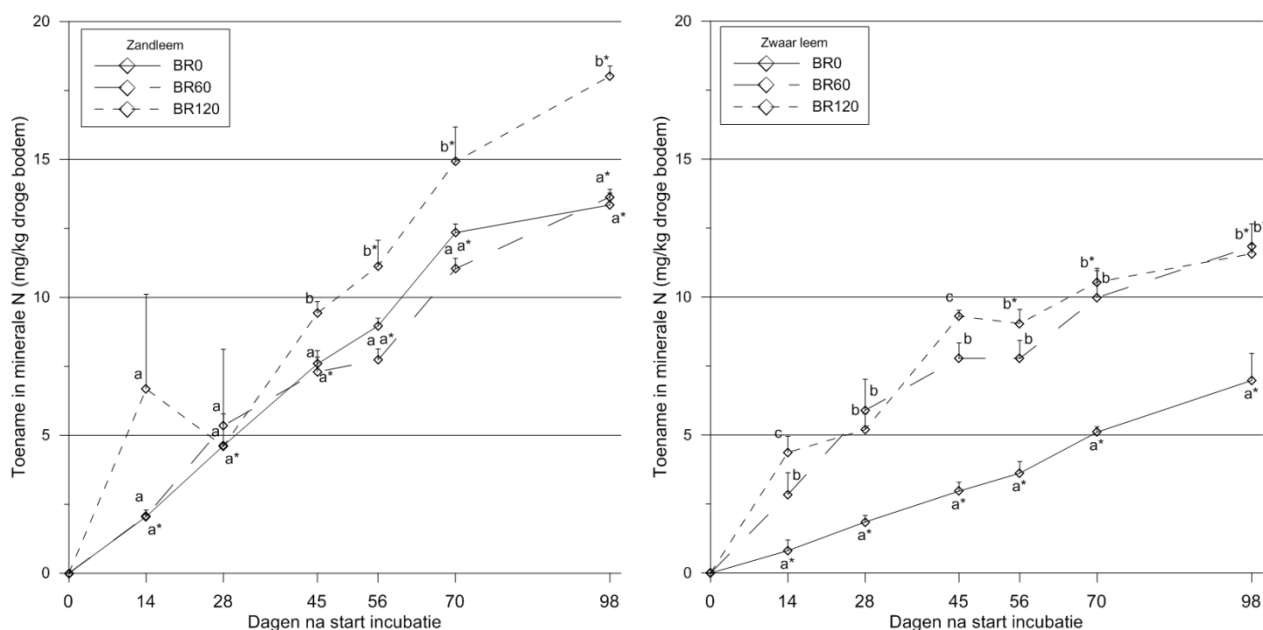
### 5.2.2.1 EFFECT VAN DE BEMESTING OP DE BRAAK EN ONDER GELE MOSTERD

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.

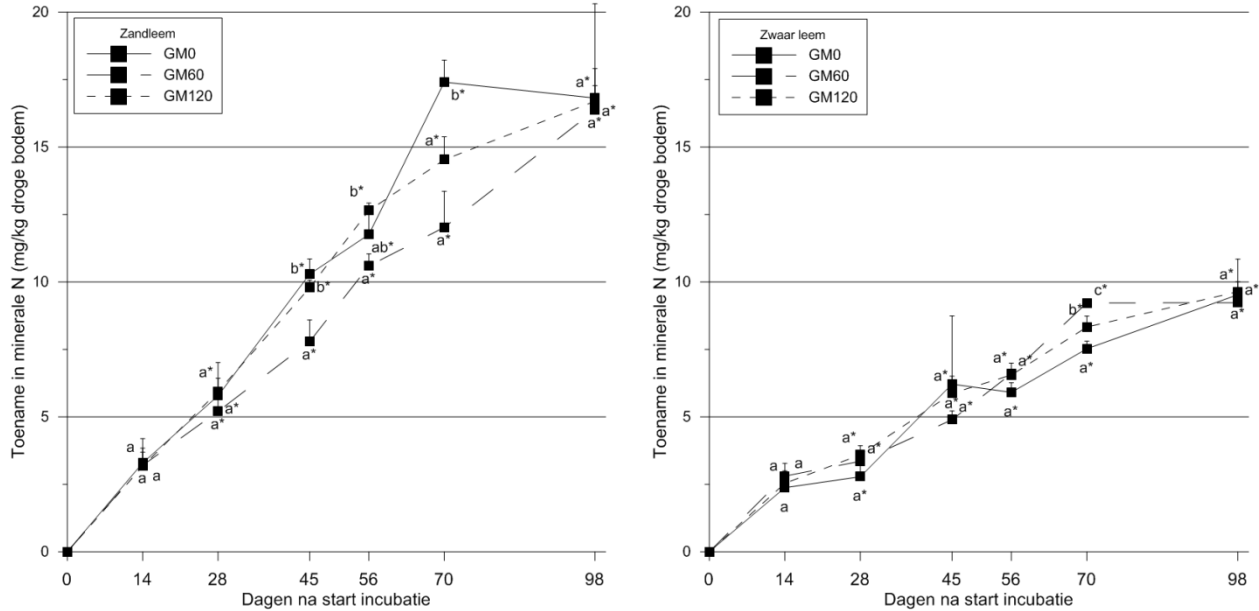
**TABEL 48: MINERAAAL STIKSTOFGEHALTE (MG KG<sup>-1</sup>) OP DE BRAAKBEHANDELING EN ONDER GELE MOSTERD BIJ START VAN DE INCUBATIE.**

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<sub>min</sub>-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)

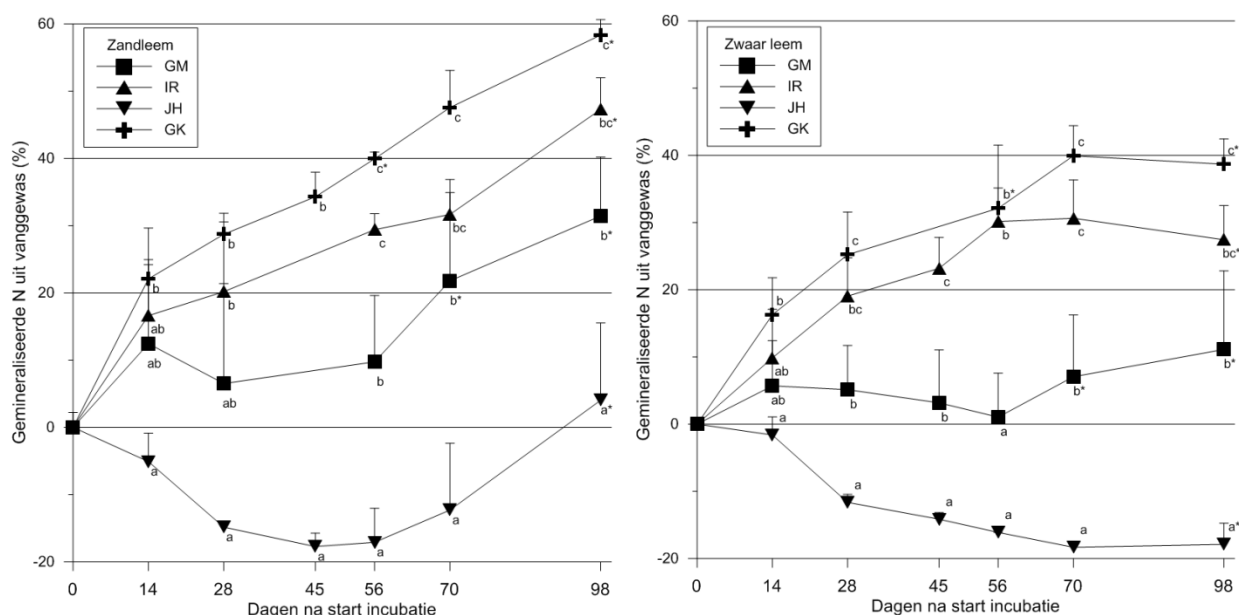
Er werd op beide locaties een gelijklopend significant effect van het type vanggewas gevonden (Figuur 52): Japanse haver had een sterk immobiliserend effect en vertoonde na 98 dagen significant het laagste percentage gemineraliseerde N. Het grasklavermengsel vertoonde geen immobilisatie en stelde de 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.



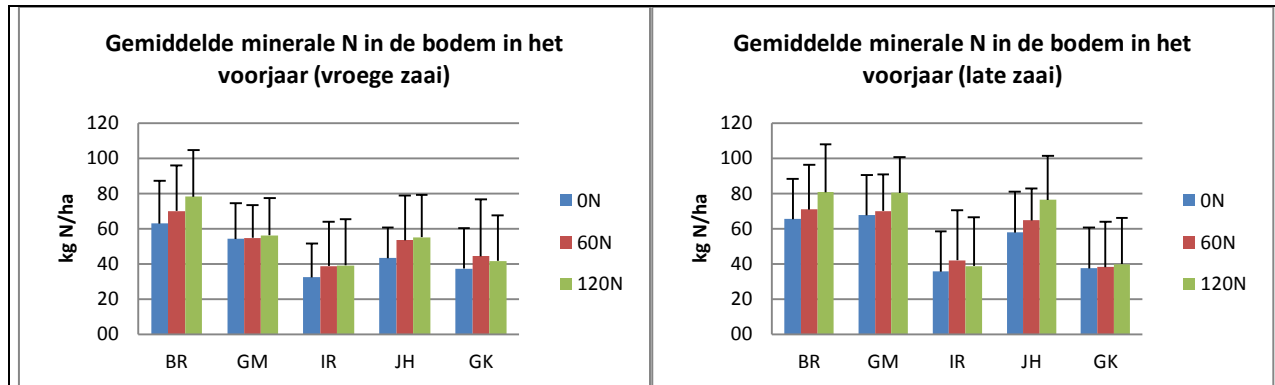
FIGUUR 52: N-MINERALISATIE UIT VANGGEWASSEN INGEWERKT IN EEN ZANDLEEM- EN LEEMBODEM. VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN ( $P < 0,05$ ) TUSSEN DE VANGGEWASSEN, TERWIJL \* WIJZEN OP EEN SIGNIFICANT EFFECT ( $P < 0,05$ ) VAN DE BODEMTEXTUUR.

### 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

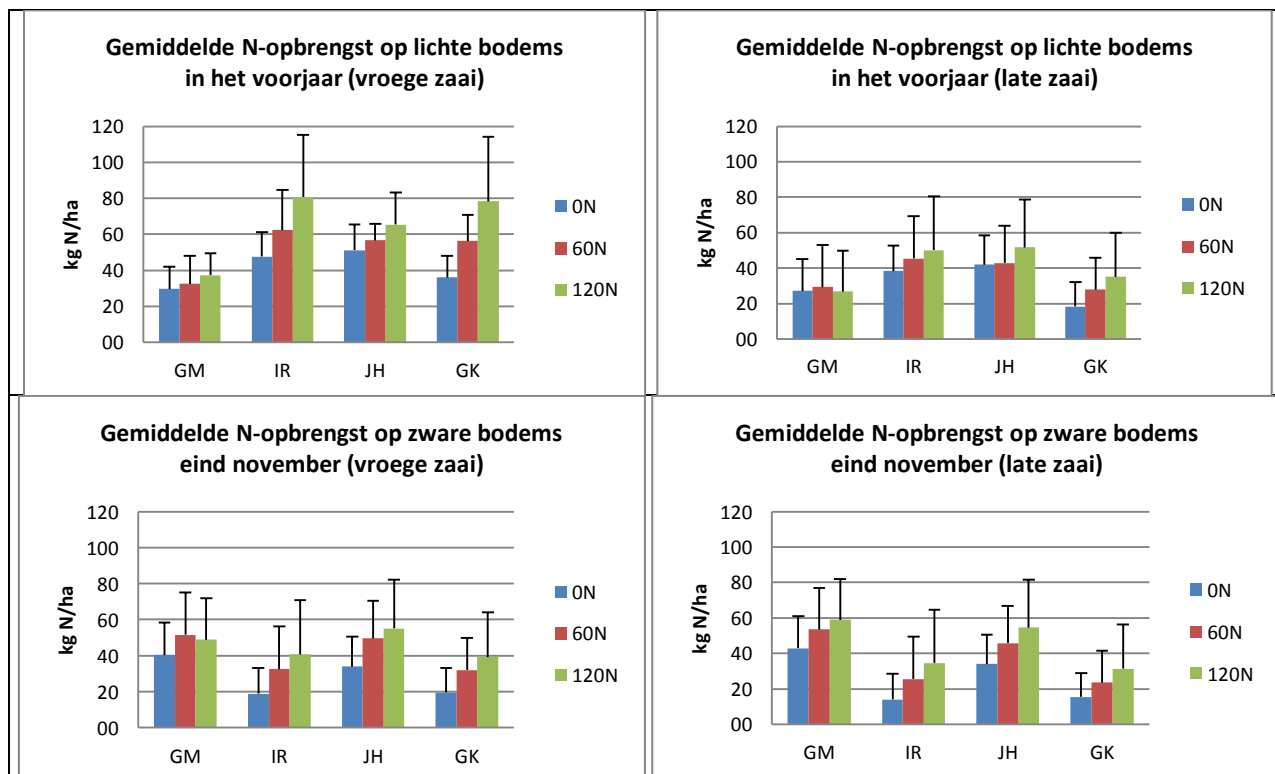
braakbehandeling en onder vanggewassen groter zijn dan bij lichtere texturen aangezien bij zwaardere texturen de nitraatuitspoeling tijdens de winter minder intens is.



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

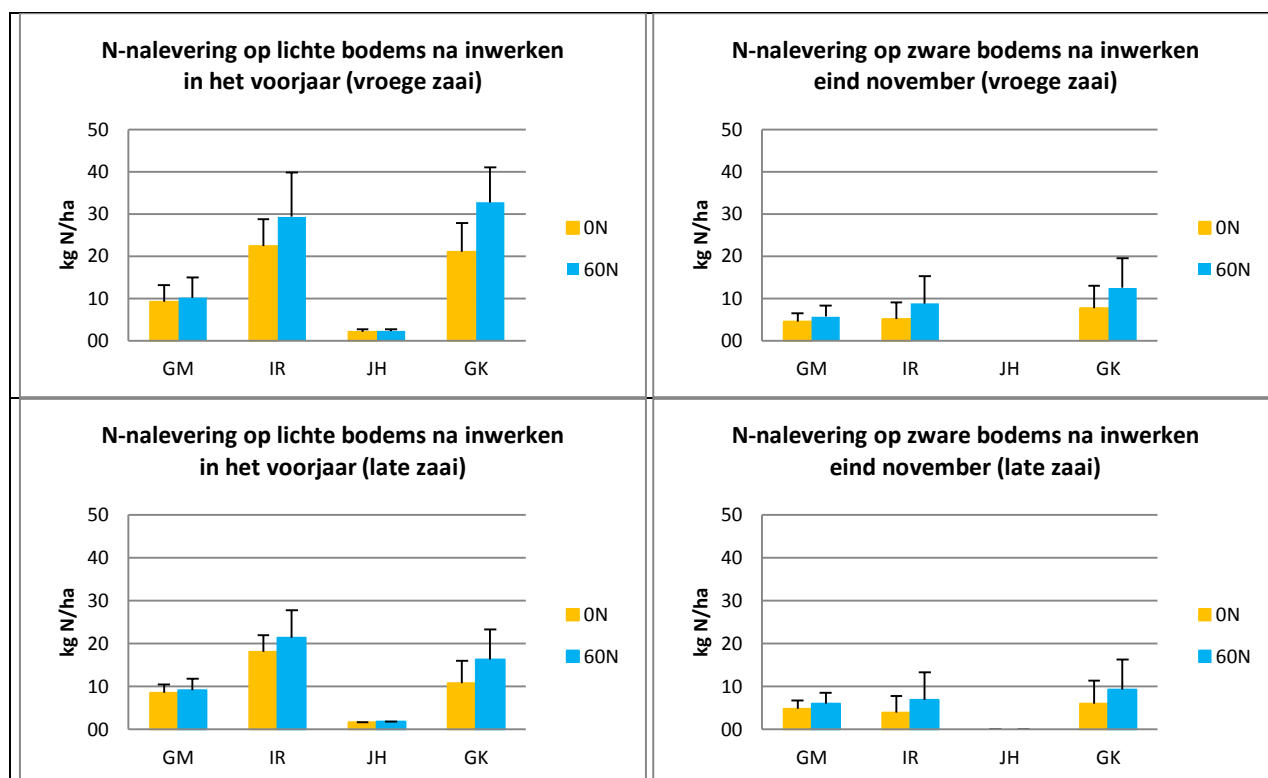
De competitie met het vanggewas wordt echter gecompenseerd indien het vanggewas na inwerken N vrijstelt en als die ook beschikbaar wordt voor het volgengewas. De incubatieproeven hebben aangetoond dat de hoeveelheid N die vrijgesteld wordt afhangt van de C:N-verhouding van het vanggewas en van de bodemtextuur (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/cm<sup>3</sup> 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.**

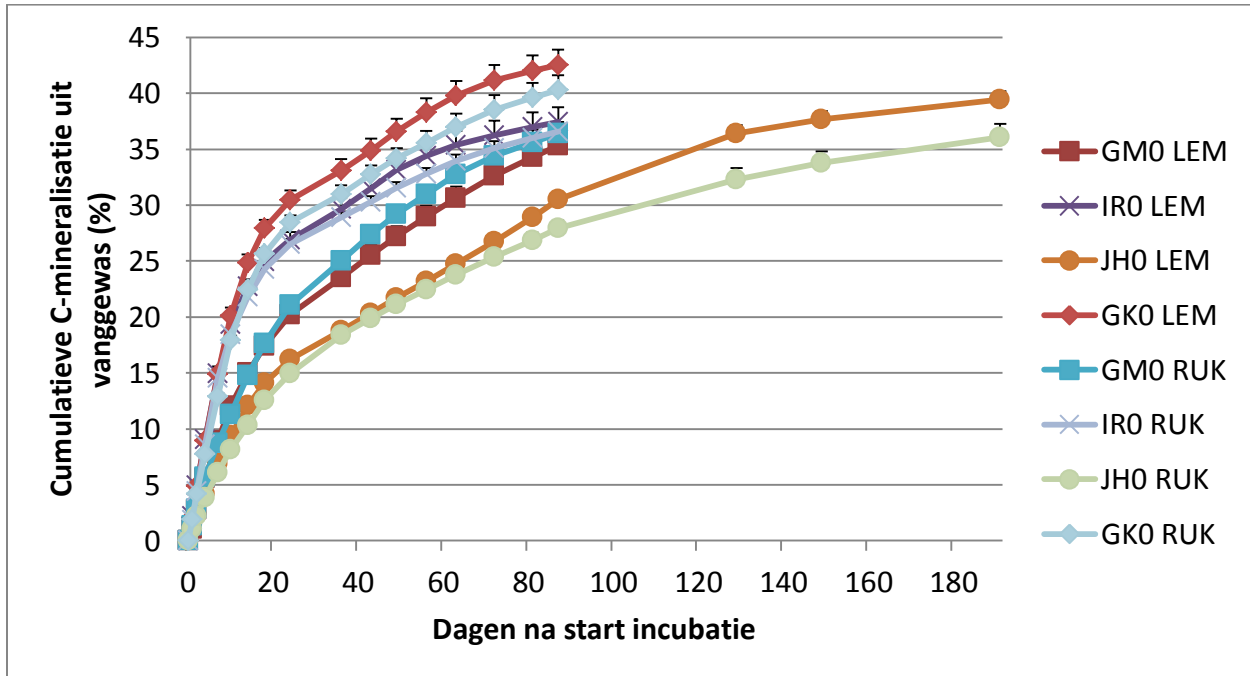
Vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Grasklaver
Versgewicht (ton ha <sup>-1</sup> )	5,4	21,8	22,8	13,7
Drogestof luchtdroog (ton ha <sup>-1</sup> )	2,8	4,2	7,1	3,5
C-opbrengst (ton ha <sup>-1</sup> )	1,2	1,6	3,1	1,4
N-opbrengst (kg ha <sup>-1</sup> )	33	67	61	76
C:N-verhouding	36	24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

- Bemonstering:
  - dagelijkse tot wekelijkse correctie van het bodemvochtgehalte
  - initieel dagelijkse tot finaal tweewekelijkse verversing van het O<sub>2</sub>-gehalte
  - 20 monsternametijdstippen: metingen van de geproduceerde hoeveelheid CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 R<sup>2</sup>-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<sup>e</sup> en een 0<sup>e</sup>-orde term; de hoeveelheid van de afgebroken component over de tijd - C(t) - wordt dan (Sleutel et al., 2005):

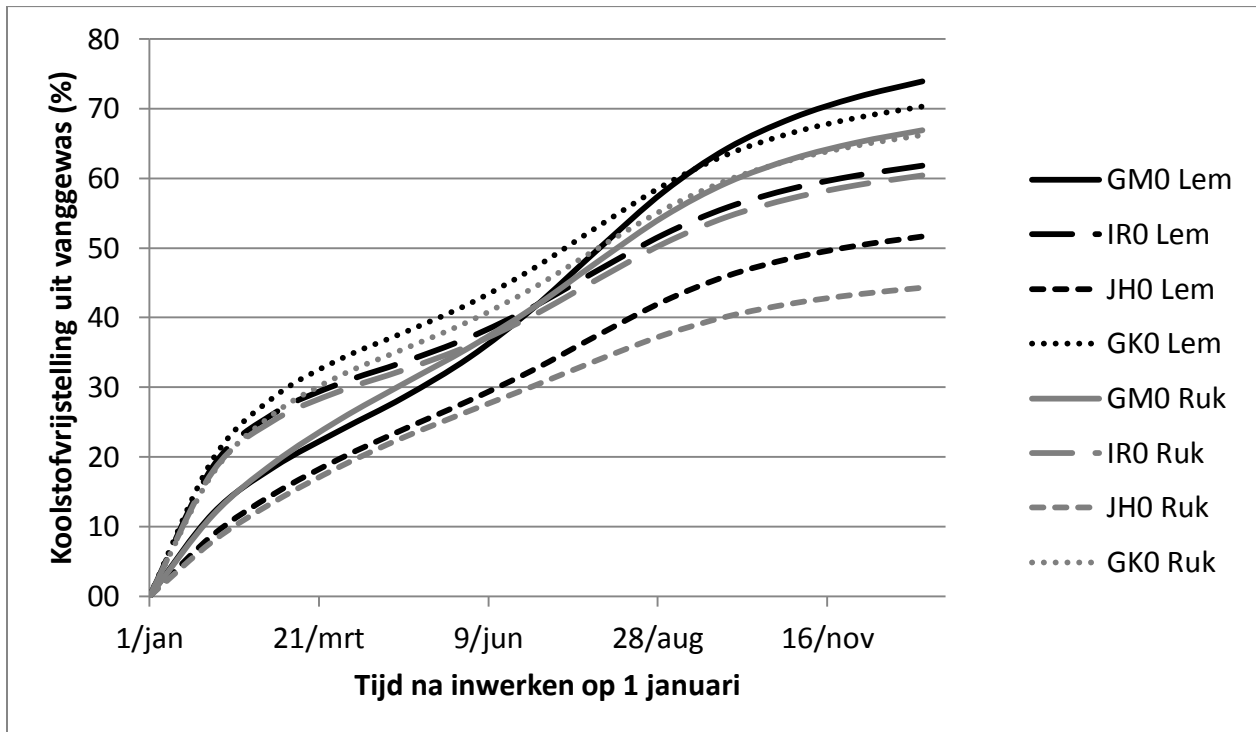
$$C(t) = C_f * (1 - e^{-K_f * t}) + K_s * t$$

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: HUMIFICATIECOËFFICIËNTEN 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 ( $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) of een latere zaai een beperkte invloed zou kunnen hebben op de humificatiecoëfficiënten, werden de EOC-opbrengsten enkel voor de niet-bemeste en met  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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 ( $60 \text{ KG N HA}^{-1}$ ) EN NIET-BEMESTE VANGGEWASSEN ( $1^{\text{E}}$  ZAAI), BIJ INWERKEN EIND NOVEMBER (ZWARE BODEMS) EN IN HET VOORJAAR (LICHT BODEMS). VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN PER TIJDSTIP EN PER BEMESTINGSNIVEAU OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN VANGGEWASSEN ( $P < 0,05$ ).**

EOC ( $\text{kg C ha}^{-1}$ ) <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 <sup>b</sup>	322 <sup>b</sup>	227 <sup>ab</sup>	268 <sup>ab</sup>
IR	122 <sup>a</sup>	195 <sup>ab</sup>	266 <sup>b</sup>	336 <sup>b</sup>
JH	512 <sup>c</sup>	736 <sup>c</sup>	572 <sup>c</sup>	718 <sup>c</sup>
GK	77 <sup>a</sup>	129 <sup>a</sup>	132 <sup>a</sup>	210 <sup>a</sup>

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 ( $60 \text{ KG N HA}^{-1}$ ) EN NIET-BEMESTE VANGGEWASSEN ( $1^{\text{E}}$  ZAAI), BIJ INWERKEN EIND NOVEMBER (ZWARE BODEMS) EN IN HET VOORJAAR (LICHT BODEMS). VERSCHILLENDE LETTERS WIJZEN PER TIJDSTIP OP SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN VANGGEWASSEN ( $P < 0,05$ ).**

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

De verschillen in EOC tussen bemeste ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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.

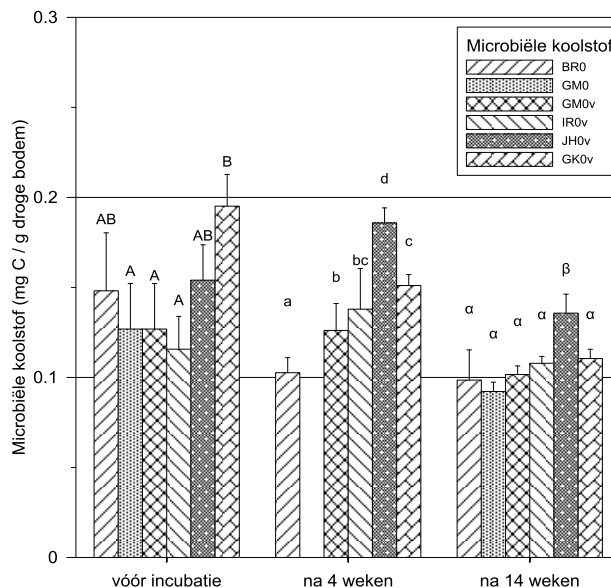
## 5.4 BIOLOGISCHE BODEMKWALITEIT

### 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  $\beta$ -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<sup>e</sup> 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.



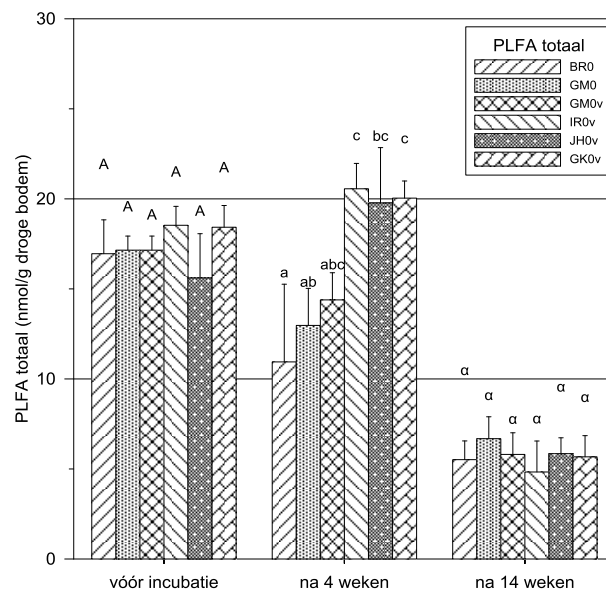
FIGUUR 58: CONCENTRATIE AAN MICROBIËLE KOOLSTOF (MBC) TIJDENS DE N-MINERALISATIEPROEF.



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.

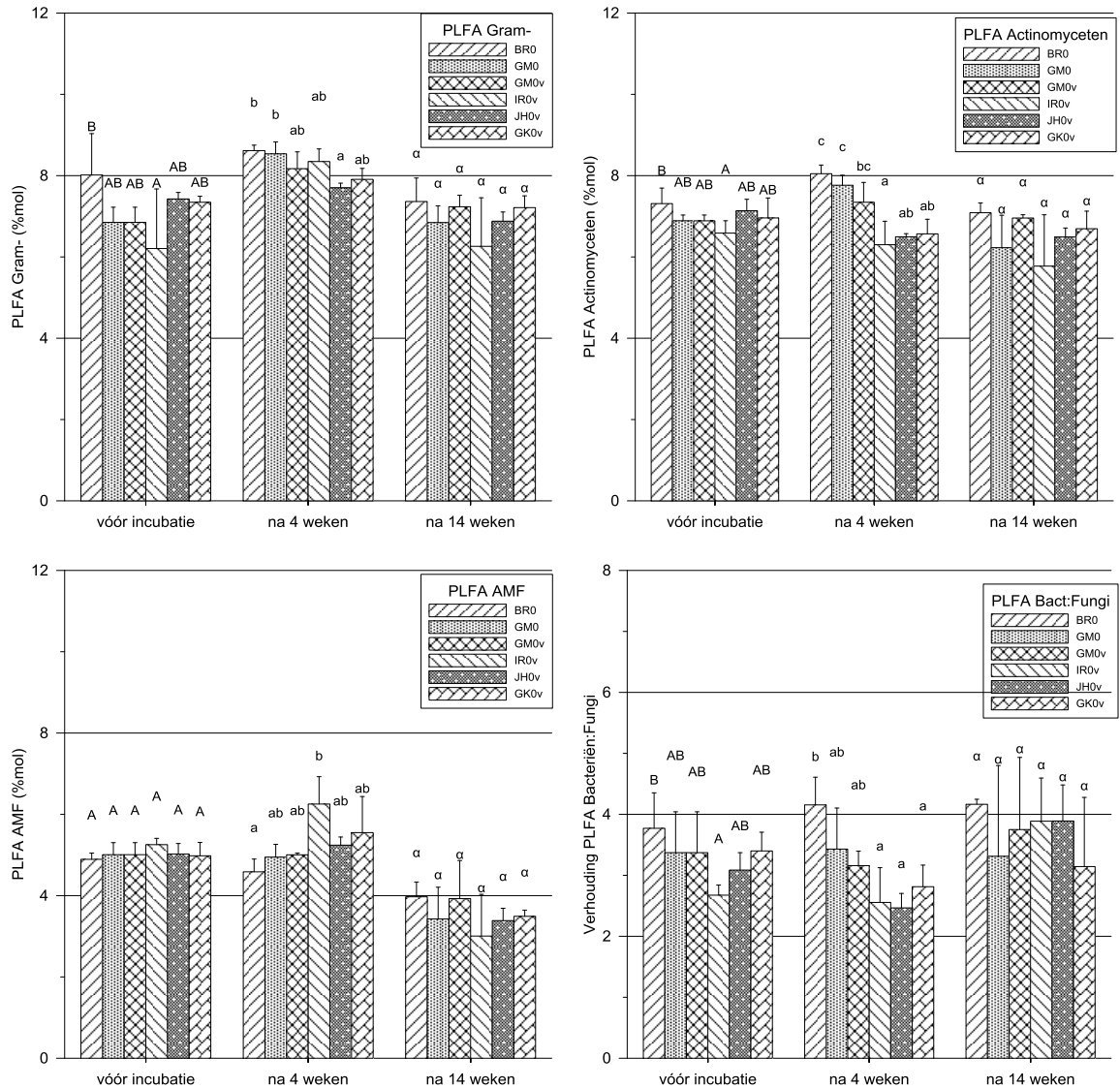
### 5.4.3 SAMENSTELLING VAN DE MICROBIËLE GEMEENSCHAP

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.

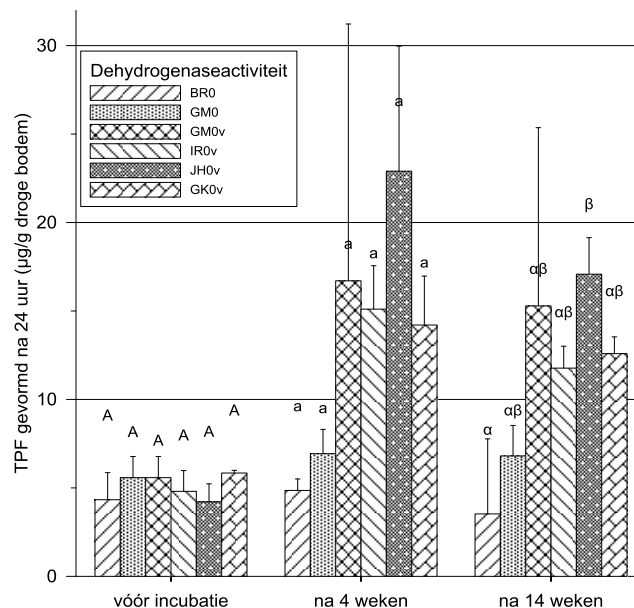
#### 5.4.4 ENZYMATISCHE ACTIVITEIT

##### 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.



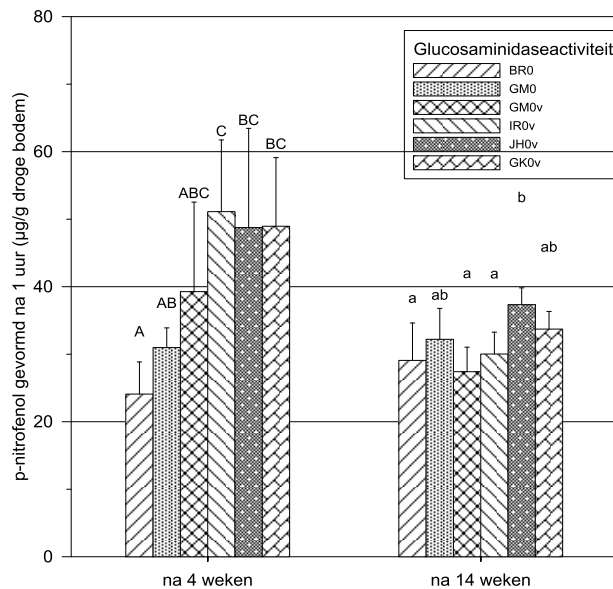
FIGUUR 61: DEHYDROGENASEACTIVITEIT TIJDENS DE N-MINERALISATIEPROEF.

#### 5.4.4.2 B-GLUCOSAMINIDASE

N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminidase is een microbieel enzym dat N-acetyl- $\beta$ -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  $\beta$ -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  $\beta$ -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  $\beta$ -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<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> 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

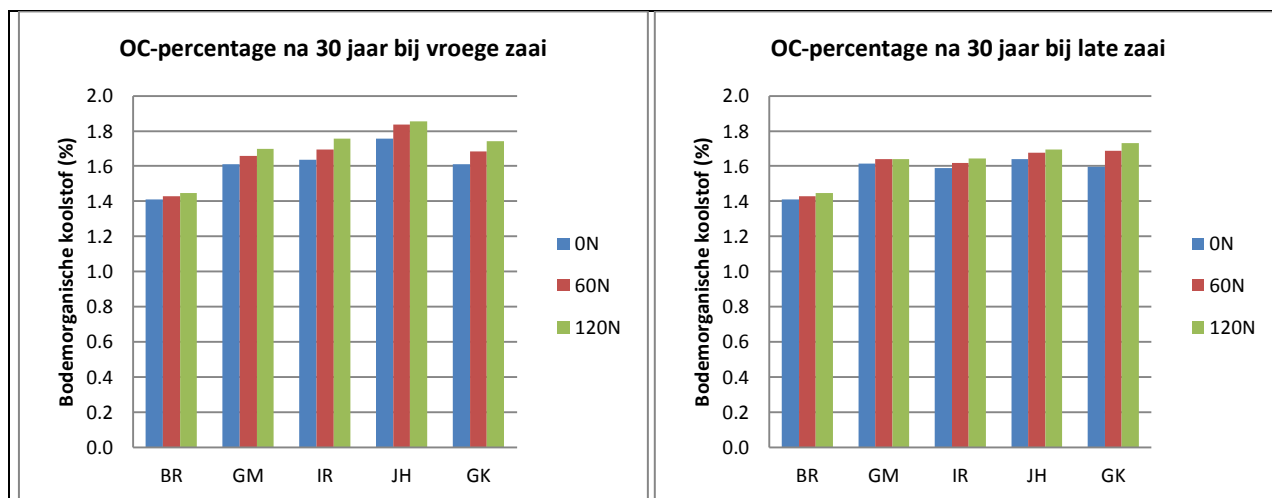
### 6.3 SIMULATIES

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<sup>-1</sup>)</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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $N_{\min}$ -gehaltes.



- De gesimuleerde gemiddelde nitraatconcentraties op 90 cm vertoonden bij vroege zaai slechts kleine positieve of negatieve verschillen tussen bemeste ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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  $7 \text{ kg N ha}^{-1}$  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  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) ongeveer  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  vrij tijdens het groeiseizoen van de volgteelt. Winterharde vanggewassen stellen 20 (niet-bemest) tot  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  (bemest met  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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  $512 \text{ kg ha}^{-1}$  (niet-bemest) en tussen  $129$  en  $736 \text{ kg ha}^{-1}$  (bemest met  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Op lichte bodems werden in het voorjaar gemiddelde bovengrondse EOC-opbrengsten gevonden tussen  $132$  en  $572 \text{ kg ha}^{-1}$  voor niet-bemeste vanggewassen en tussen  $210$  en  $718 \text{ kg ha}^{-1}$  voor bemeste ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) vanggewassen. De bovengrondse EOC-opbrengst was telkens het hoogst voor Japanse haver en het laagst voor het grasklavermengsel.
- Een bemesting ( $60$  en  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) 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 ( $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) op de bovengrondse EOC-opbrengst was relatief klein ( $41 \text{ tot } 224 \text{ kg EOC ha}^{-1}$ ) 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<sup>e</sup> 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](http://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.

# Bijlagen

**TABEL 1: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT HET HOOFDGEWAS OP DE PERCELEN TE BOTTELARE IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.**

	<b>Perceel 1</b>	<b>Perceel 2</b>
Hoofdgewas + variëteit	Triticale (verschillende variëteiten)	Wintertarwe
Oogstdatum	02/08/2011	01/08/2011
Oogstmethode	met proefveldmaaidorser	met proefveldmaaidorser
Datum persen stro	07/08/2011	05/08/2011
Datum ophalen stro	07/08/2011	05/08/2011
Datum opmeten stoppelhoogte	09/08/2011	09/08/2011
Datum stoppelbewerking	10/08/2011	10/08/2011
Type stoppelbewerking	frezen	frezen

**TABEL 2: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT BODEM EN BEMESTING OP DE PERCELEN TE BOTTELARE IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.**

	<b>Perceel 1</b>	<b>Perceel 2</b>
Datum grondbewerking	10/08/2011	10/08/2011
Beschrijving grondbewerking	frezen	frezen
Datum bemonstering standaard grondontleding	09/08/2011	09/08/2011
Datum mesttoediening	10/08/2011	10/08/2011
Methode mesttoediening	mestinjectie	mestinjectie
Type mest	varkensdrijfmest (zeugen)	varkensdrijfmest (zeugen)
Hoeveelheid toegediende mest (ton/ha) voor de bemestingstrappen 60N en 120N	Voor 60N: 14.5 ton/ha Voor 120N: 29 ton/ha	Voor 60N: 14.5 ton/ha Voor 120N: 29 ton/ha
Datum staalname toegediende mest	02/08/2011 (voor toediening, in mestput) 10/08/2011 (aan injecteur bij toedienen)	02/08/2011 (voor toediening, in mestput) 10/08/2011 (aan injecteur bij toedienen)

Beschrijving staalname toegediende mest	in mestput; mengstaal na mixen aan injecteur: mengstaal op verschillende tijdstippen (bij start injectie en bij uitloop)	in mestput; mengstaal na mixen aan injecteur: mengstaal op verschillende tijdstippen (bij start injectie en bij uitloop)
---	--	--

TABEL 3: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT HET VANGGEWAS TE BOTTELARE IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR (OP BEIDE PERCELEN).

Type vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Gras/klaver
Datum 1e inzaai	10/08/2011	10/08/2011	10/08/2011	niet ingezaaid
Inzaaimethode (+ merknaam zaaimachine)	proefveldzaaimachine (breedte van 1,5 m)			niet ingezaaid
Zaadichtheid (per bestanddeel)	20 kg/ha	niet ingezaaid	75 kg/ha	niet ingezaaid
Naam variëteit(en)	Albatros	niet ingezaaid	Preta Comum	niet ingezaaid
Datum 2e inzaai	29/08/2011	niet ingezaaid	29/08/2011	niet ingezaaid
Inzaaimethode	proefveldzaaimachine (breedte van 1,5 m)			niet ingezaaid
Zaadichtheid (per bestanddeel)	20 kg/ha	niet ingezaaid	75 kg/ha	niet ingezaaid
Naam variëteit(en)	Albatros	niet ingezaaid	Preta Comum	niet ingezaaid
Oogstmethode	Haldrup (breedte van 1,5 m)			niet ingezaaid
Datum onkruidbestrijding braak	13/09/2011			niet ingezaaid

TABEL 4: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT HET HOOFDGEWAS VOOR HET PERCEEL TE LEMBERGE IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.

Hoofdgewas + variëteit	Wintergerst
Oogstdatum	06/07/2011
Oogstmethode	pikdorsen
Datum persen stro	08/07/2011
Datum ophalen stro	08/07/2011
Datum opmeten stoppelhoogte	17/07/2011

Datum stoppelbewerking	17/07/2011
Type stoppelbewerking	klepelen

TABEL 5: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT BODEM EN BEMESTING VOOR HET PERCEEL TE LEMBERGE IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.

Datum grondbewerking	03/08/2011
Beschrijving grondbewerking	Vastetandcultivator direct na mengmesttoepassing, rotoreg in 1 werkgang met zaaimachine
Datum bemonstering standaard grondontleding	02/08/2011
Datum mesttoediening	03/08/2011
Methode mesttoediening	Akkerbouwbemester Vervaet/ pijpen net bovengronds laten lopen en direct inwerken
Type mest	mestvarkensmengmest
Hoeveelheid toegediende mest (ton/ha) voor de bemestingstrappen 60N en 120N	Voor 60N: 7 ton Voor 120N: 14 ton
Datum staalname toegediende mest	03/08/2011
Beschrijving staalname toegediende mest	Opvangen bij stilstand machine tijdens toepassing

TABEL 6: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT HET VANGGEWAS VOOR HET PERCEEL TE LEMBERGE IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.

Type vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Gras/klaver
Datum 1e inzaai	04/08/2011	04/08/2011	04/08/2011	04/08/2011
Inzaaimethode (+ merknaam zaaimachine)	Graanzaaimachine 'Amazone' 3 m breed en rijafstand 10 cm			
Zaadichtheid (per bestanddeel)	25 kg/ha	45 kg/ha	75 kg/ha	42 kg/ha
Naam variëteit(en)	Salsa	Meltop	Preta Comum	Mengsel Engels raaigras ('Meltador' 15kg + 'Melpro' 15kg) + rode klaver ('Merviot' 8 kg) + witte klaver ('Merwi' 4 kg)

Datum 2e inzaai	31/08/2011	31/08/2011	31/08/2011	31/08/2011
Inzaaimethode	Graanzaaimachine 'Amazone' 3 m breed en rijafstand 10 cm			
Zaadichtheid (per bestanddeel)	25 kg/ha	45 kg/ha	75 kg/ha	42 kg/ha
Naam variëteit(en)	Salsa	Meltop	Preta comum	Mengsel Engels raaigras (Meltador 15kg + Melpro 15kg) + rode klaver ('Merviot' 8 kg) + witte klaver ('Merwi' 4 kg)
Oogstmethode	Haldrup (breedte van 1,4 m)			
Datum onkruidbestrijding braak	11/08/2011, herhaling op 14/10/2011			

TABEL 7: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT HET HOOFDGEWAS VOOR HET PERCEEL TE RUKKELINGEN-LOON IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.

Hoofdgewas + variëteit	Wintertarwe
Oogstmethode	Maaidorser
Datum opmeten stoppelhoogte	17/08/11
Datum stoppelbewerking	17/08/11
Type stoppelbewerking	Vastetandcultivator

TABEL 8: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT BODEM EN BEMESTING VOOR HET PERCEEL TE RUKKELINGEN-LOON IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.

Datum grondbewerking	17/08/11
Beschrijving grondbewerking	Na toedienen varkenschijfmest bewerking met cultivator. Na zaai toerollen.
Datum bemonstering standaard grondontleding	29/09/11
Datum mesttoediening	17/08/11
Methode mesttoediening	Sleepslangen



Type mest	Varkensdrijfmest
Hoeveelheid toegediende mest (ton/ha) voor de bemestingstrappen 60N en 120N	Voor 60N: 8 ton/ha Voor 120N: 16 ton/ha
Datum staalname toegediende mest	17/08/11
Beschrijving staalname toegediende mest	Tweemaal staalname aan toestel

TABEL 9: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT BODEM EN BEMESTING VOOR HET PERCEEL TE RUKKELINGEN-LOON IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.

Type vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japane haver	Gras/klaver
Datum 1e inzaai	18/08/11	18/08/11	18/08/11	18/08/11
Zaadichtheid (per bestanddeel)	25 kg/ha	45 kg/ha	75 kg/ha	15kg/ha tetraploïd; 15 kg/ha diploid; 8 kg/ha rode klaver; 4 kg/ha witte klaver
Naam variëteit(en)	Salsa	Meltop (tetraploïd)		Meltador (tetraploïd); Melpro (diploid); Merviot: witte klaver
Datum 2e inzaai	31/08/11	31/08/11	31/08/11	31/08/11
Zaadichtheid (per bestanddeel)	25 kg/ha	45 kg/ha	75 kg/ha	15kg/ha tetraploïd; 15 kg/ha diploid; 8 kg/ha rode klaver; 4 kg/ha witte klaver
Naam variëteit(en)	Salsa	Meltop (tetraploïd)	-	Meltador (tetraploïd); Melpro (diploid); Merviot: witte klaver
Oogstmethode	Maaibalk, per veld opbrengst van 8 m <sup>2</sup> bijeengeharkt Plukstaal voor analyse			Gras/klaver was onvoldoende ontwikkeld en kon niet worden geoogst.
Datum onkruidbestrijding braak	29/09/11			

TABEL 10: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT HET HOOFDGEWAS VOOR HET PERCEEL TE SINT-DENIJS IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.

Hoofdgewas + variëteit	wintertarwe
Oogstdatum	03/08/11

Oogstmethode	dorsen
Datum persen stro	10/08/11
Datum ophalen stro	10/08/11
Datum opmeten stoppelhoogte	09/08/11 (50 metingen)

**TABEL 11: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT BODEM EN BEMESTING VOOR HET PERCEEL TE SINT-DENIJS IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.**

Datum grondbewerking	12/08/11 (grondbewerking na mengmesttoediening; grondbewerking in de percelen "zaaitijdstip 1", "zaaitijdstip 2" en "braak"
Beschrijving grondbewerking	cultivator
Datum bemonstering standaard grondontleding	09/08/11
Datum mesttoediening	11/08/11
Methode mesttoediening	mestinjectie, 15 cm in de grond
Type mest	zeugendrijfmest
Hoeveelheid toegediende mest (ton/ha) voor de bemestingstrappen 60N en 120N	14 en 28
Datum staalname toegediende mest	11/08/11
Beschrijving staalname toegediende mest	aan tankwagen

**TABEL 12: TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT HET VANGGEWAS VOOR HET PERCEEL TE SINT-DENIJS IN HET 1<sup>E</sup> PROEFJAAR.**

Type vanggewas	Gele mosterd	Italiaans raigras	Japane haver	Gras/klaver
Datum 1e inzaai	12/08/11	12/08/11	12/08/11	12/08/11
Inzaaimethode (+ merknaam zaaimachine)	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta
Zaadichtheid (per bestanddeel)	25 kg/ha	45 kg/ha	75 kg/ha	42 kg/ha

Naam variëteit(en)	Salsa	Meltop	Mulata	Engels gras: Meltador en Melpro rode klaver: Merviot witte klaver: Merwi
Datum 2e inzaai	30/08/11	30/08/11	30/08/11	30/08/11
Inzaaimethode	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta	Rotoreg Kuhn Zaaimachine Venta
Zaadichtheid (per bestanddeel)	25 kg/ha	45 kg/ha	75 kg/ha	42 kg/ha
Naam variëteit(en)	Salsa	Meltop	Mulata	Engels gras: Meltador en Melpro rode klaver: Merviot witte klaver: Merwi
Oogstmethode	cirkelmaaier	cirkelmaaier	Cirkelmaaier	- cirkelmaaier: zaaitijdstip 1 (behalve het veldje gras/klaver onbemest 1 <sup>e</sup> zaaitijdstip, parallel 3) - gazonmaaier: zaaitijdstip 2 en het veldje gras/klaver onbemest 1 <sup>e</sup> zaaitijdstip, parallel 3
Datum onkruidbestrijding braak	21/09/2011, herhaling op 27/10/2011			

**TABEL 13: TEELTTECHNISCHE EN OPBRENGSTGEGEVENS VOOR HET VOORGEWAS EN TECHNISCHE GEGEVENS OMTRENT DE MESTTOEDIENING EN DE BODEMBEWERKING IN HET 2E PROEFJAAR.**

	<b>Bottelare</b>	<b>Merelbeke</b>	<b>Oostende</b>	<b>Ruk-Loon</b>
<i>Voorgewas</i>	Triticale	Gerst (Zoom)	Tarwe (Lear)	Tarwe (Viscount)
<i>Zaaidatum</i>	24/10/11	1 <sup>e</sup> week 10/11	18/10/11	18/10/11
<i>N<sub>min</sub> (0-90 cm) in voorjaar (kg N/ha)</i>	26	65,2	111,5	53,6
<i>Stikstofadvies (kg N werkzaam/ha)</i>	178	140	176	200
<i>Max. bemesting MAP4 wintergraan + nateelt (kg N werkzaam/ha)</i>	180	145	195	195
<i>Datum en hoeveelheid (kg N/ha) bemesting op</i>	F1: 23/03/12: 56 F2: 23/04/12: 56 F3: 09/05/12: 54	F1: 15/03/12: 54 F2: 24/04/12: 54	F1: 7/03/12: 68 F2: 14/04/12: 33 F3: 28/05/12: 49	27/03/12: 75 20/04/12: 40 19/05/12: 55

<i>voorgewas</i>	som: 166	som: 108	som:150	som: 170
<i>Type bemesting op voorgewas</i>	F1: vloeibare N F2: vloeibare N F3: NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	F1: NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> F2: NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	F1: NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> F2: vloeibare N F3: NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	F1: vloeibare N F2: vloeibare N F3: NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
<i>Oogstdatum</i>	12/08/12	24/07/12	12/08/12	14/08/12
<i>Graanopbrengst (ton/ha)</i>	10	6,6	9,2	9
<i>Stro-opbrengst (ton/ha)</i>	2,8	2,9	4,7	4
<i>Stoppellengte (cm)</i>	15	13,8	-	10 tot 15
<i>Datum mesttoediening</i>	21/08/12	31/07/12	21/08/12	18/08/12
<i>Methode mesttoediening</i>	Injectie	Sleepslangen	Sleepvoet injectie	Sleepslangen
<i>Datum bodembewerking</i>	22/08/2012	31/07/12	21/08/12	18/08/12
<i>Type bodembewerking</i>	Optrekken en rotoeggen	Vastetandcultivator	Vastetandcultivator	Tweemaal met cultivator

TABEL 14: VARIËTEITEN EN ZAAIDICHTHEDEN VOOR DE IN HET IN 2<sup>e</sup> PROEFJAAR GEBRUIKTE VANGGEWASSEN (ALLE LOCATIES).

<i>Vanggewas</i>	Gele mosterd	Italiaans raaigras	Japanse haver	Grasklavermengsel
<i>Variëteit</i>	Salsa	Meltop	Pratex	Melpro/Meltador/ Merviot/Merwi
<i>Zaadichtheid</i>	25 kg/ha	45 kg/ha	75 kg/ha	Engels raaigras: 30 kg/ha Rode klaver: 8 kg/ha Witte klaver: 4 kg/ha
<i>Rijafstand</i>	10,5 tot 15 cm	10,5 tot 15 cm	10,5 tot 15 cm	10,5 tot 15 cm

### Bottelare, perceel 1, 1<sup>e</sup> proefjaar

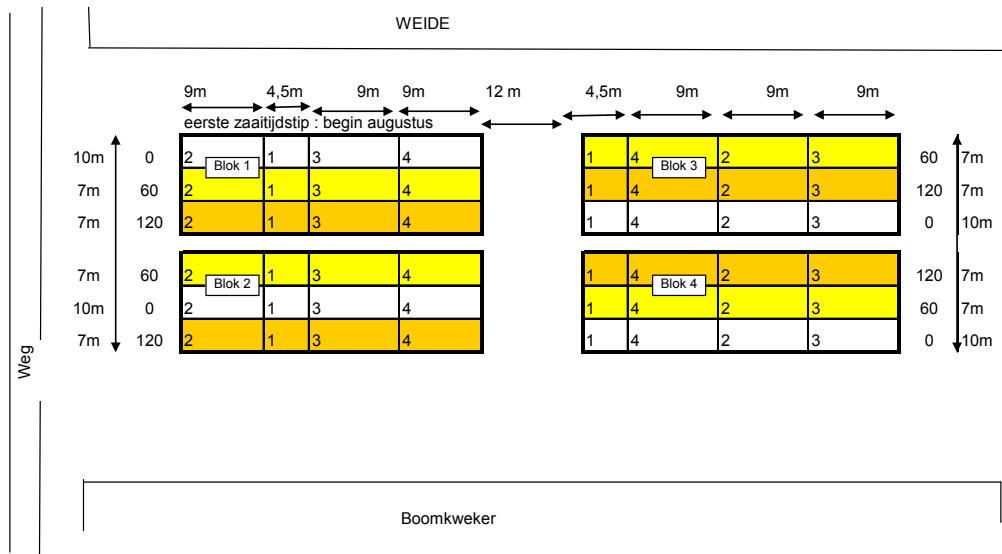
**Behandelingen:**

- 1: Braak
- 2: Gele mosterd 20 kg/ha
- 3: Italiaans raaigras 45 kg/ha
- 4: Japanse haver 75 kg/ha

N0: 0 kg N/ha

N60: 60 kg/ha

N120: 120 kg/ha



### Bottelare, perceel 2, 1<sup>e</sup> proefjaar

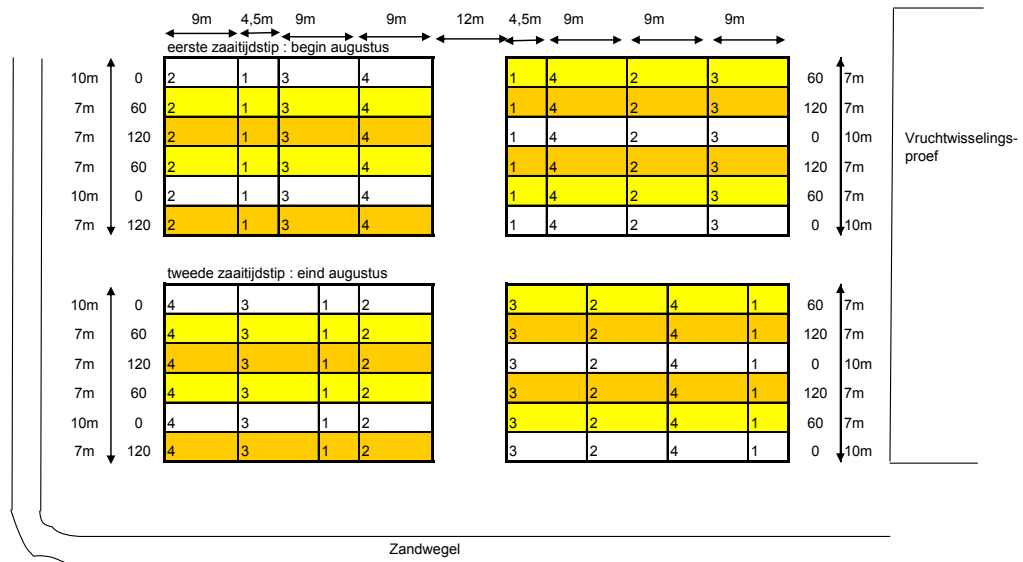
**Behandelingen:**

- 1: Braak
- 2: Gele mosterd 20 kg/ha
- 3: Italiaans raaigras 45 kg/ha
- 4: Japanse haver 75 kg/ha

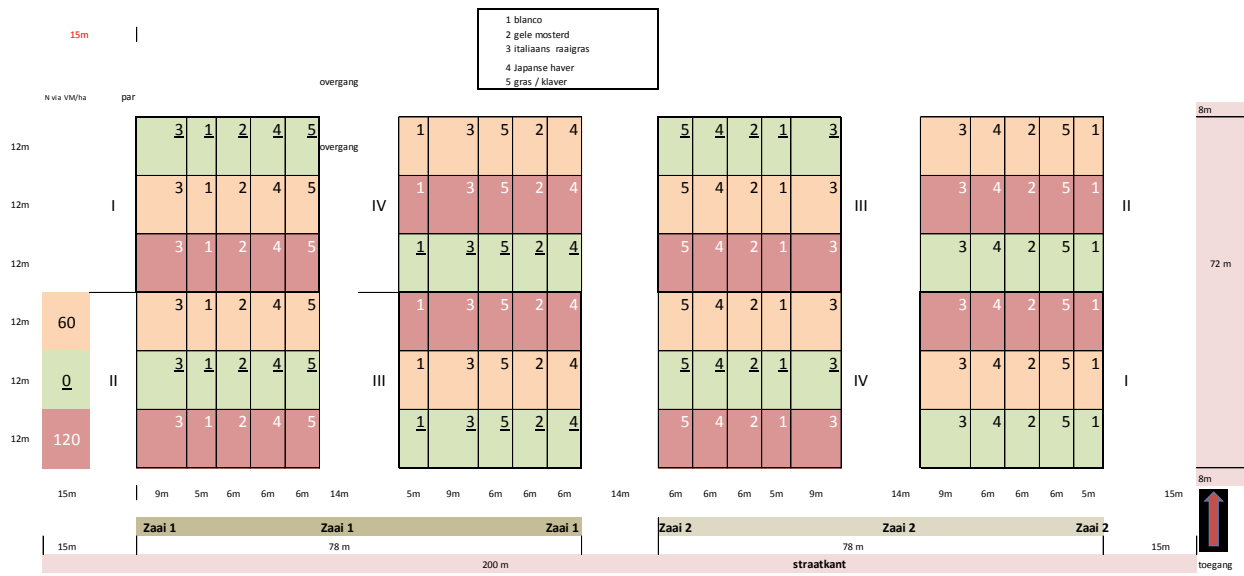
N0: 0 kg N/ha

N60: 60 kg/ha

N120: 120 kg/ha



### Lemberge, 1<sup>e</sup> proefjaar



### Sint-Denijs, 1<sup>e</sup> proefjaar

Zandleembodem																																													
Voorvrucht: wintertarwe																																													
		1				2				3				4				5				1				5				4				2				3							
		braak				gele mosterd 25 kg/ha				it raai gras 45 kg/ha				japanse h. 75 kg/ha				gras klaver 42 kg/ha																											
		1 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai							
		225 m																																											
		90 m										90 m																																	
		15 m															15 m					15 m																							
		10 m																																											
		12 m																																											
		0																																											
36 m		101				104				119				122				107				110				125				128				113				60							
		102				105				120				123				108				111				126				129				114				120							
108		120				103				106				121				124				109				112				127				130				115				0			
		60				326				311				314				329				302				320				305				308				323				120			
		0				325				310				313				328				301				319				304				307				322				60			
		120				327				312				315				330				303				321				306				309				324				0			
						2 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				2 <sup>o</sup> zaai				1 <sup>o</sup> zaai							
						4				5				1				2				3				1				5															
		oogsten min 10 m <sup>2</sup> /veldje																																											
0																																													
60																																													
120																																													

### Rukkelingen-Loon, 1<sup>e</sup> proefjaar

De vier blokken vertegenwoordigen de vier herhalingen, de twee zaaitijdstippen zijn telkens aangegeven. De verschillende kleuren komen overeen met de behandeling zoals onderaan getoond in de legende; hoe donkerder de tint, hoe hoger het bemestingsniveau.

	1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai
6	12	18	24	30	36	42	48	54
5	11	17	23	29	35	41	47	53
4	10	16	22	28	34	40	46	52

	2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai
60	66	72	78	84	90	96	102	108
59	65	71	77	83	89	95	101	107
58	64	70	76	82	88	94	100	106

3	9	15	21	27	33	39	45	51
2	8	14	20	26	32	38	44	50
1	7	13	19	25	31	37	43	49

57	63	69	75	81	87	93	99	105
56	62	68	74	80	86	92	98	104
55	61	67	73	79	85	91	97	103

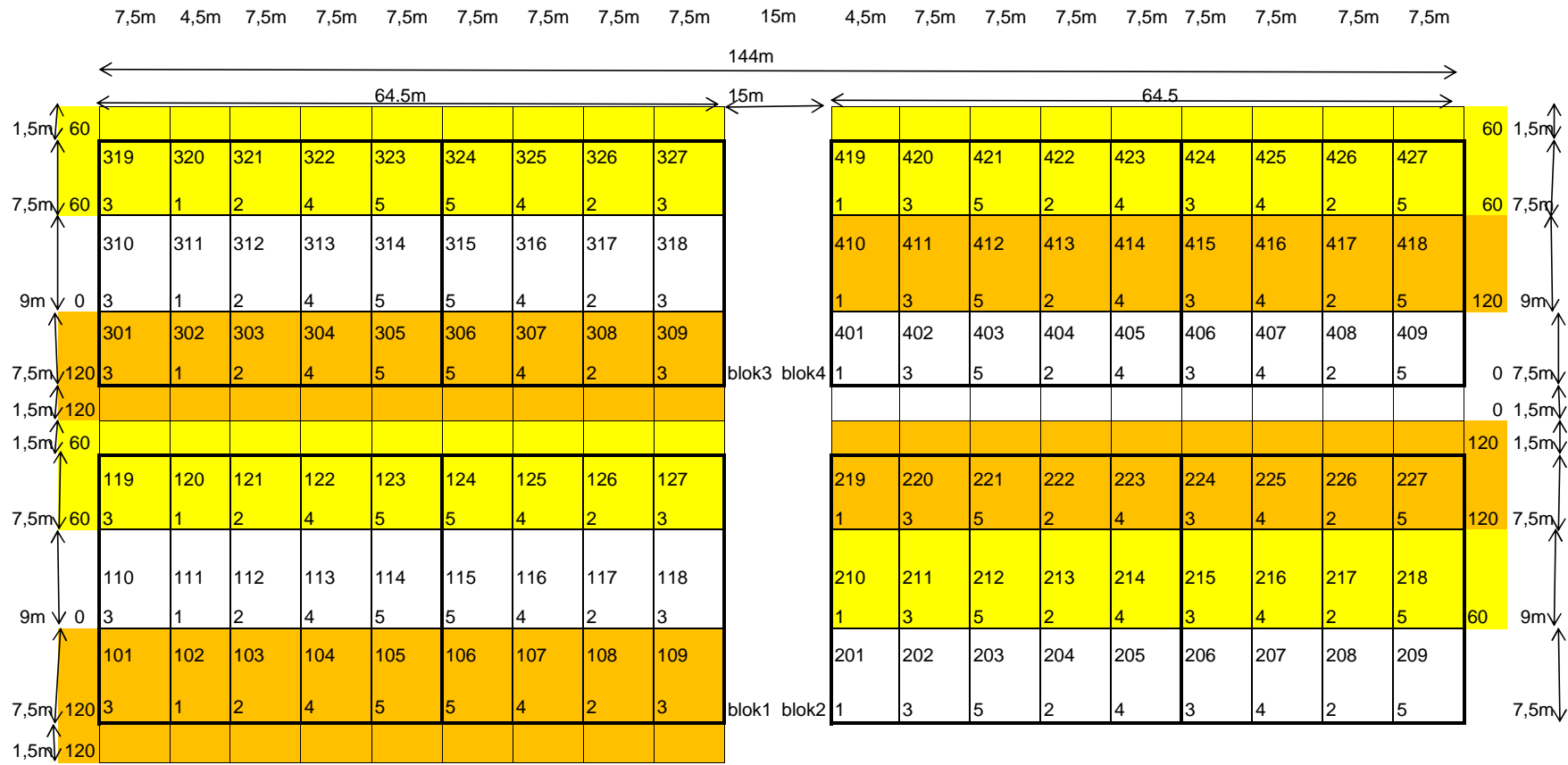
2e zaai 1e zaai 1e zaai 2e zaai 2e zaai 1e zaai 1e zaai 2e zaai

1e zaai 2e zaai 2e zaai 1e zaai 1e zaai 2e zaai 2e zaai 1e zaai

#### Legende

braak	mosterd	lt raai gras	Japanse Haver	gras-klaver
-------	---------	--------------	---------------	-------------

**Bottelare, 2e proefjaar**



**zaai 1** | **zaai 2**

**zaai 1** | **zaai 2**

- 1: Braak
- 2: Gele mosterd 25 kg/ha
- 3: Italiaans raaigras 45 kg/ha
- 4: Japanse haver 75 kg/ha
- 5: Gras/klaver 42 kg/ha

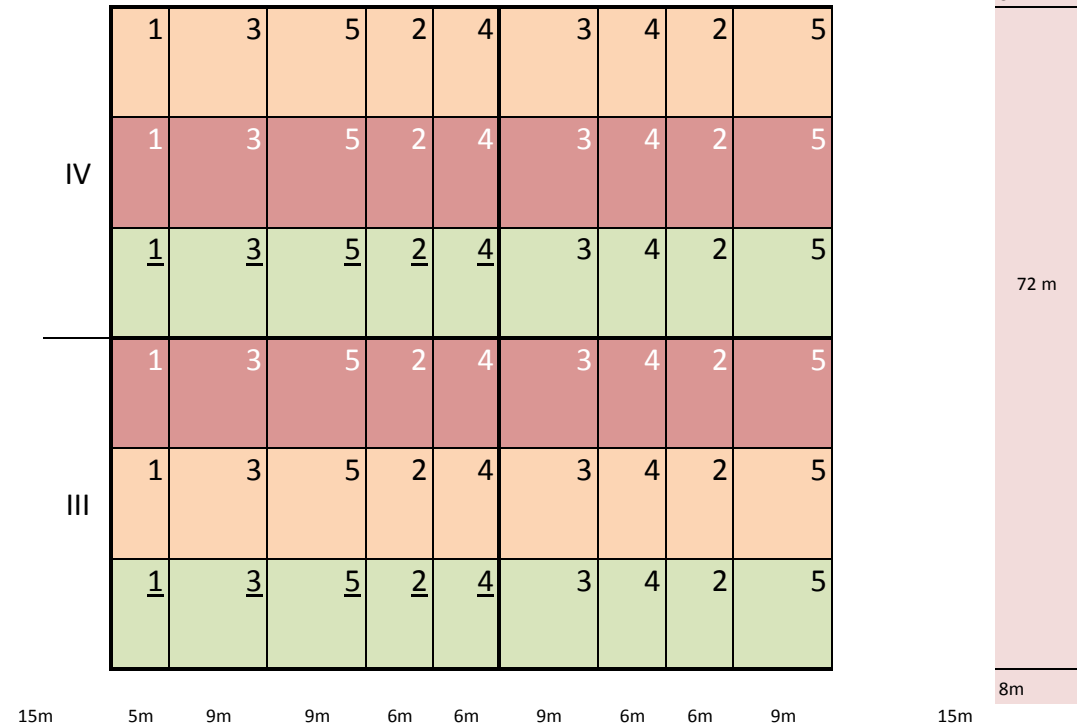
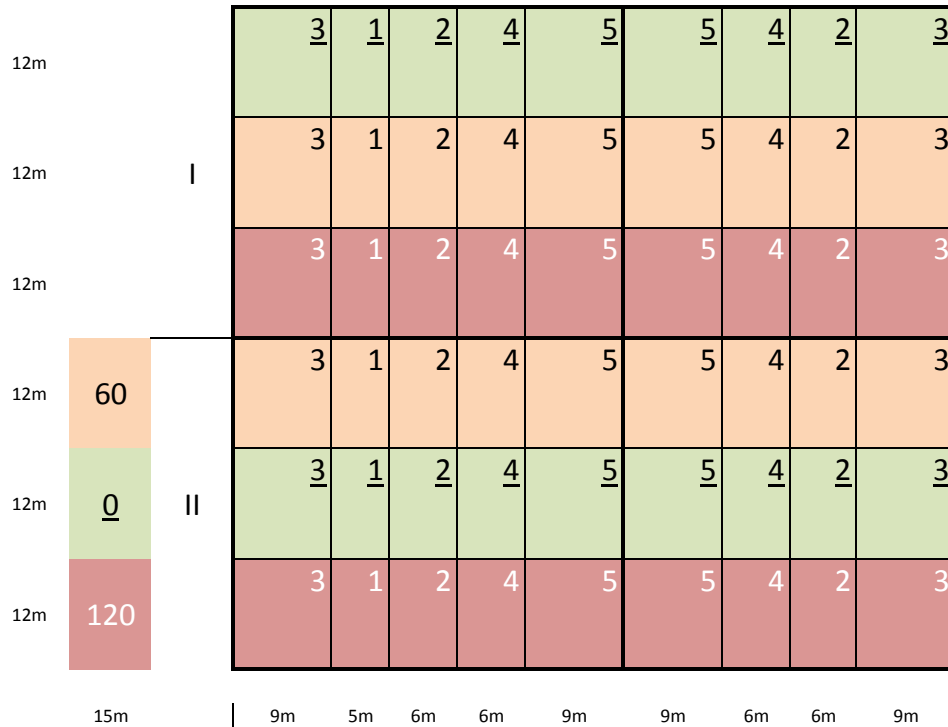


### Merelbeke, 2e proefjaar

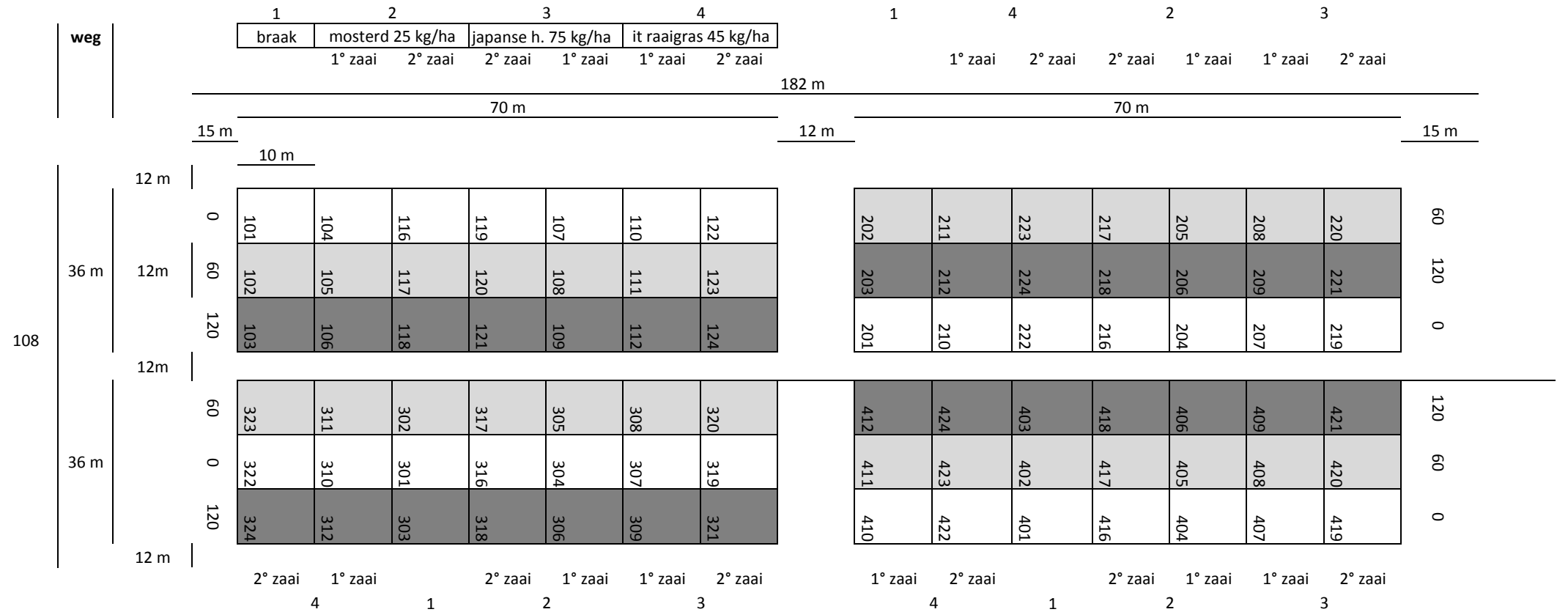
15 m

- |                      |
|----------------------|
| 1 blanco             |
| 2 gele mosterd       |
| 3 italiaans raagrass |
| 4 Japanse haver      |
| 5 gras / klaver      |

par



Oostende, 2e proefjaar



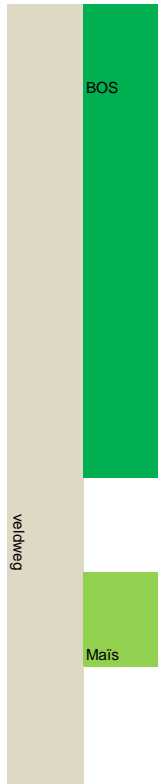
0 EN  
60 EN  
120 EN

↑ zaairichting; per veldje 4 zaaimachines x 2,5 m breedte = 10 m breedte  
→ richting drijfmesttoediening; per veldje 2 x 6 m (= breedte mestinjecteur) = 12 m breedte

Rukkelingen-Loon, 2e proefjaar

AARDAPPELEN

24 M



		braak		gele mosterd 20kg/ha		It raaigras 45kg/ha		Japanse Haver 75kg/ha		gras-klover 42 kg/ha	
		1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	2e zaai	1e zaai
36m	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
	60	5	11	17	23	29	35	41	47	53	
	120	4	10	16	22	28	34	40	46	52	
		12m									
36m	60	3	9	15	21	27	33	39	45	51	
	0	2	8	14	20	26	32	38	44	50	
	120	1	7	13	19	25	31	37	43	49	
		2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai	2e zaai	
		Japanse Haver 75kg/ha		gras-klover		braak		mosterd 20k/ha		It raaigras 45kg/ha	

		braak		gras-klover 42 kg/ha		Japanse Haver 75kg/ha		gele mosterd 20kg/ha		It raaigras 45kg/ha	
		2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai
60	60	60	66	72	78	84	90	96	102	108	
	120	59	65	71	77	83	89	95	101	107	
	0	58	64	70	76	82	88	94	100	106	
120	57	63	69	75	81	87	93	99	105		
	60	56	62	68	74	80	86	92	98	104	
	0	55	61	67	73	79	85	91	97	103	
		1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	1e zaai	2e zaai	2e zaai	1e zaai	1e zaai	
		Japanse Haver 75kg/ha		braak		mosterd 20k/ha		It raaigras 45kg/ha		gras-klover	

TABEL 1: STANDAARD GRONDONTLEDINGEN VAN DE PROEFVELDLOCATIES.

Locatie	proefjaar	textuur (manueel)	pH- KCl	OC (%)	P (mg/100g)	K (mg/100g)	Mg (mg/100g)	Ca (mg/100g)	Na (mg/100g)	Fe (mg/100g)	Mn (mg/100g)
Bottelare 1	2011-2012	lemig zand	5,0	1,0	28	13	3	51	<0,9	-	-
Bottelare 2	2011-2012	licht zandleem	5,7	0,8	23	15	13	61	<0,9	-	-
Lemberge	2011-2012	zandleem	5,6	1,4	25	16	15	85	<0,9	-	-
Rukkelingen-Loon	2011-2012	leem	6,8	1,2	19	22	17	257	3,8	-	-
Sint-Denijs	2011-2012	zandleem	6,8	1,07	28	19	14	258	<2,0	-	-
Bottelare	2012-2013	zand	5,2	1,23	27	10	5	52	<0,9	-	-
Merelbeke	2012-2013	zandleem	5,6	1,13	37	15	9	95	2,2	74	8,6
Oostende	2012-2013	klei	7,2	1,25	20	23	48	1126	4,3	-	-
Rukkelingen-Loon	2012-2013	leem	6,6	1,10	22	21	15	254	1,5	-	-

*De bemonstering werd uitgevoerd in juli-augustus 2011 voor het 1e proefjaar en in juli-augustus 2012 voor het 2e proefjaar. Gehaltes aan fosfor, kalium, magnesium, calcium en natrium zijn weergegeven in mg/100g luchtdroge grond en werden gemeten in het A.L.-extract.*

## 1. OVERZICHTSFOTO'S



**FIGUUR 1: VELDPROEF TE BOTTELARE, 21 SEPTEMBER 2011. OP DE VOORGROND DE 2<sup>E</sup> ZAAI VAN GELE MOSTERD (L) EN JAPANSE HAVER (R) OP BEMESTINGSTRAP 120N, DAARACHTER DEZELFDE VANGGEWASSEN OP DE 0N.**



**FIGUUR 2: VELDPROEF TE LEMBERGE, 14 SEPTEMBER 2011. OP DE VOORGROND DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN ITALIAANS RAAIGRAS EN GELE MOSTERD OP BEMESTINGSTRAPPEN 120N – 60N – 0N VAN LINKS NAAR RECHTS.**



**FIGUUR 3: VELDPROEF TE RUKKELINGEN-LOON, 10 OKTOBER 2011. CENTRAAL IN BEELD DE MET TOTAALHERBICIDE BEHANDELDE BRAAKVELDJES.**



**FIGUUR 4: VELDPROEF TE SINT-DENIJS, 24 OKTOBER 2011. OP DE ACHTERGROND DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN GELE MOSTERD OP BEMESTINGSTRAPPEN 0N – 120N – 60N VAN LINKS NAAR RECHTS.**



**FIGUUR 5: VELDPROEF TE BOTTELARE, 24 OKTOBER 2012. CENTRAAL IN BEELD DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN JAPANSE HAVER OP BEMESTINGSTRAPPEN 0N – 60N – 120N VAN LINKS NAAR RECHTS.**



**FIGUUR 6: VELPPOEF TE MERELBEKE, 12 SEPTEMBER 2012. OP DE ACHTERGROND DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN GELE MOSTERD OP BEMESTINGSTRAPPEN 120N – 60N – 0N VAN LINKS NAAR RECHTS.**



**FIGUUR 7: VELDPROEF TE MERELBEKE, 7 OKTOBER 2012. UITERST LINKS DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN GELE MOSTERD, RECHTS DAARVAN DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN JAPANSE HAVER. VERVOLGENS VAN LINKS NAAR RECHTS DE 2<sup>E</sup> ZAAI VAN ITALIAANS RAAIGRAS, JAPANSE HAVER EN GELE MOSTERD.**



**FIGUUR 8: VELDPROEF TE OOSTENDE, 23 OKTOBER 2012. OP DE VOORGROND DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN GELE MOSTERD OP DE 120N BEMESTINGSTRAP; DE VANGGEWASSEN ONTKIEMDEN LAAT EN ONTWIKKELDEN ZICH SLECHT DOOR DE DROOGTE BIJ EN NA INZAAI.**



**FIGUUR 9: VELDPROEF TE RUKKELINGEN-LOON, 18 OKTOBER 2012. OP DE VOORGROND DE 1<sup>E</sup> ZAAI VAN JAPANSE HAVER.**



**FIGUUR 10: VELDPROEF TE RUKKELINGEN-LOON, 21 DECEMBER 2012. LINKS DE BRAAKPERCELEN, CENTRAAL DE GEKLEPELDE NIET-WINTERHARDE VANGGEWASSEN (GELE MOSTERD EN JAPANSE HAVER) EN ACHTERAAN DE GEKLEPELDE WINTERHARDE VANGGEWASSEN (ITALIAANS RAAIGRAS EN HET GRASKLAVERMENGSEL).**



**FIGUUR 11: BOTTELARE, 22 FEBRUARI 2013. VAN LINKS NAAR RECHTS: ITALIAANS RAAIGRAS, BRAAK, GELE MOSTERD, JAPANSE HAVER EN HET GRASKLAVERMENGSEL .**



## 2. DETAILFOTO'S

In de volgende detailfoto's wordt eerst het onderscheid tussen vanggewassen op de 0N en de 60N bemestingstrap in beeld gebracht, nadien komt het verschil tussen beide zaaitijdstippen aan bod.



FIGUUR 12: LEMBERGE, 14 SEPTEMBER 2011. 1<sup>E</sup> ZAAI VAN GELE MOSTERD OP 60N (L) EN 0N (R).



FIGUUR 13: LEMBERGE, 14 SEPTEMBER 2011. 1<sup>E</sup> ZAAI VAN ITALIAANS RAAIGRAS OP 60N (L) EN 0N (R).



FIGUUR 14: LEMBERGE, 14 SEPTEMBER 2011. 1<sup>E</sup> ZAAI VAN JAPANSE HAVER OP 60N (L) EN 0N (R).



FIGUUR 15: LEMBERGE, 14 SEPTEMBER 2011. 1<sup>E</sup> ZAAI VAN HET GRASKLAVERMENGSEL OP 60N (L) EN 0N (R).



**FIGUUR 16: RUKKELINGEN-LOON, 24 AUGUSTUS 2011. 1<sup>E</sup> ZAAI VAN GELE MOSTERD 6 DAGEN NA INZAAI. DE VERSLEMPING DOOR TOEDOEN VAN DE STORM KORT NA INZAAI IS DUIDELIJK WAARNEEMBAAR.**



**FIGUUR 17: RUKKELINGEN-LOON, 10 OKTOBER 2011. 2<sup>E</sup> ZAAI VAN GRASKLAVER (ENGELS RAAIGRAS + RODE KLAVER + WITTE KLAVER) OP 60N BEMESTINGSTRAP.**



FIGUUR 18: SINT-DENIJS, 24 OKTOBER 2011. GELE MOSTERD 1<sup>E</sup> ZAAI (R) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (L) OP DE 60N BEMESTINGSTRAP.



FIGUUR 19: RUKKELINGEN-LOON, 10 OKTOBER 2011. ITALIAANS RAAIGRAS 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R) OP DE 0N BEMESTINGSTRAP.

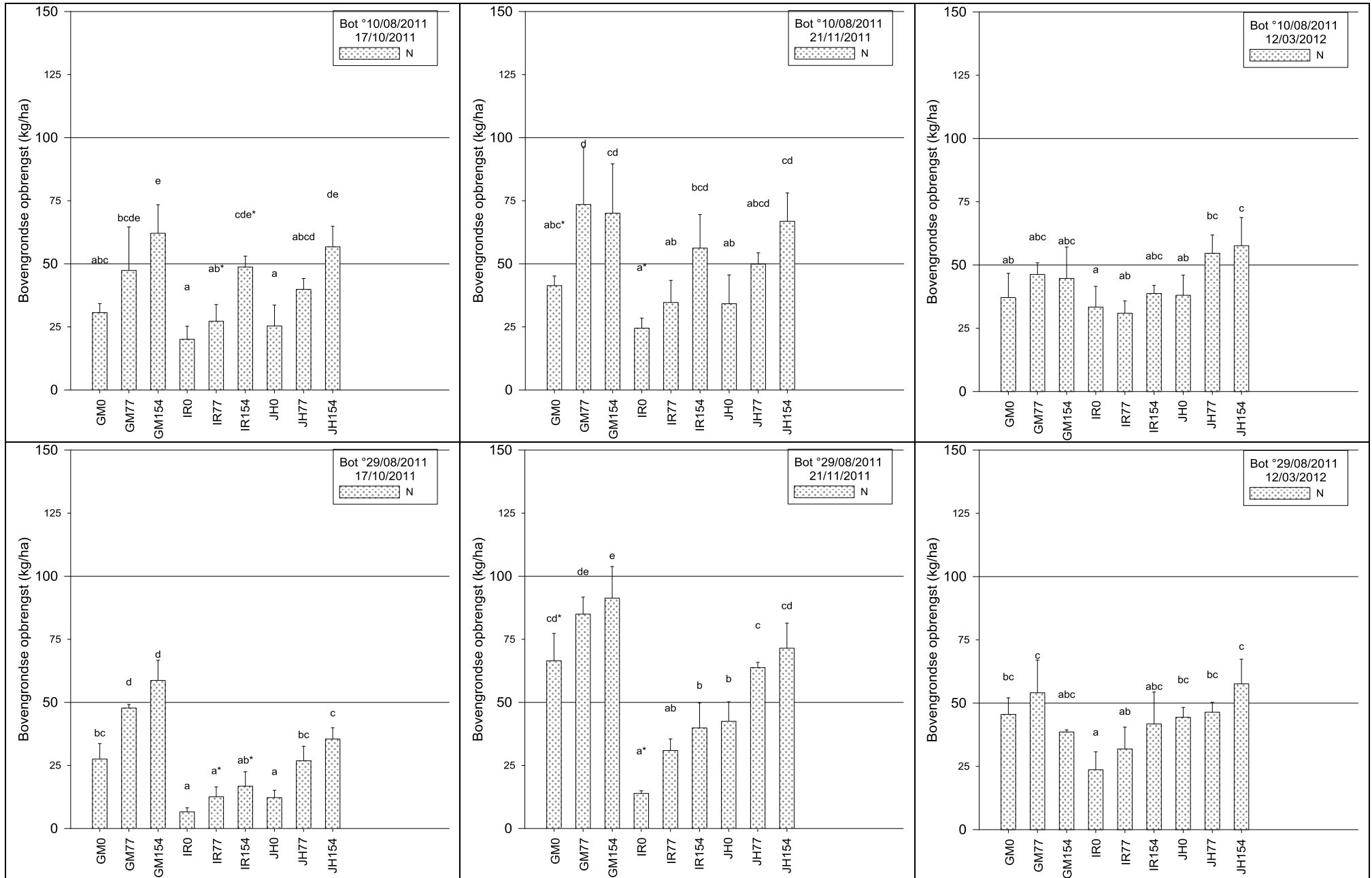


FIGUUR 20: BOTTELARE, 24 OKTOBER 2012. JAPANSE HAVER 1<sup>E</sup> ZAAI (L) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (R) OP DE ON BEMESTINGSTRAP.

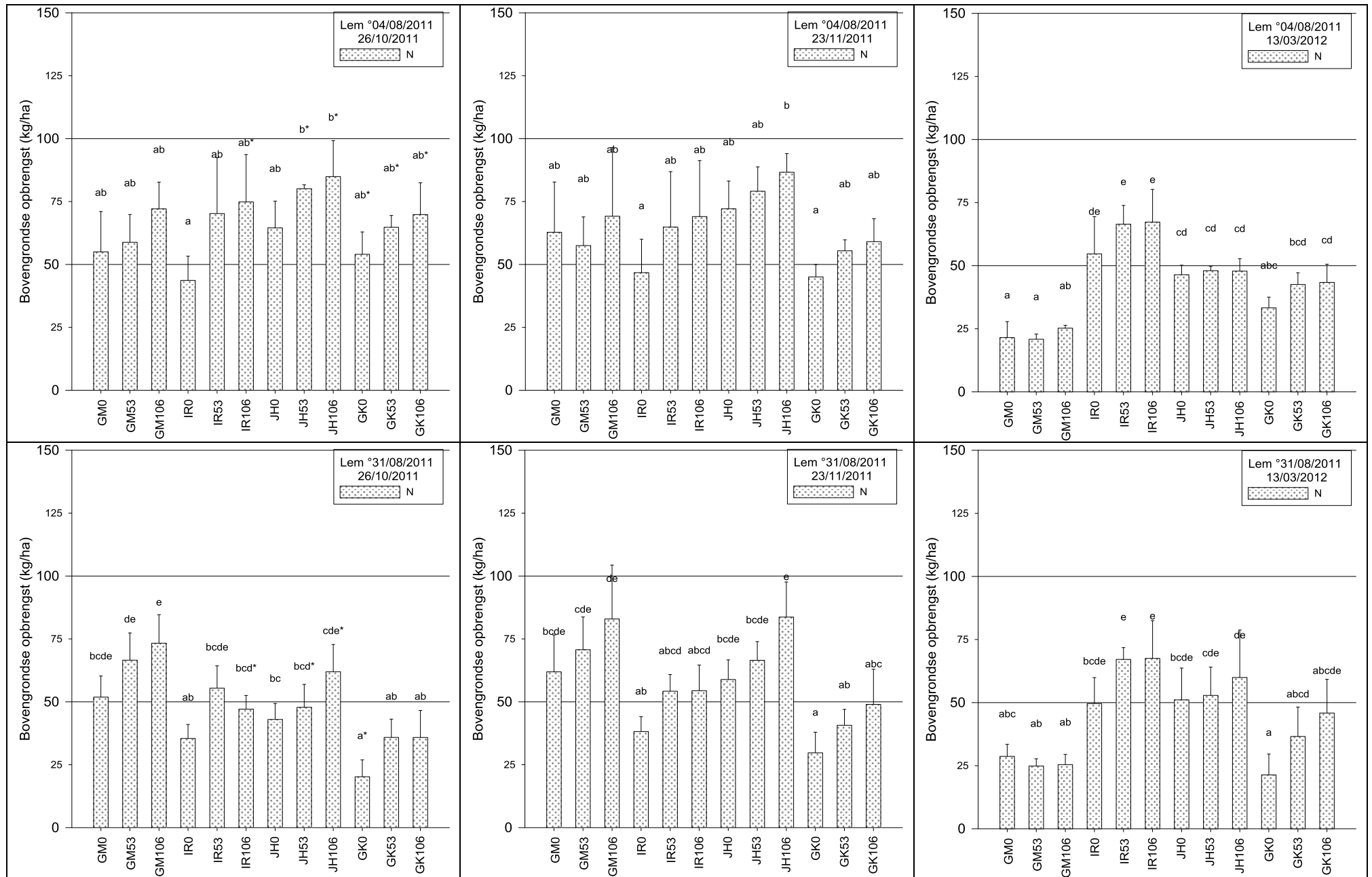


FIGUUR 21: SINT-DENIJS, 24 OKTOBER 2011. GRASKLAVER 1<sup>E</sup> ZAAI (R) EN 2<sup>E</sup> ZAAI (L) OP DE 60N BEMESTINGSTRAP.

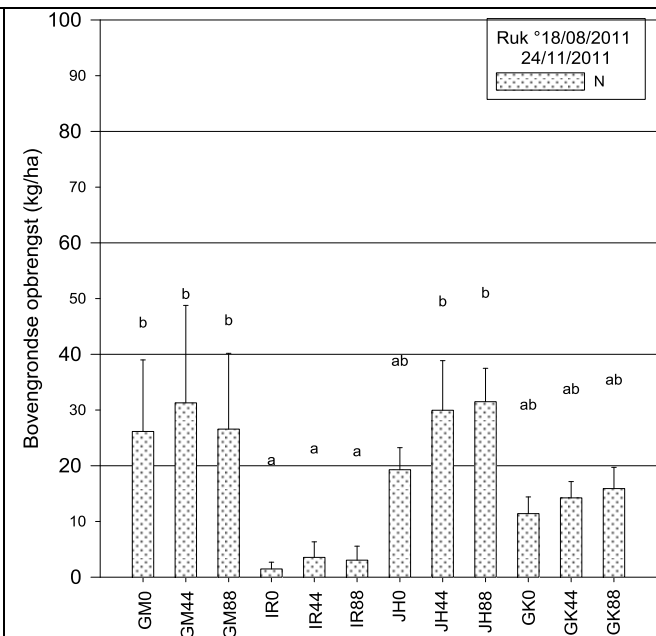
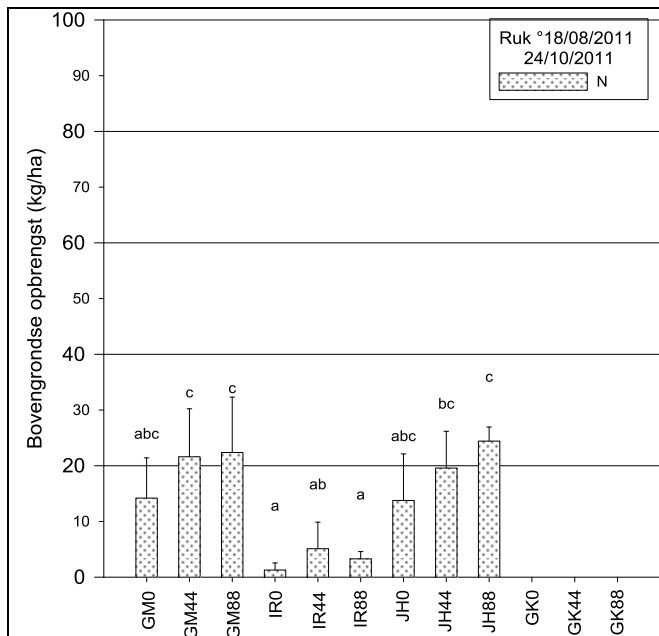
BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST BOTTELARE



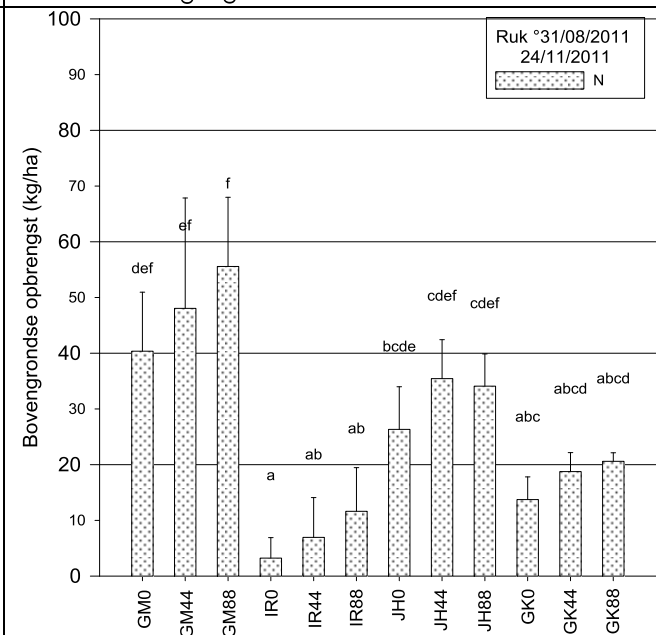
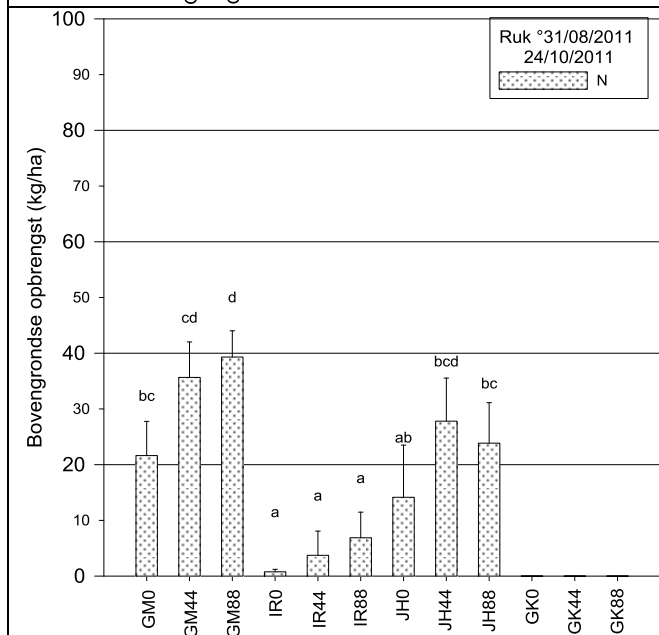
BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST LEMBERGE



BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST RUKKELINGEN-LOON



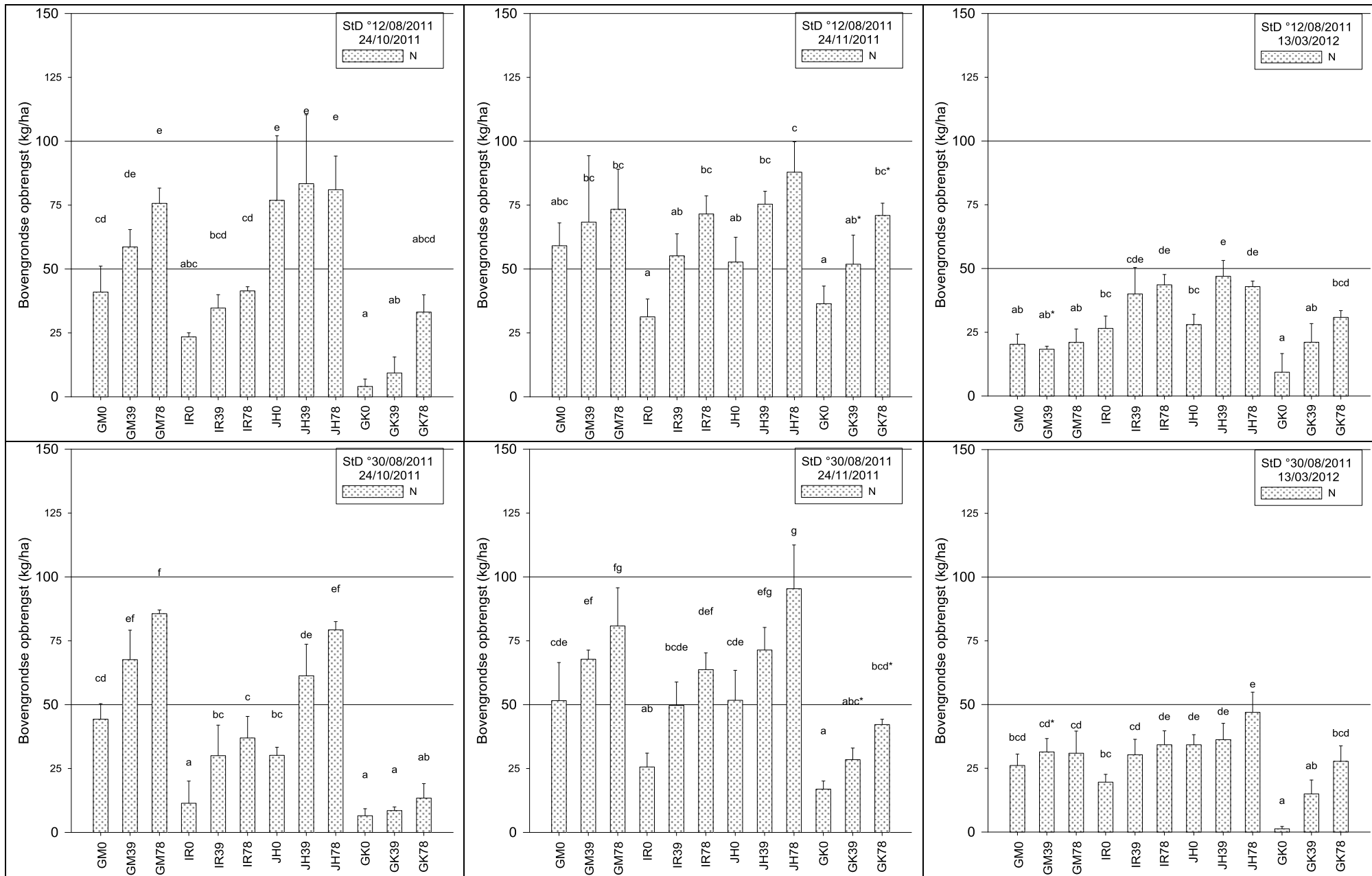
*De vanggewassen werden ondergewerkt op 15 januari 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*



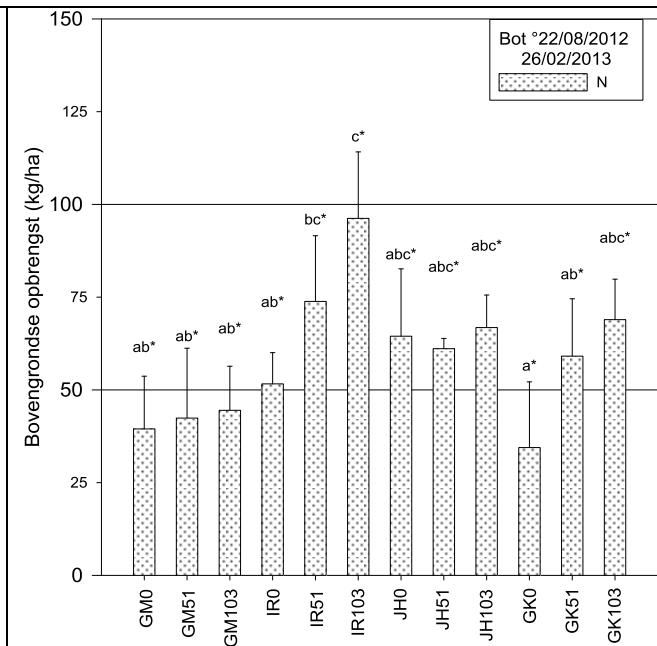
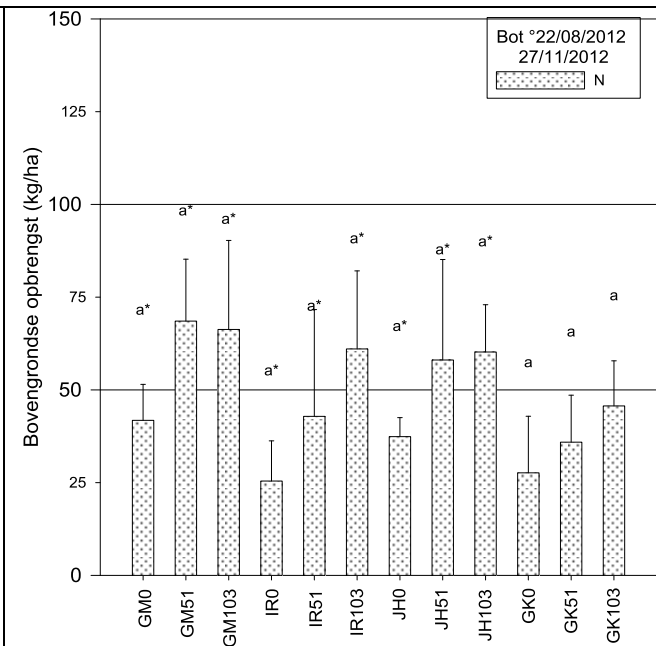
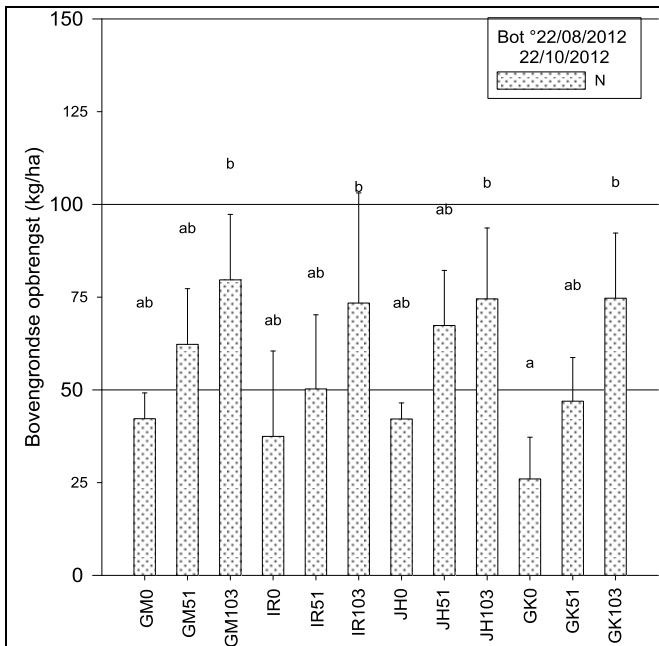
*De vanggewassen werden ondergewerkt op 15 januari 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*



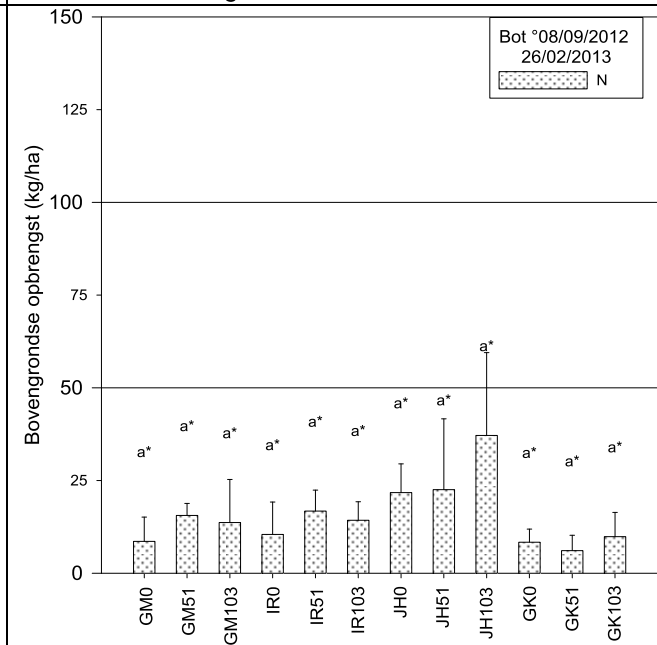
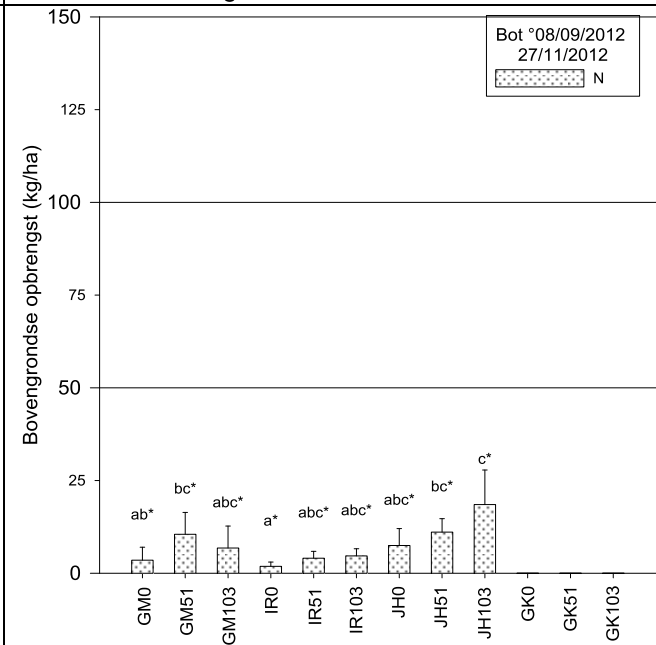
BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST SINT-DENIJS



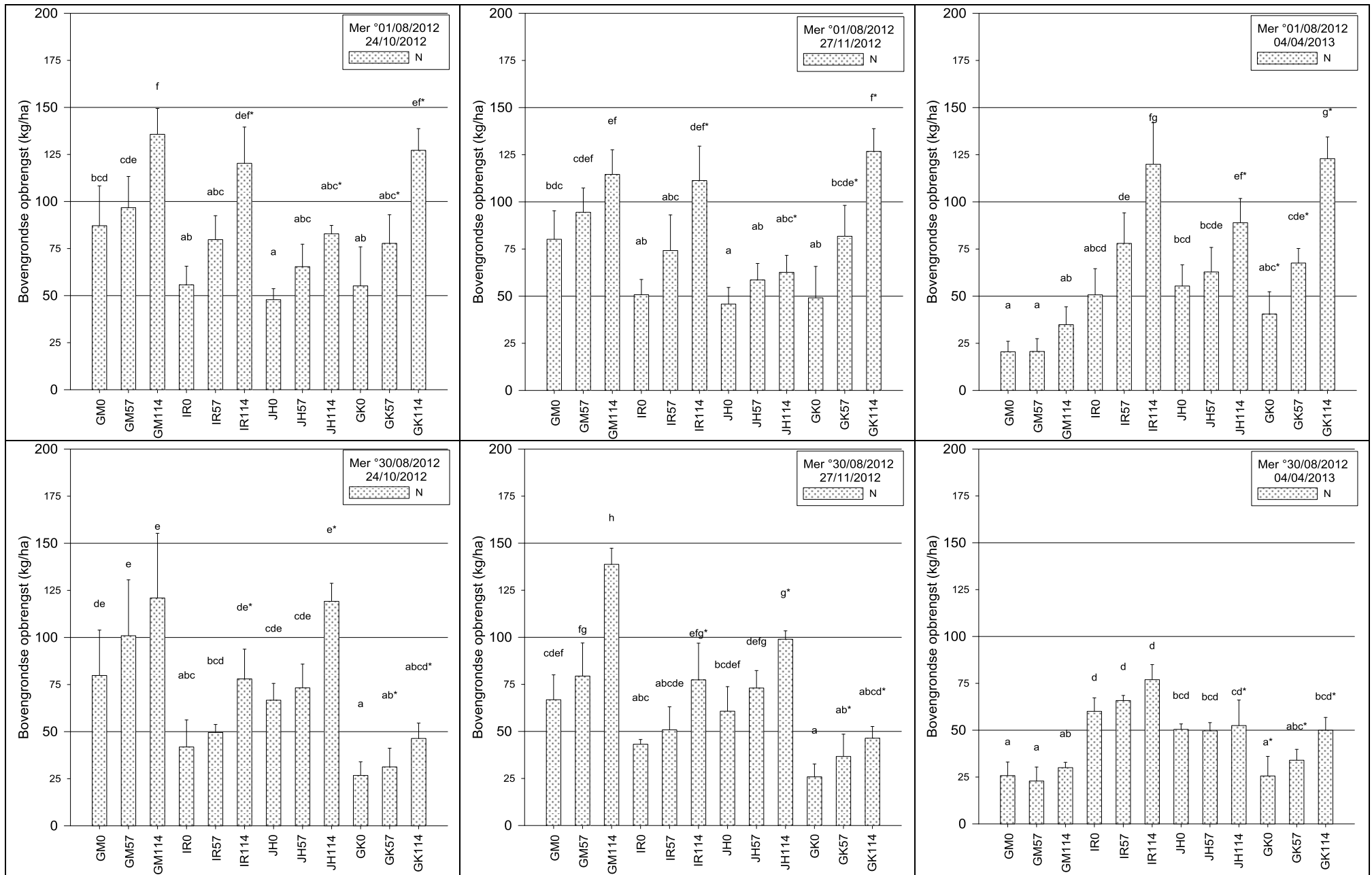
BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST BOTTELARE



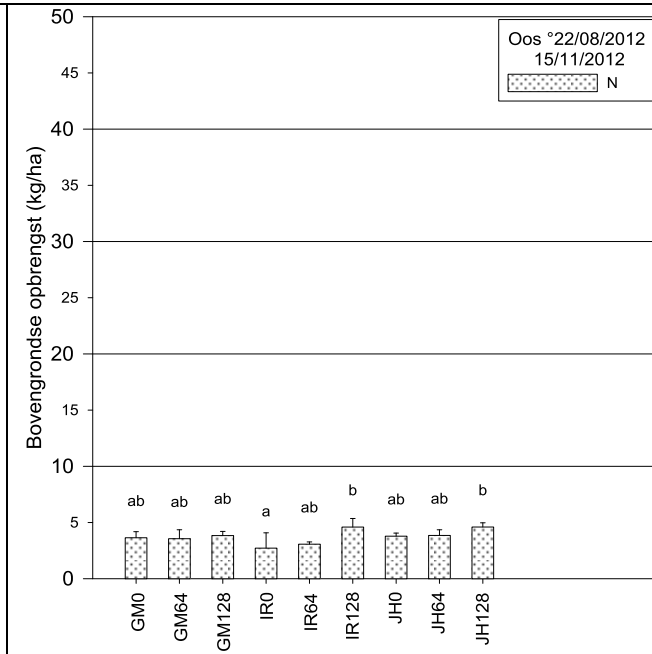
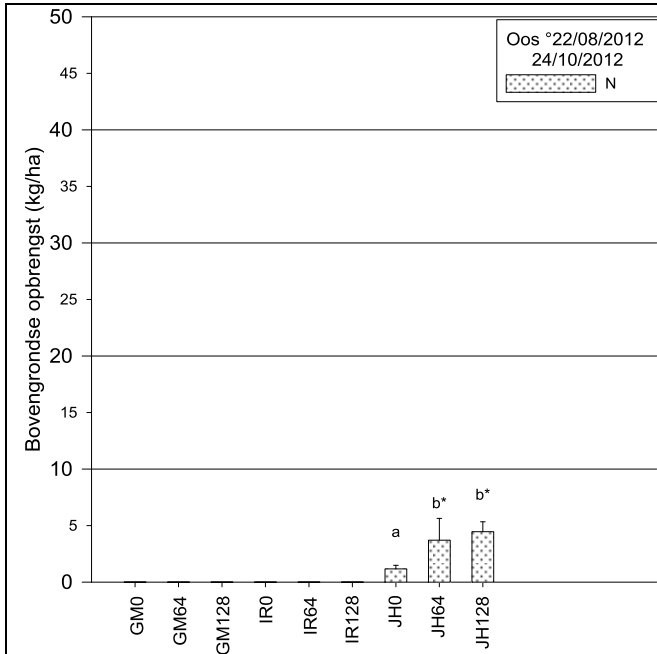
2<sup>e</sup> zaai niet geoogst eind oktober  
omwille van zeer beperkte opkomst



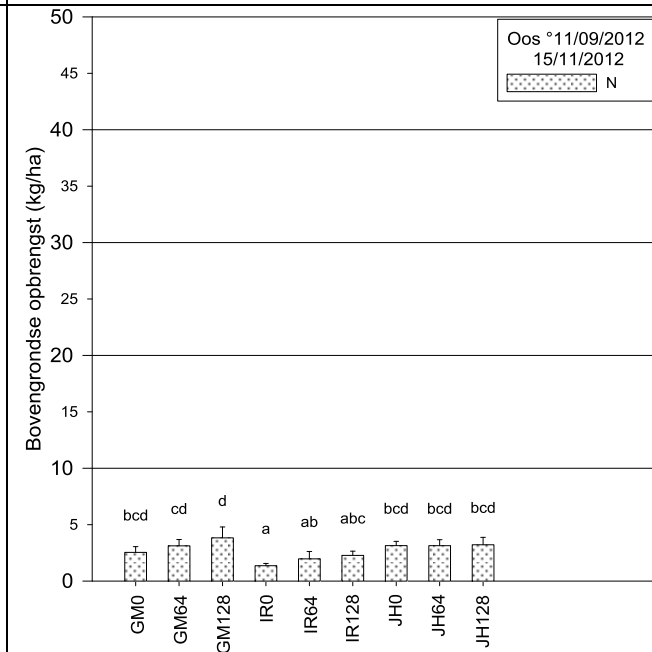
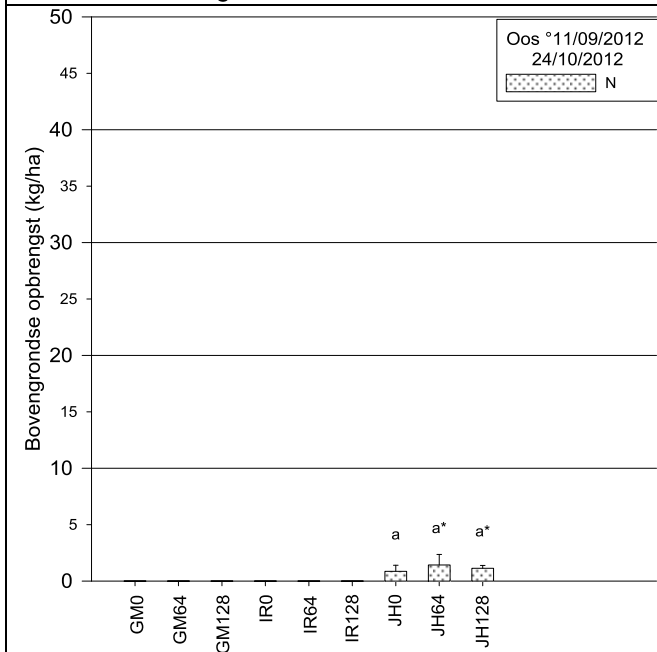
BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST MERELBEKE



BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST OOSTENDE

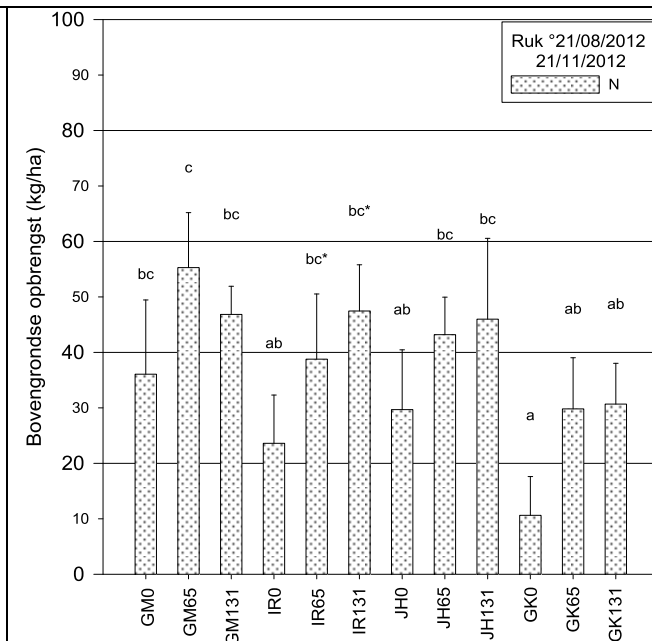
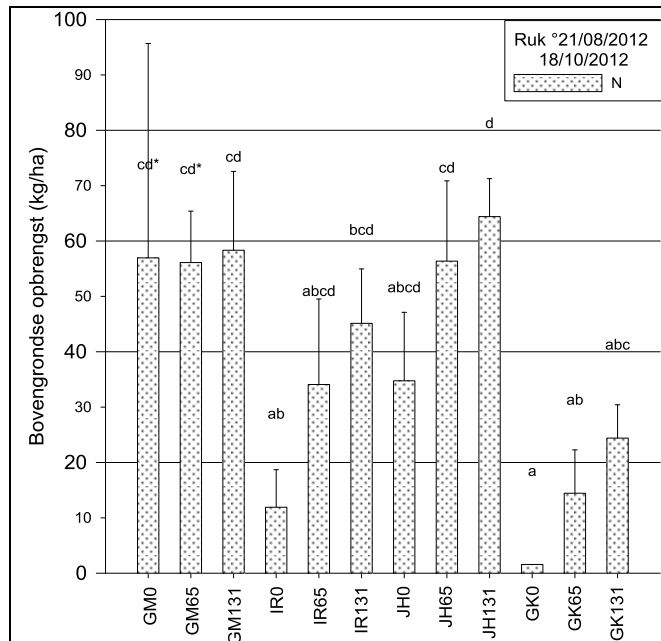


*De veggewassen werden ondergewerkt op 16 november 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*

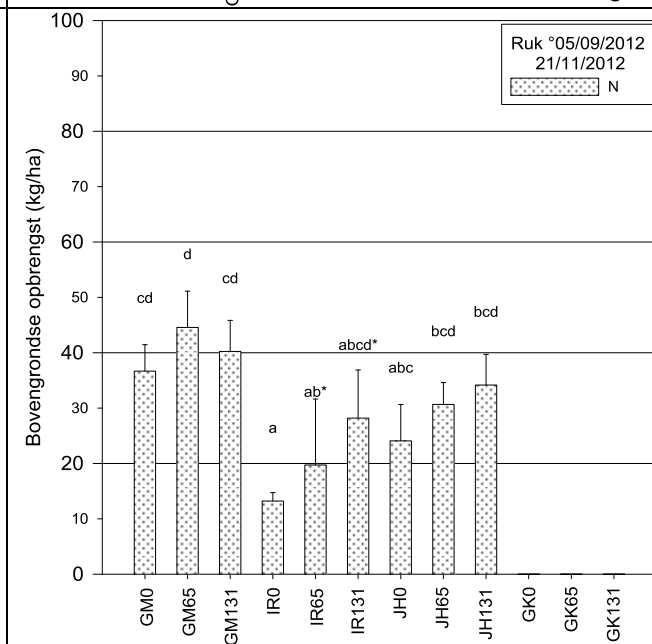
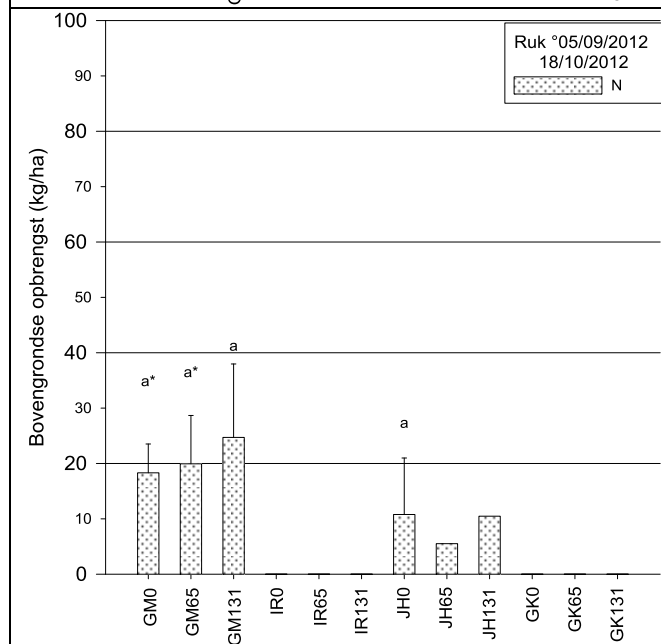


*De veggewassen werden ondergewerkt op 16 november 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*

BOVENGRONDSE STIKSTOFOPBRENGST RUKKELINGEN-LOON

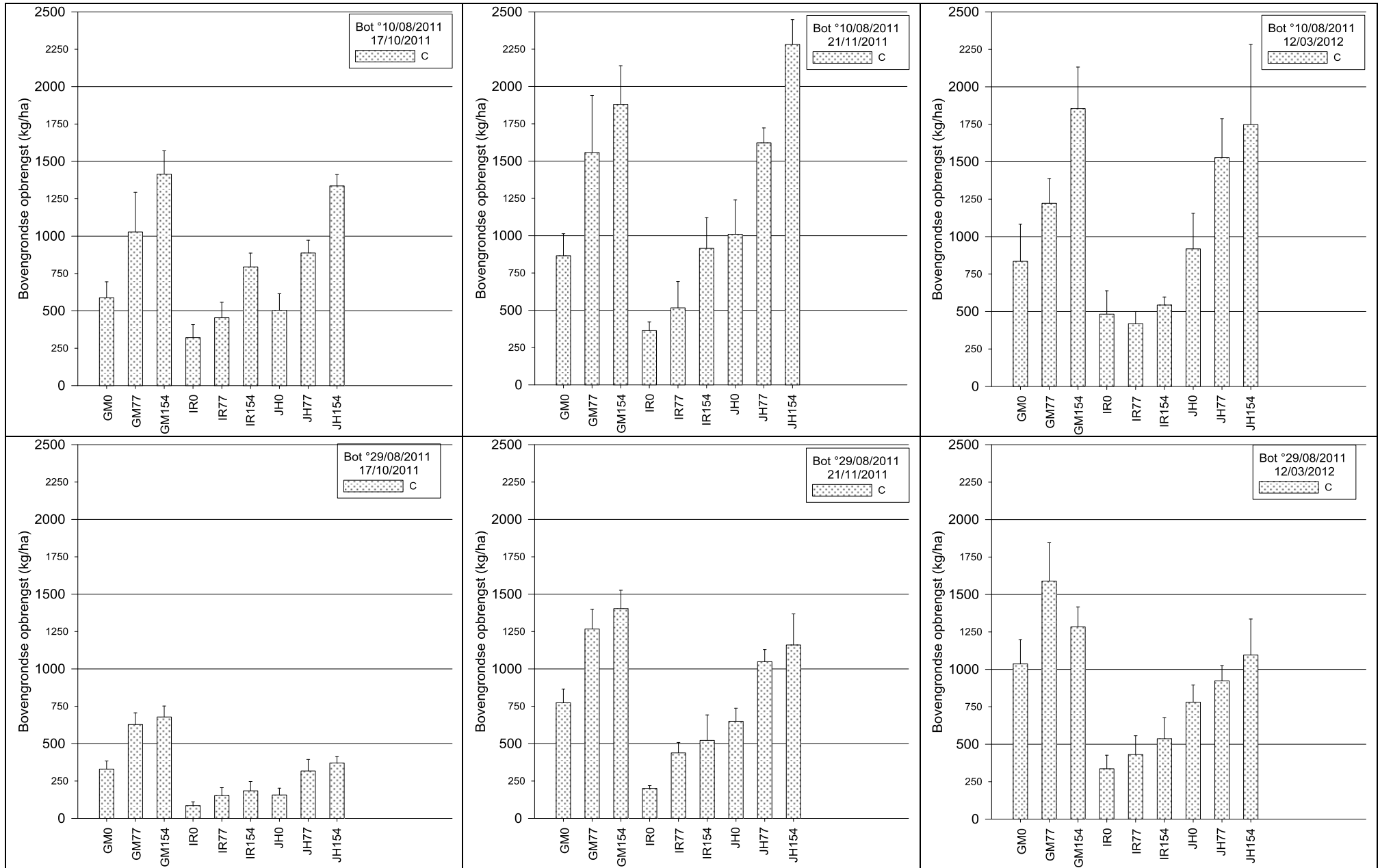


*De veggewassen werden geklepeld op 1 december 2012 en ondergewerkt op 12 januari 2013; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*

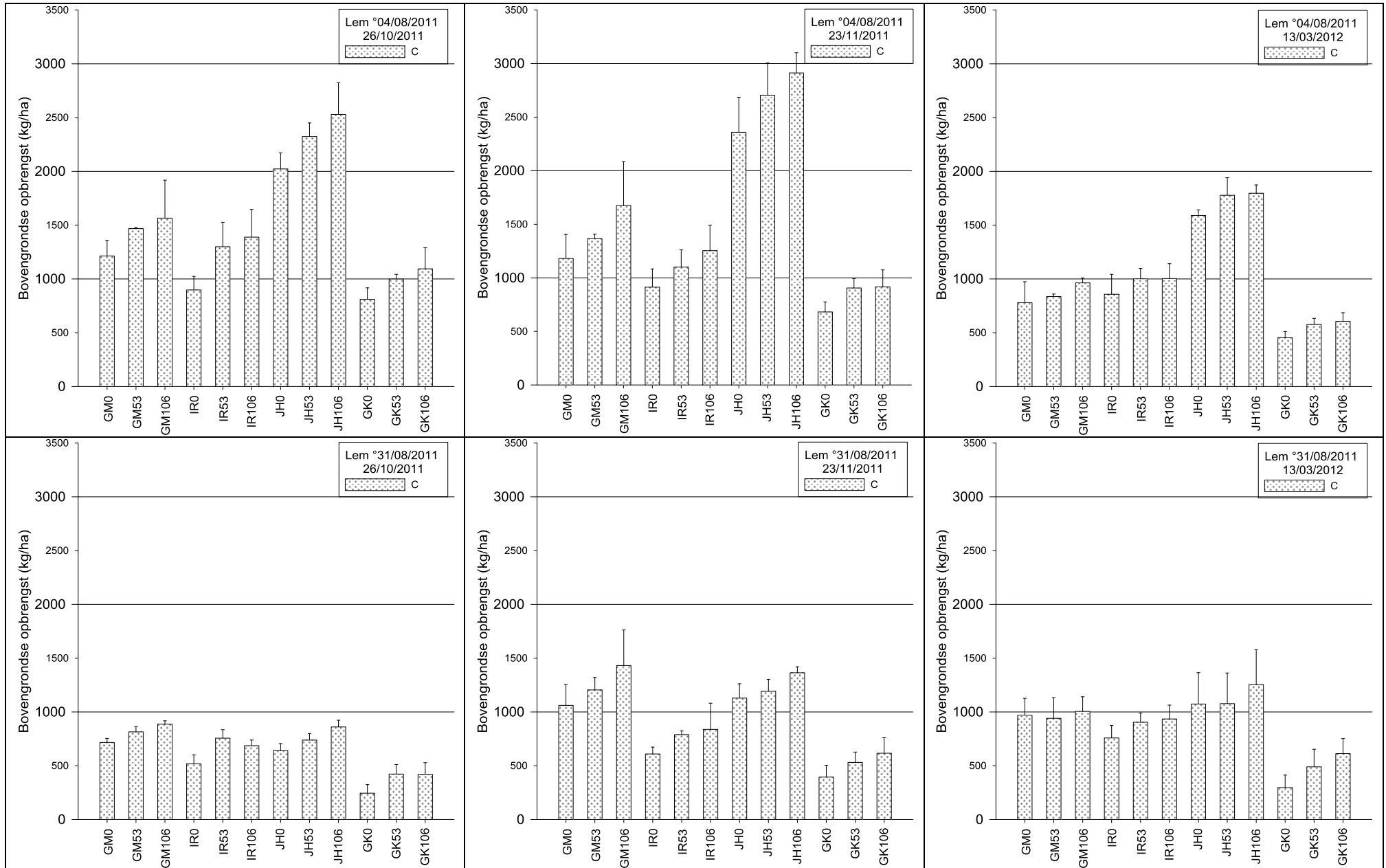


*De veggewassen werden geklepeld op 1 december 2012 en ondergewerkt op 12 januari 2013; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*

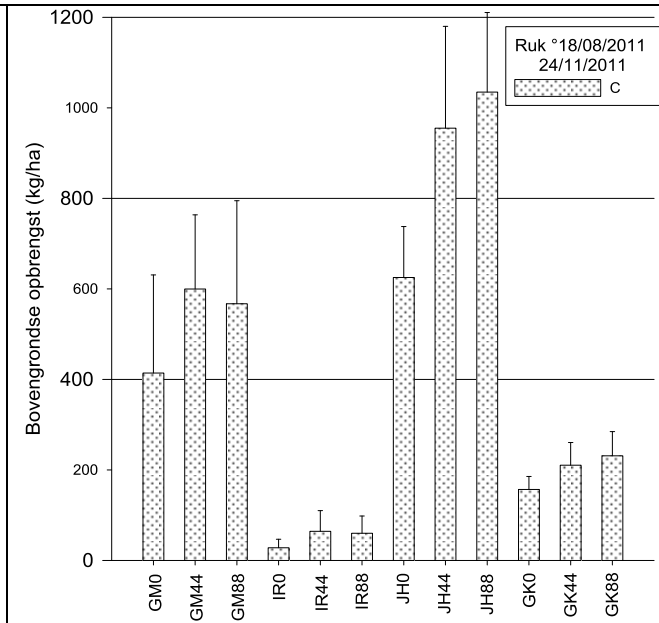
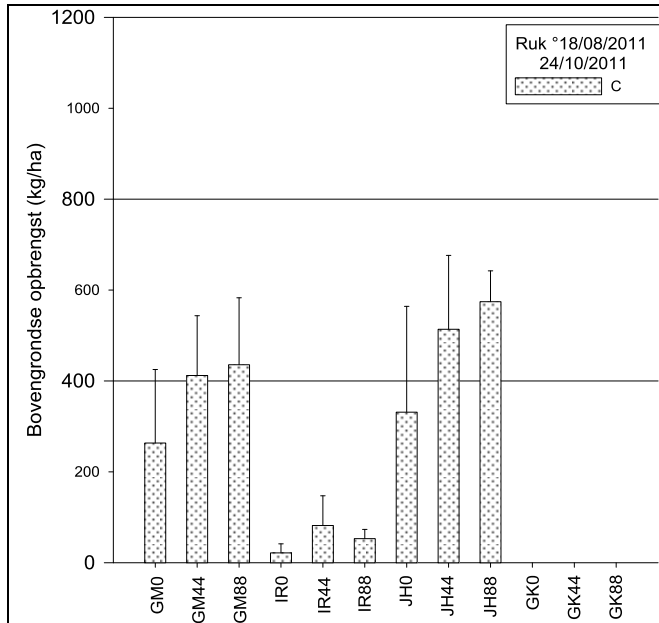
BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST BOTTELARE



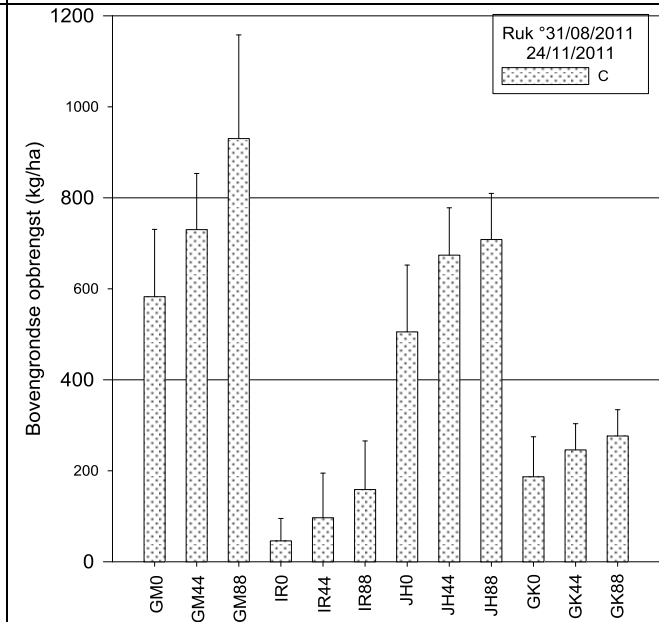
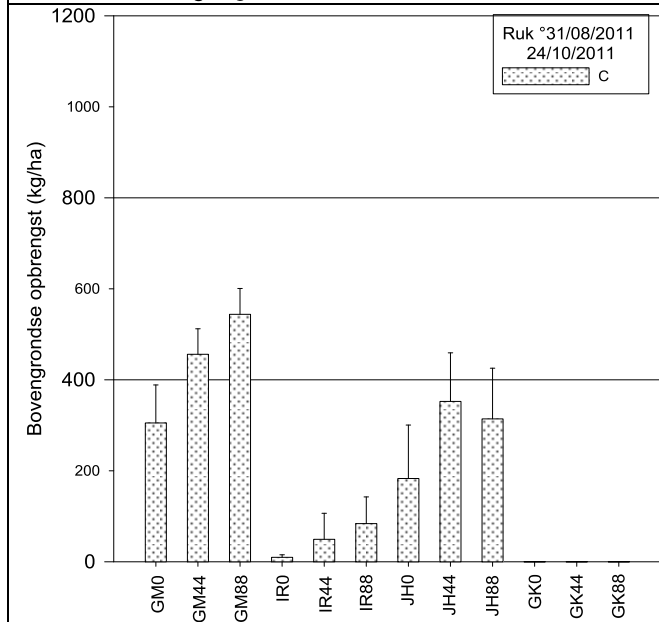
**BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST LEMBERGE**



BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST RUKKELINGEN-LOON



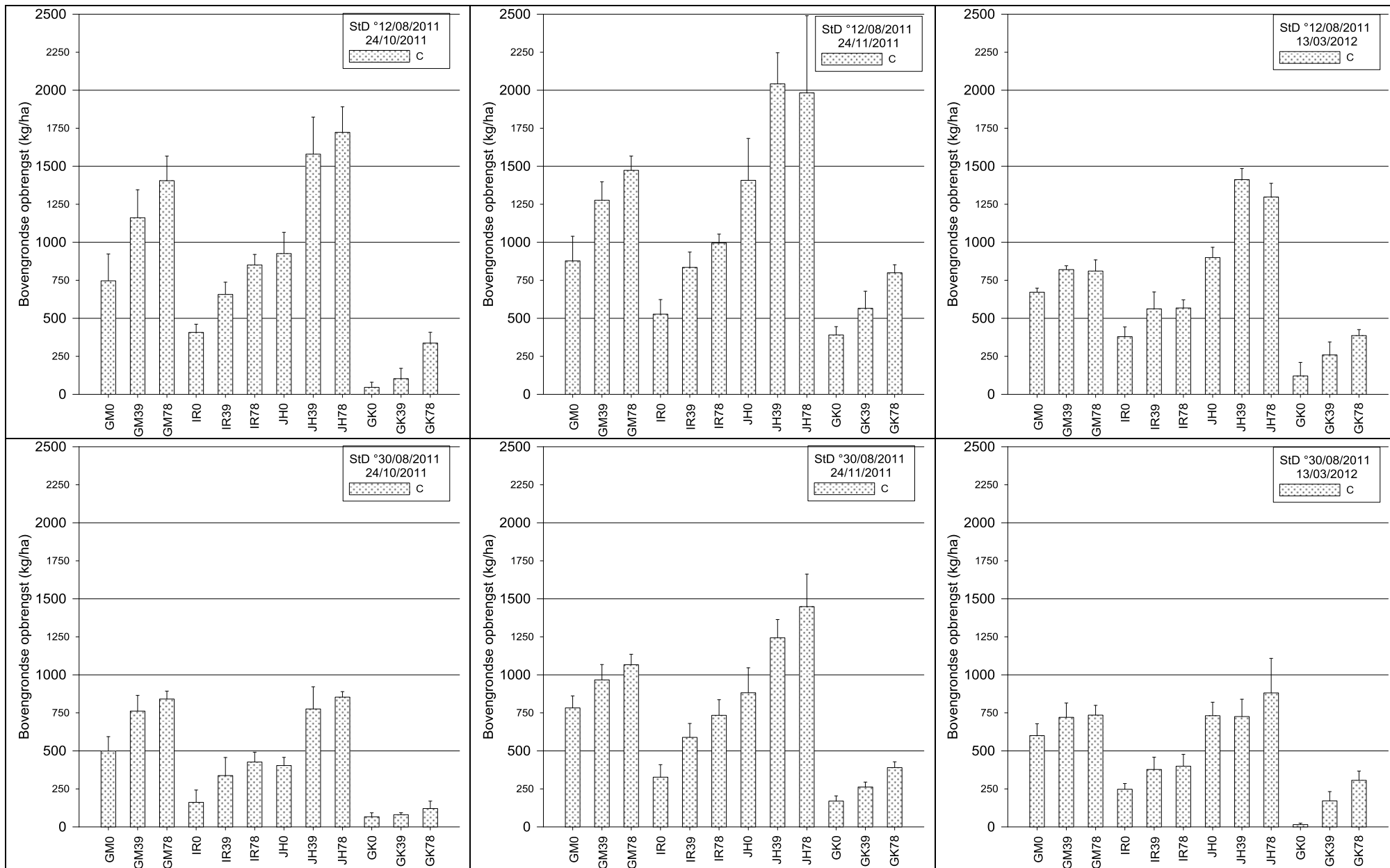
*De vanggewassen werden ondergewerkt op 15 januari 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*



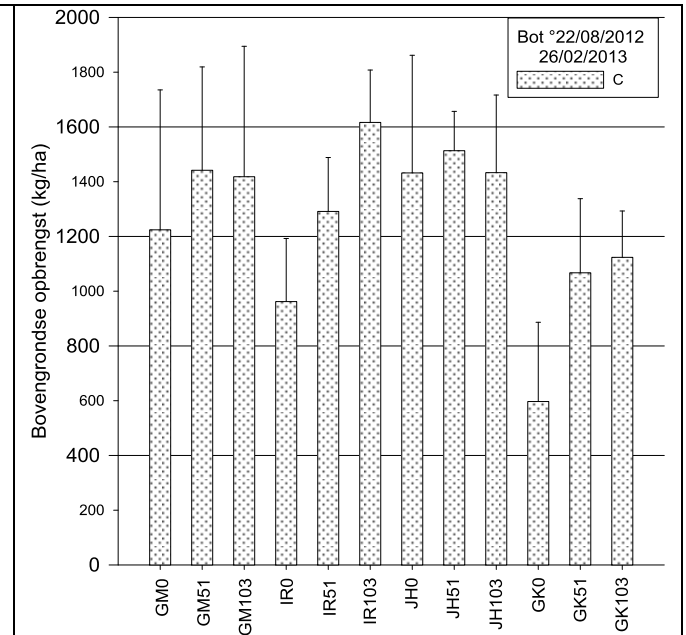
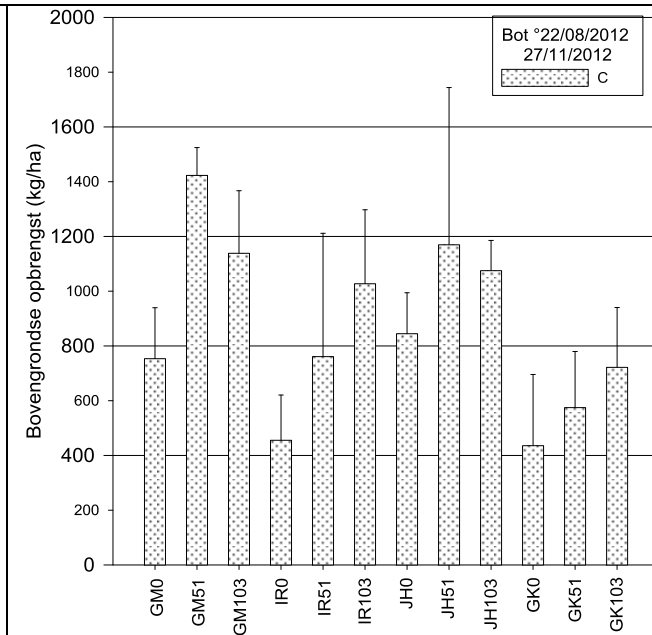
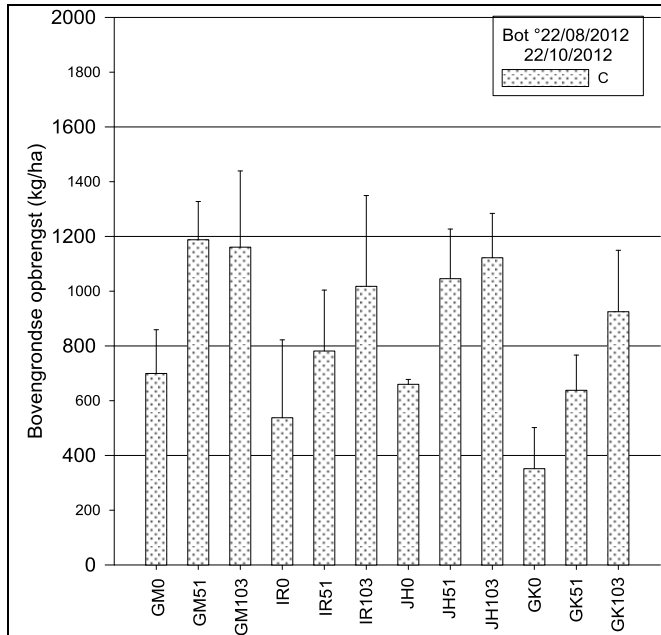
*De vanggewassen werden ondergewerkt op 15 januari 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*



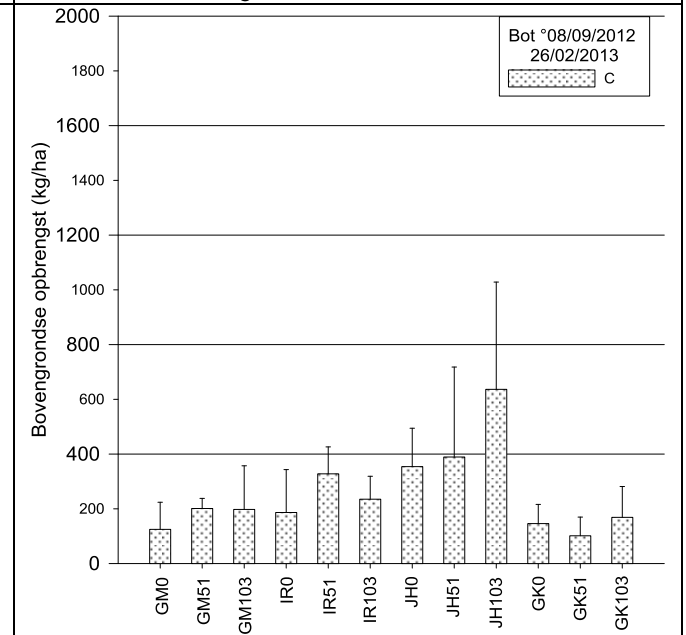
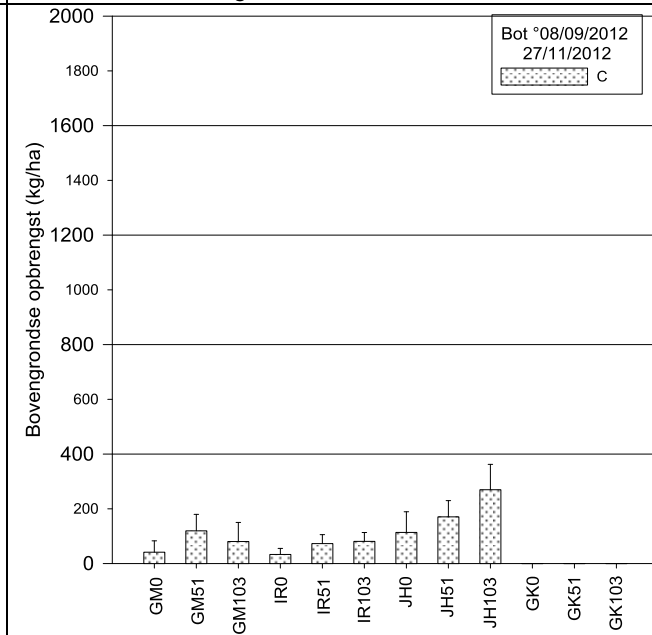
BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST SINT-DENIJS



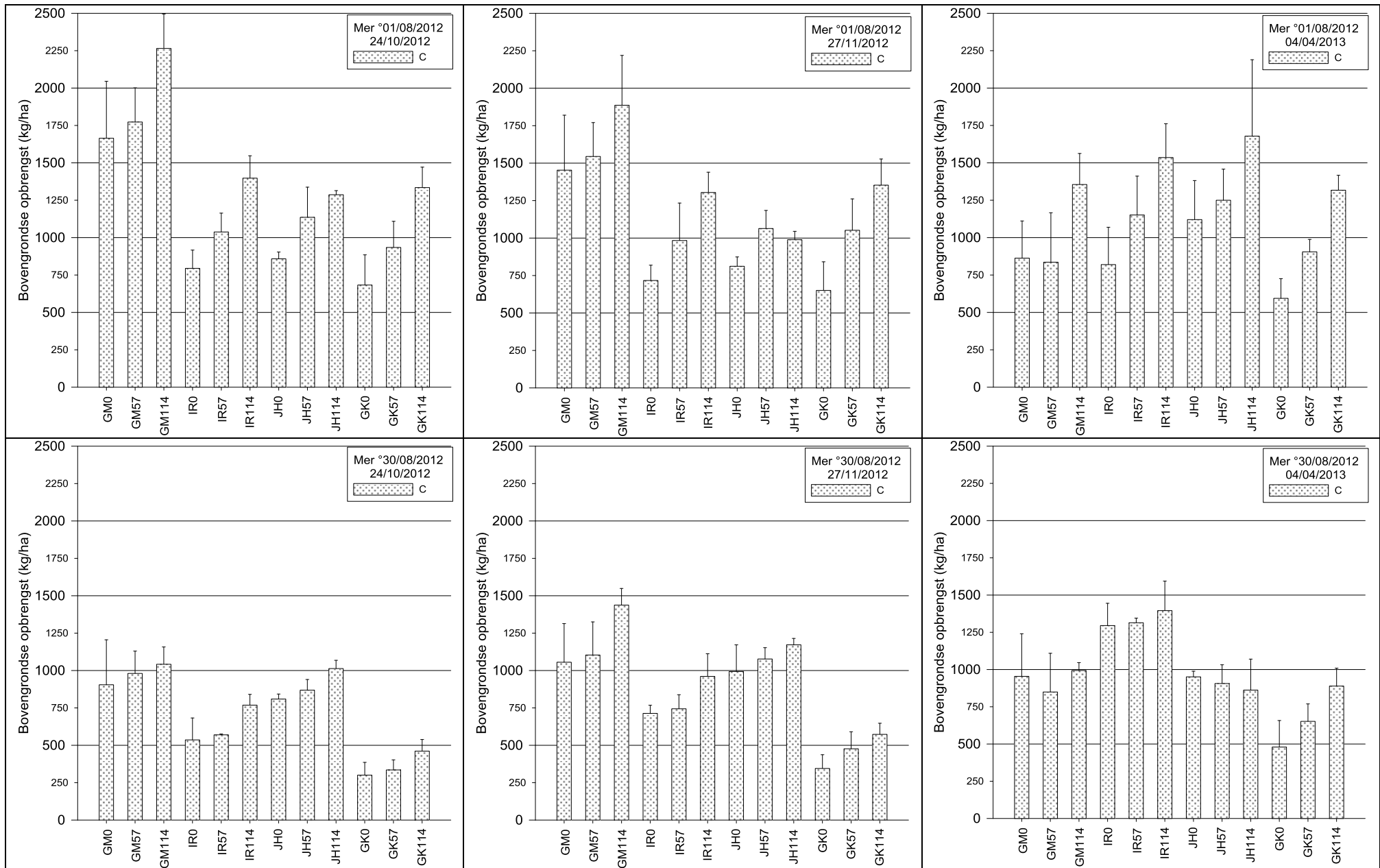
BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST BOTTELARE



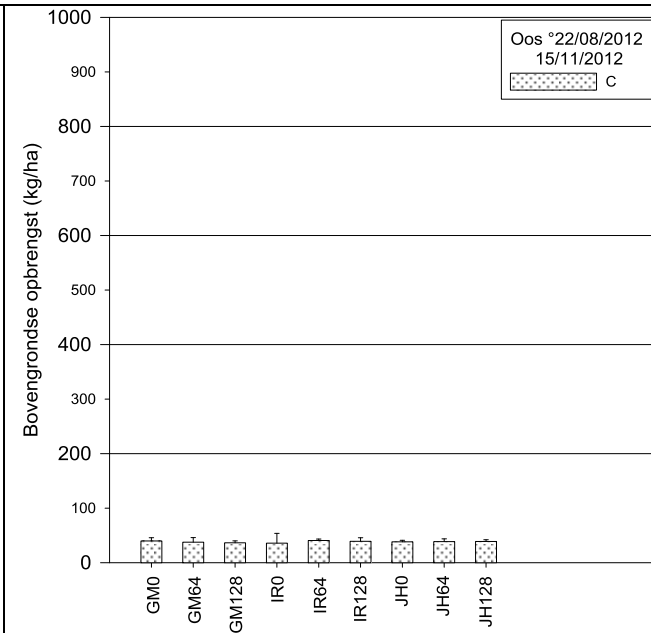
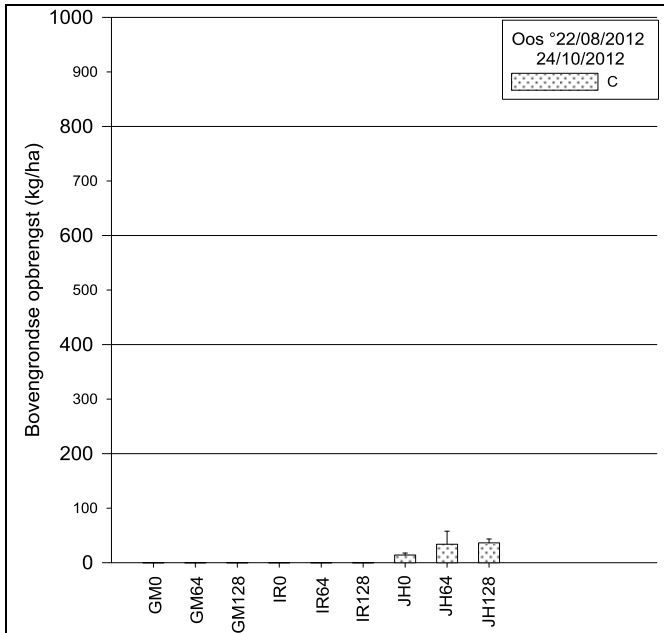
*2<sup>e</sup> zaai niet geoogst eind oktober omwille van zeer beperkte opkomst*



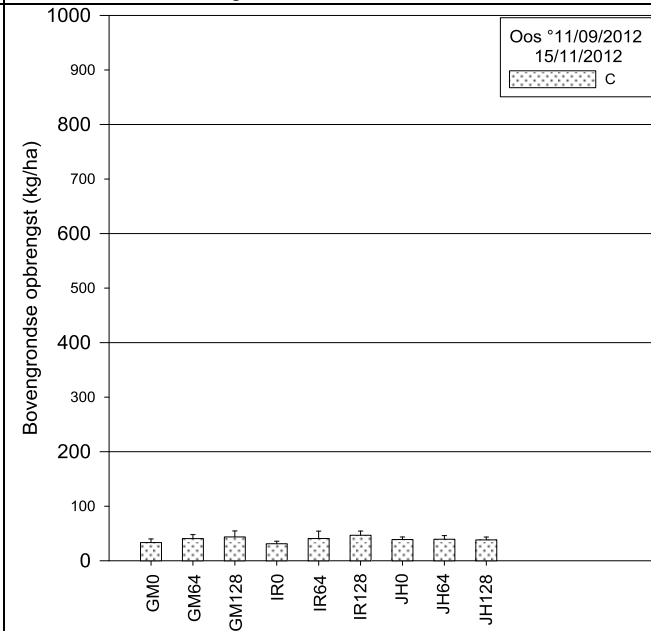
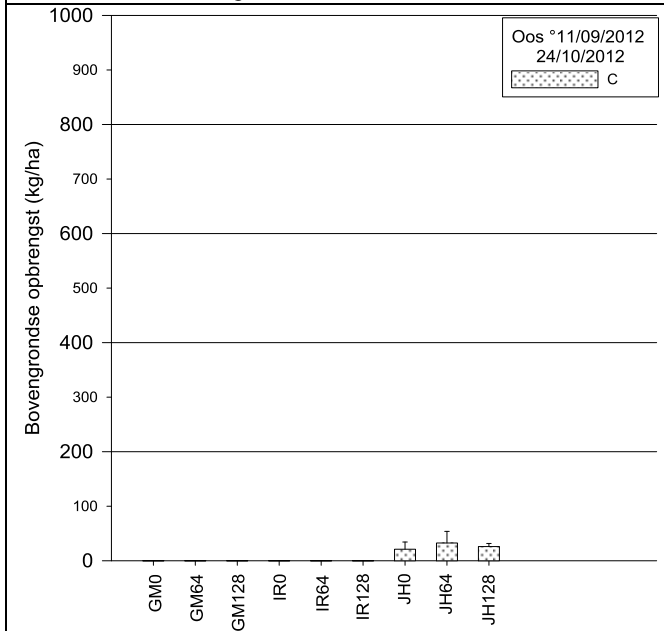
BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST MERELBEKE



BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST OOSTENDE

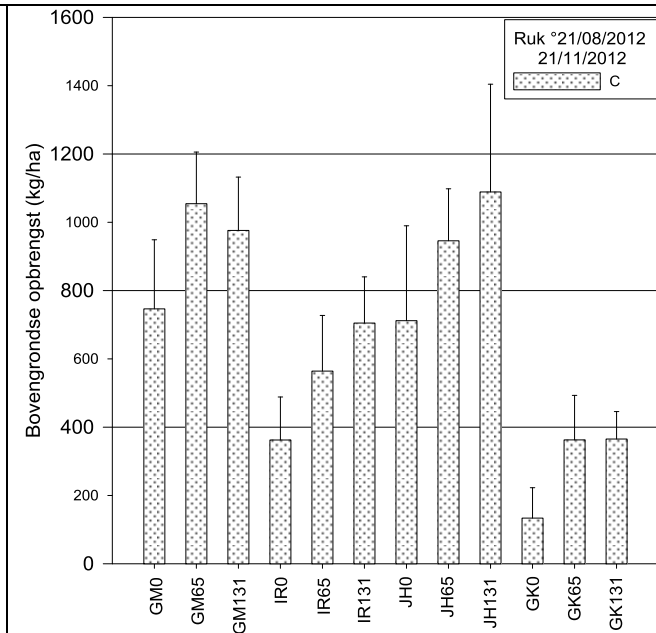
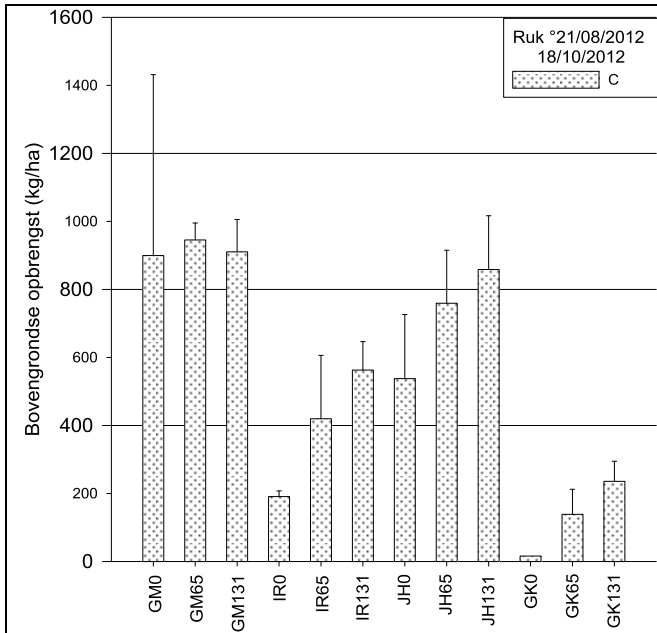


*De veggewassen werden ondergewerkt op 16 november 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*

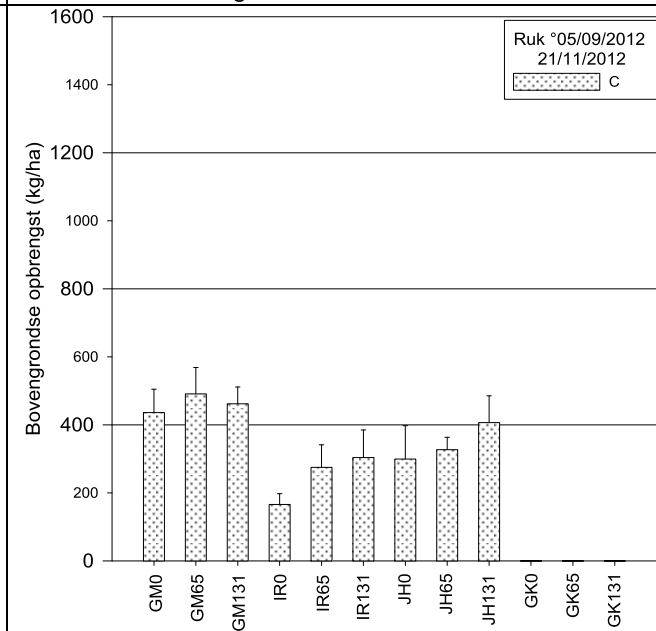
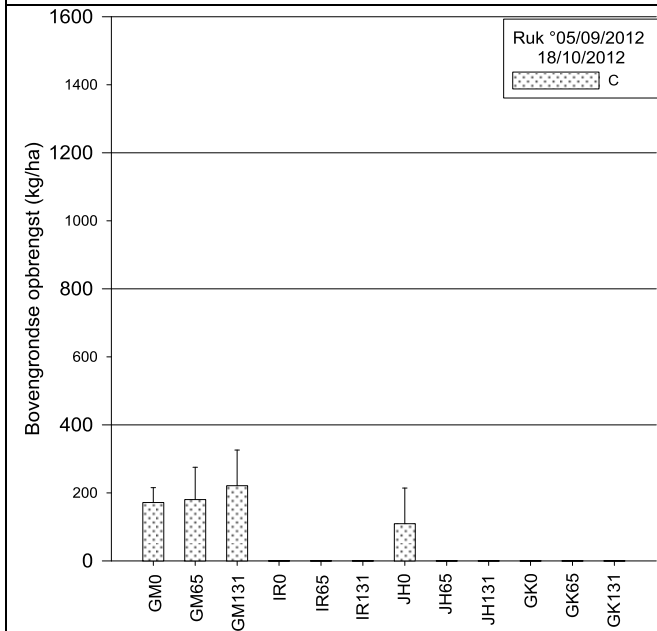


*De veggewassen werden ondergewerkt op 16 november 2012; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*

**BOVENGRONDSE KOOLSTOFOPBRENGST RUKKELINGEN-LOON**



*De vanggewassen werden geklepeld op 1 december 2012 en ondergewerkt op 12 januari 2013; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*



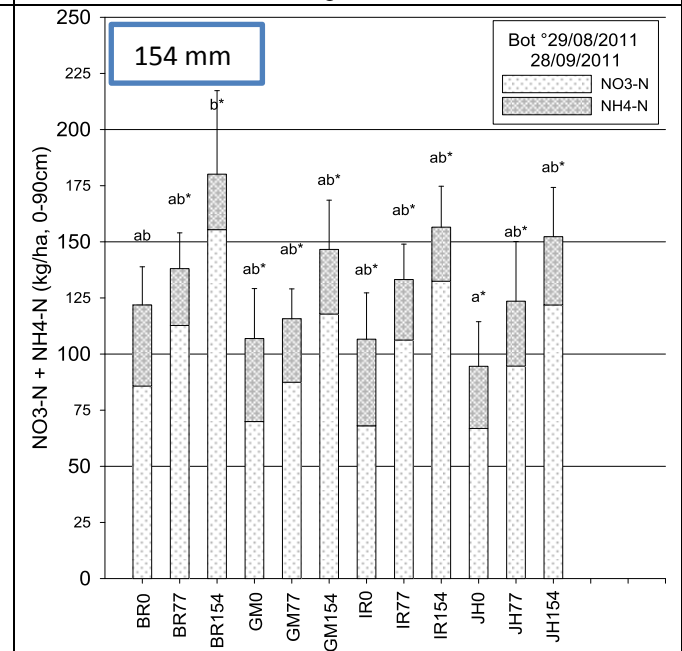
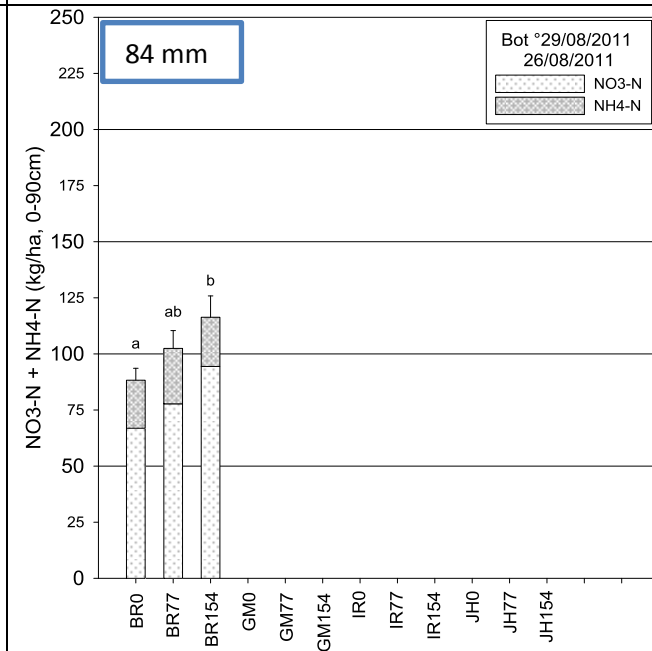
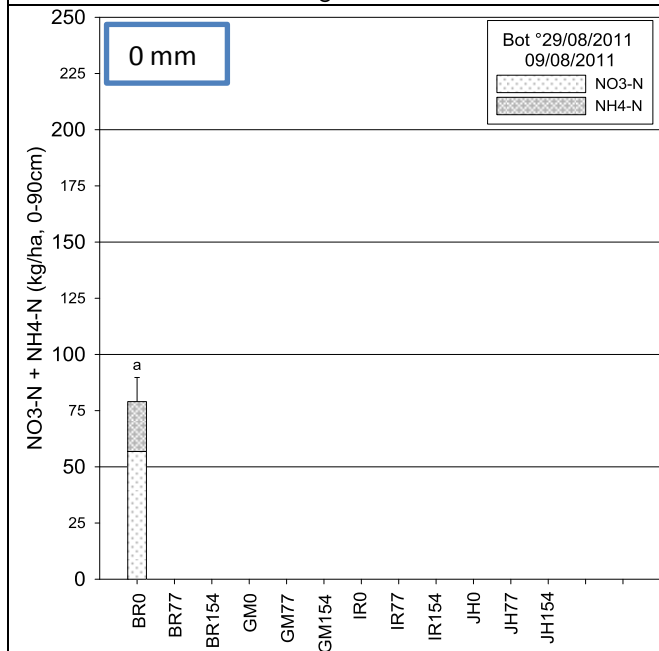
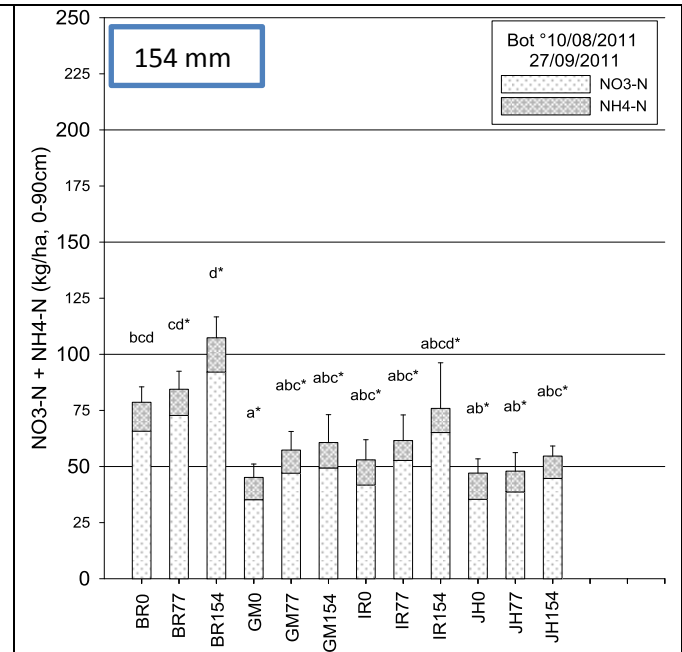
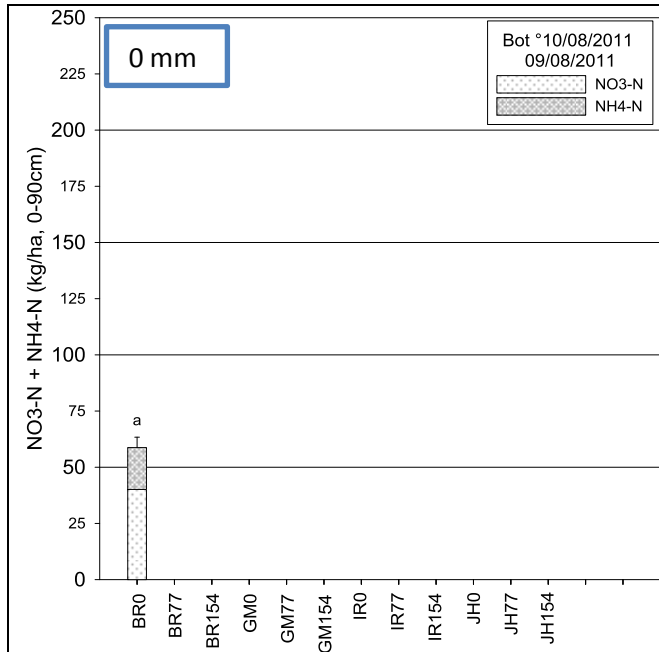
*De vanggewassen werden geklepeld op 1 december 2012 en ondergewerkt op 12 januari 2013; er werd geen voorjaarsoogst meer uitgevoerd.*

MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE

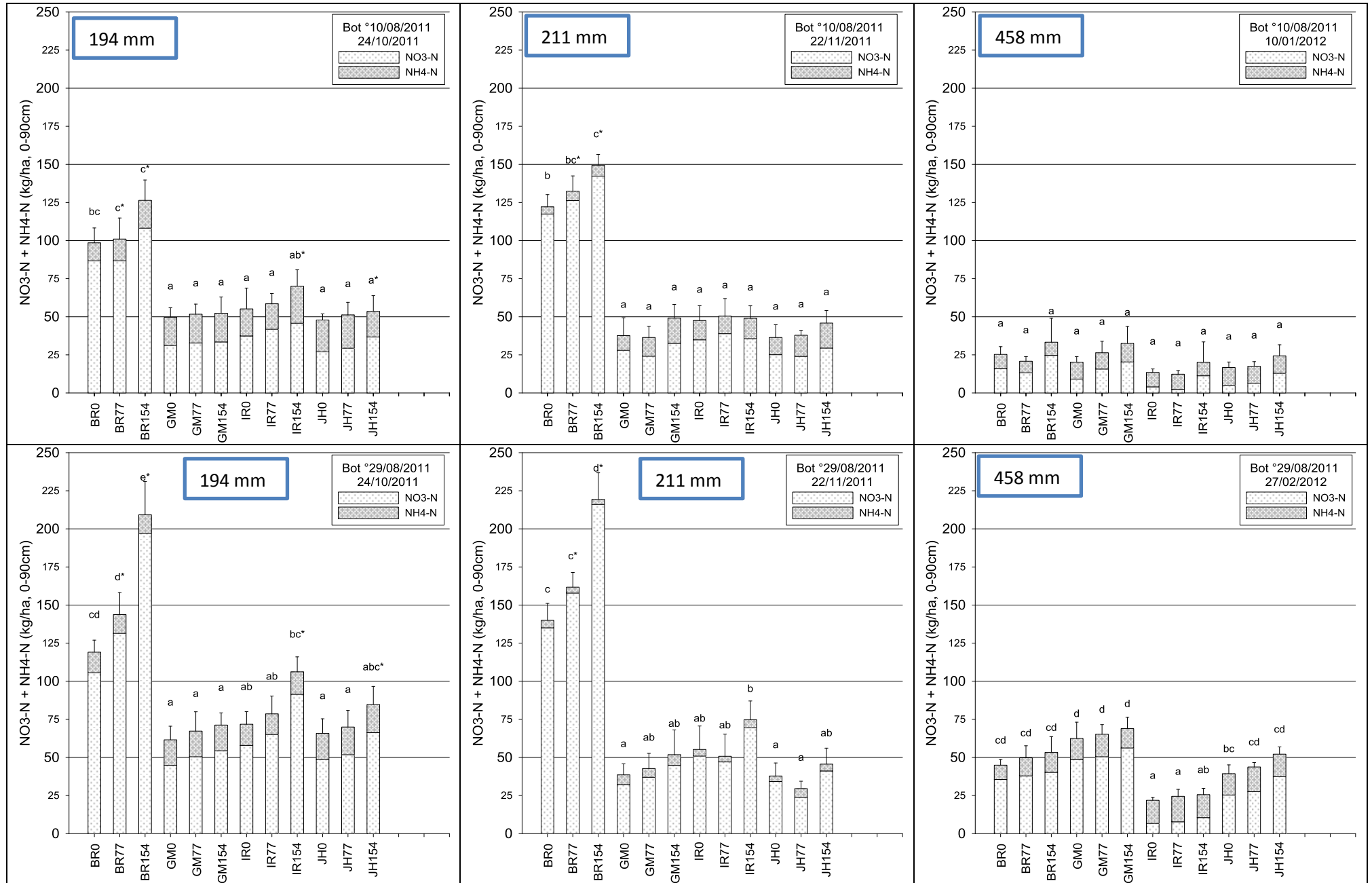
**Bottelare  
HOAGENT**

Lemig zand / licht zandleem  
1<sup>e</sup> zaai: °10/08/2011  
2<sup>e</sup> zaai: °29/08/2011

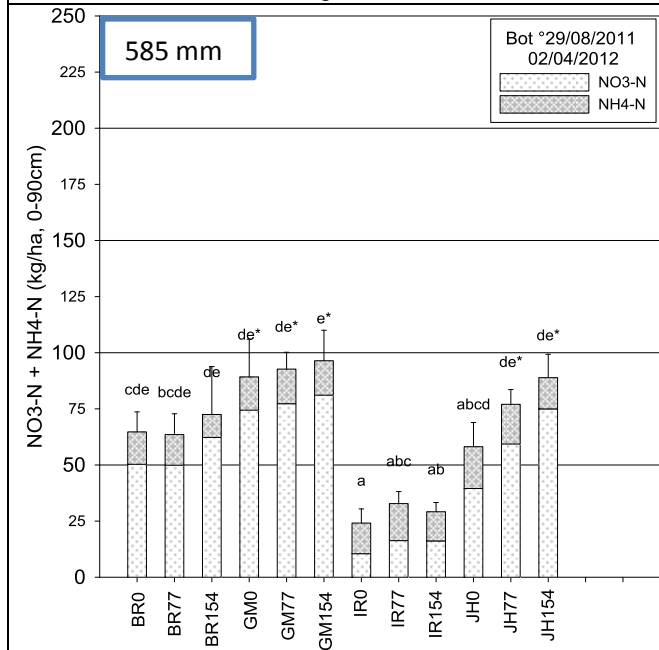
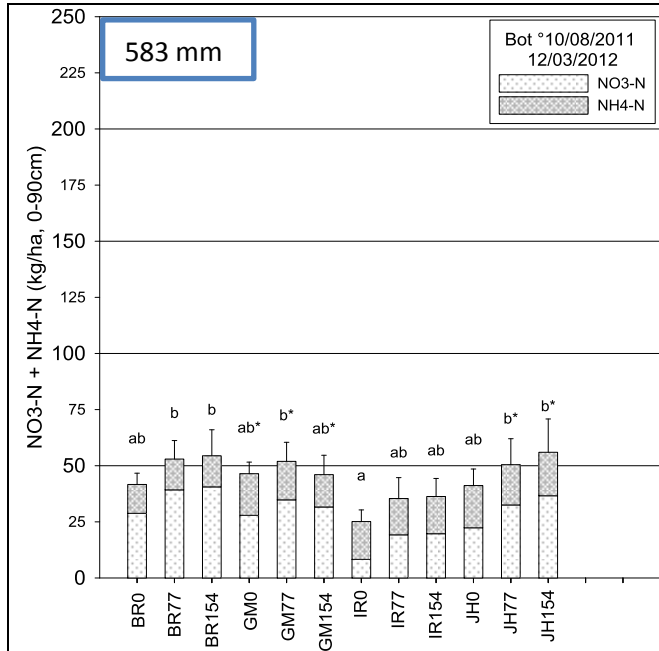
*Noot: de 2 zaaitijdstippen werden aangelegd op  
2 verschillende percelen*



MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE



MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE

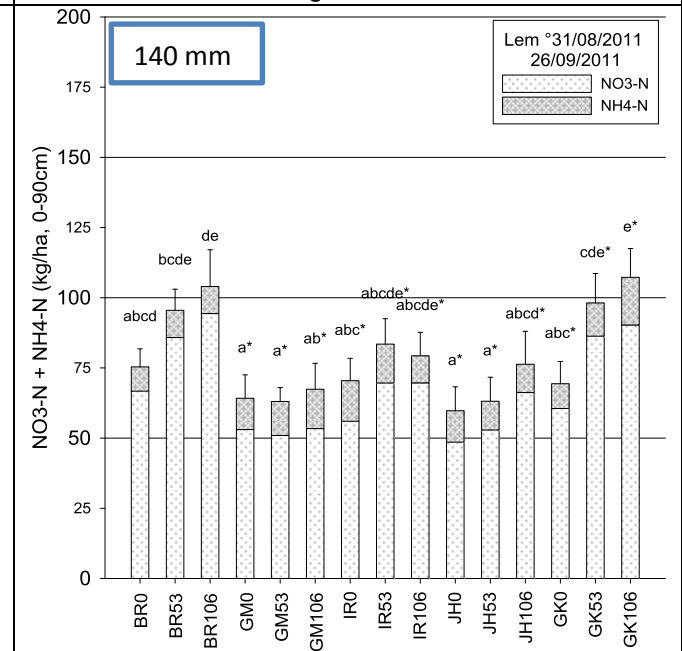
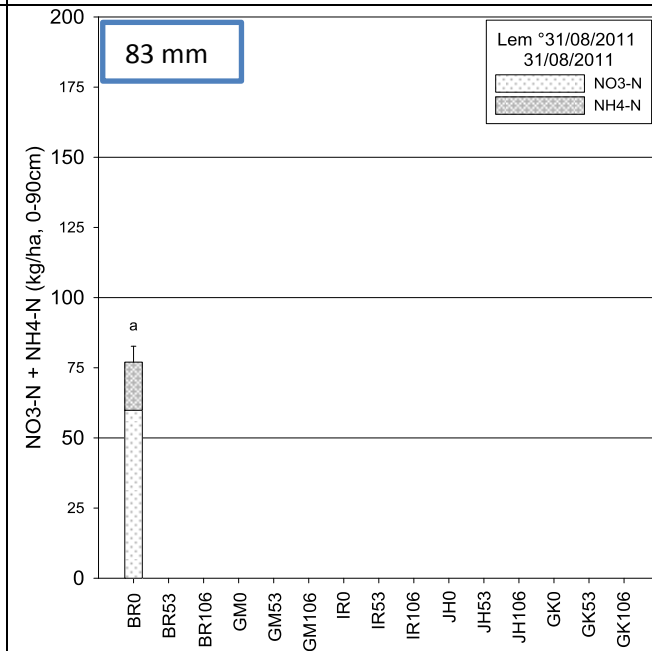
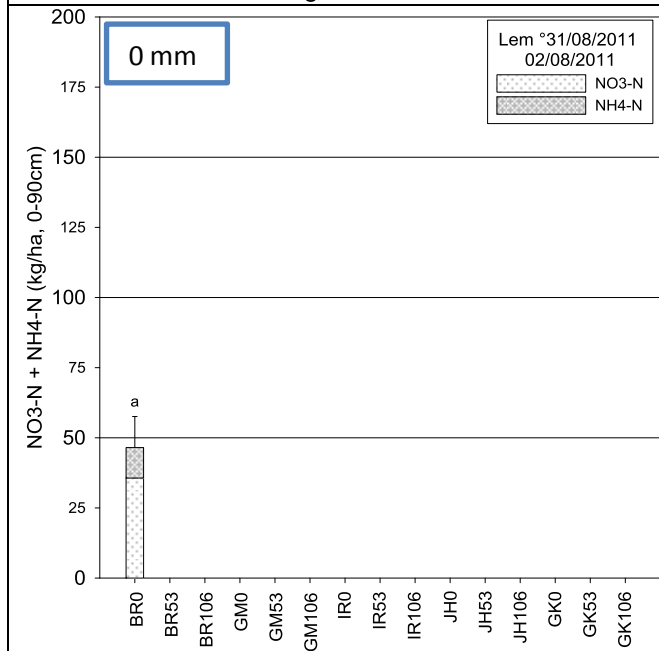
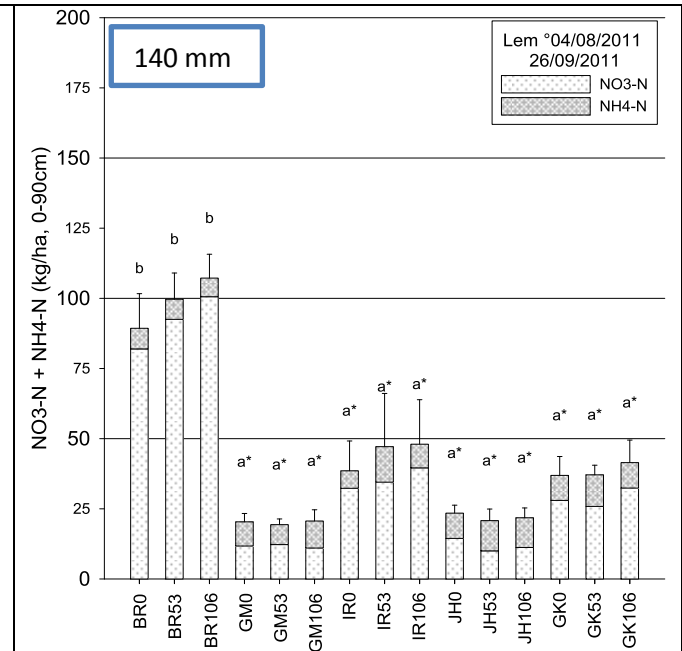
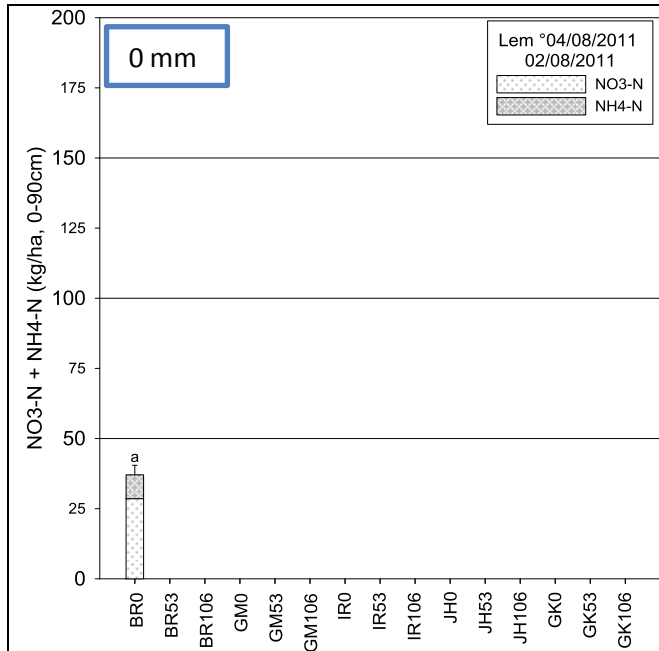




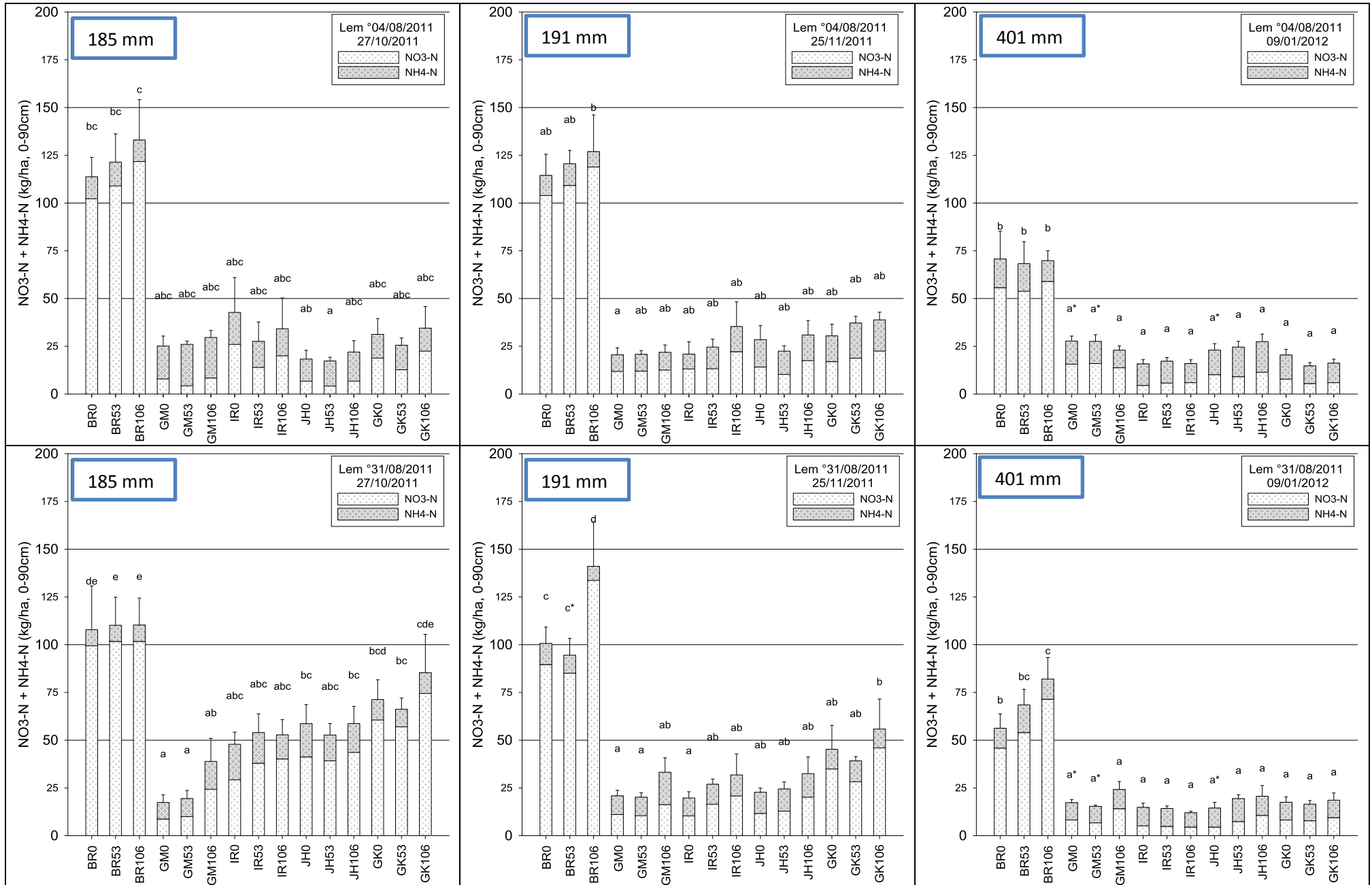
MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE

Lemberge  
ILVO

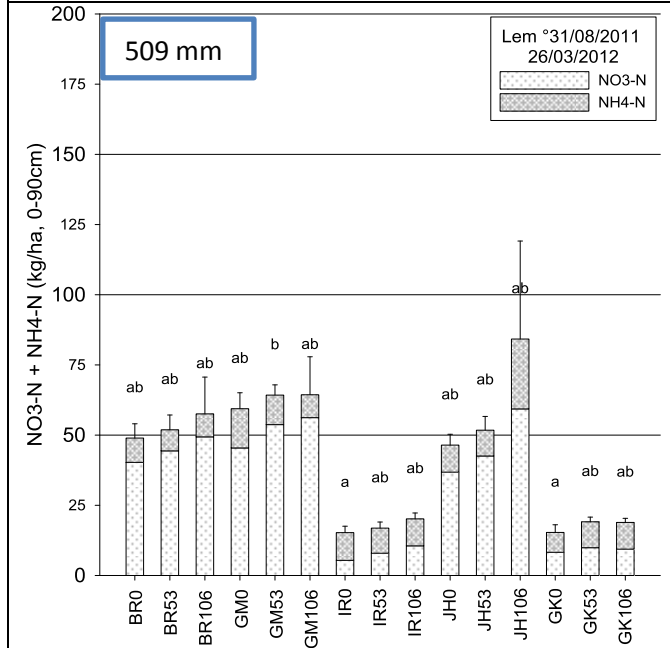
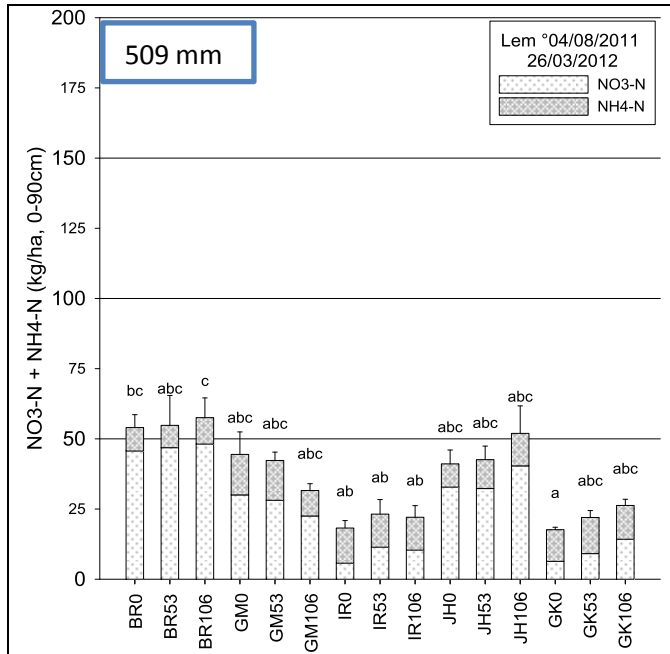
Zandleem  
1<sup>e</sup> zaai: °04/08/2011  
2<sup>e</sup> zaai: °31/08/2011



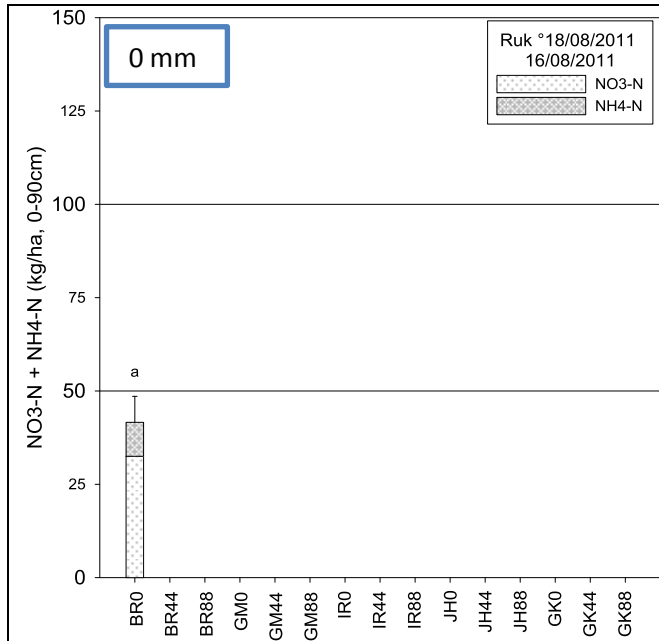
MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE



MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE

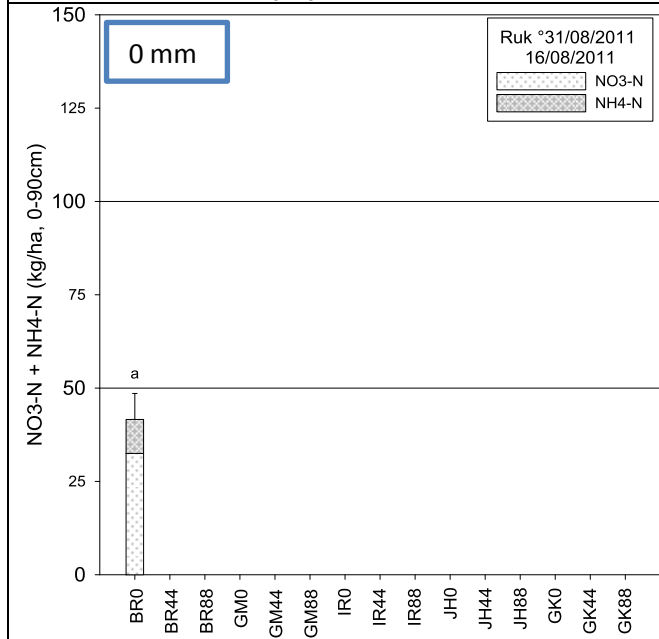
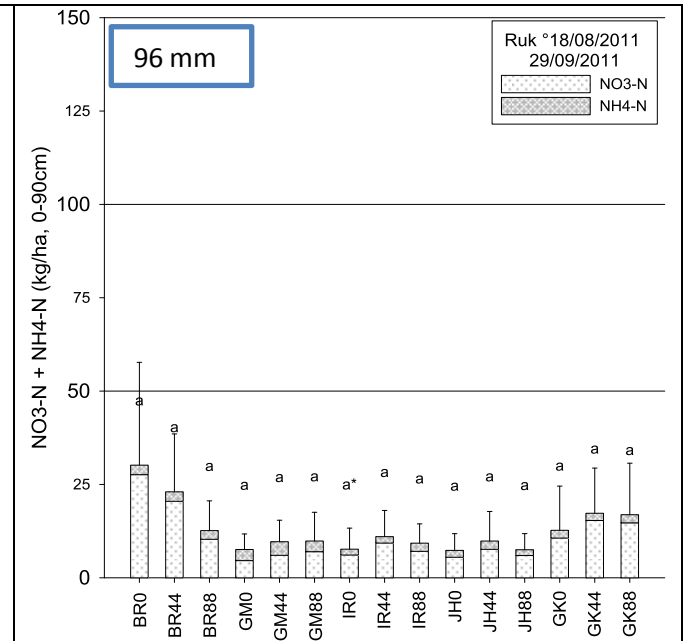


MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON

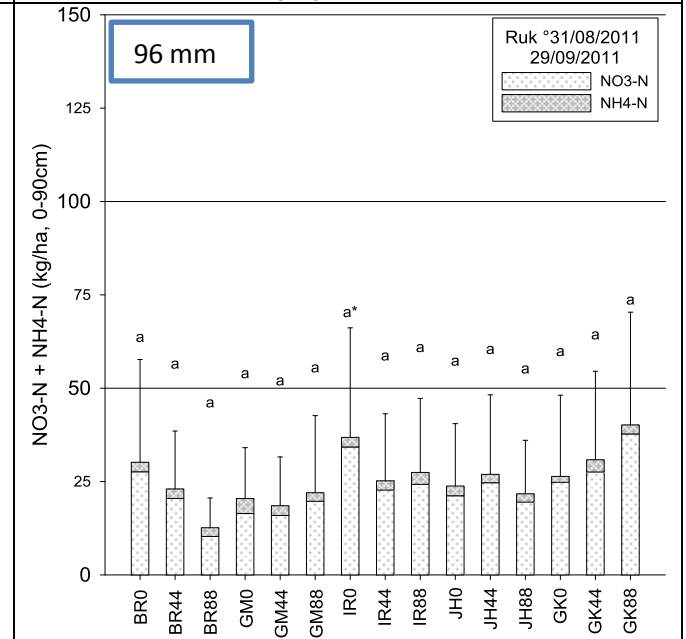


**Rukkelingen-Loon**  
**BDB**

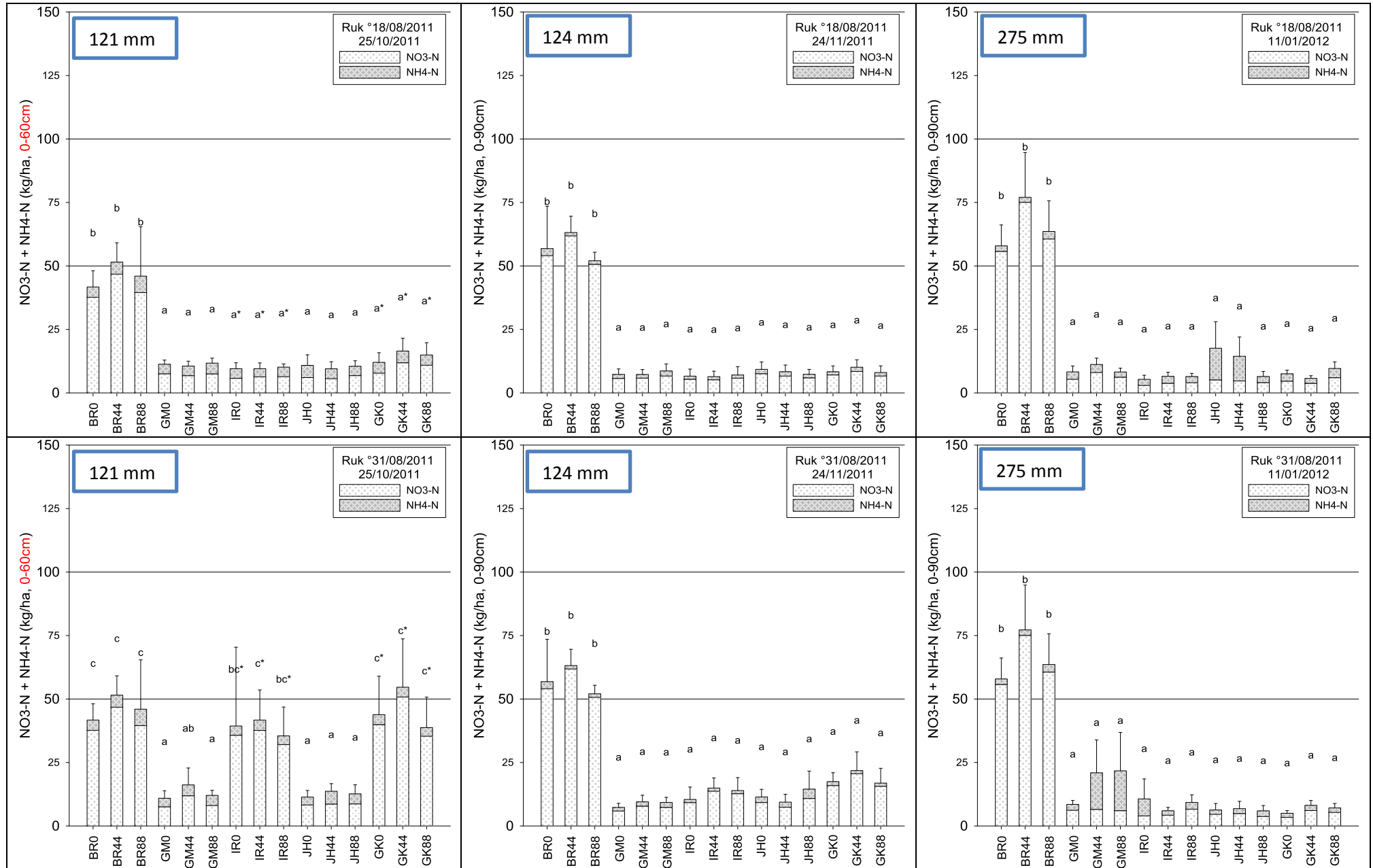
Zwaar leem  
1<sup>e</sup> zaai: °18/08/2011  
2<sup>e</sup> zaai: °31/08/2011



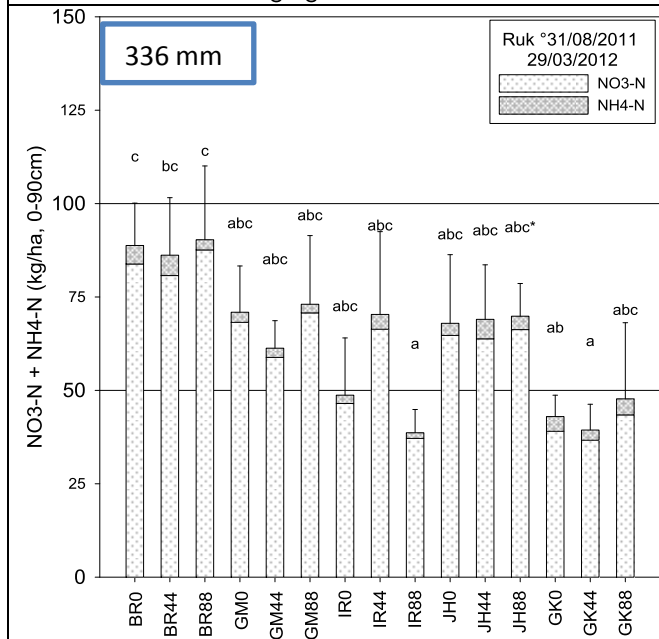
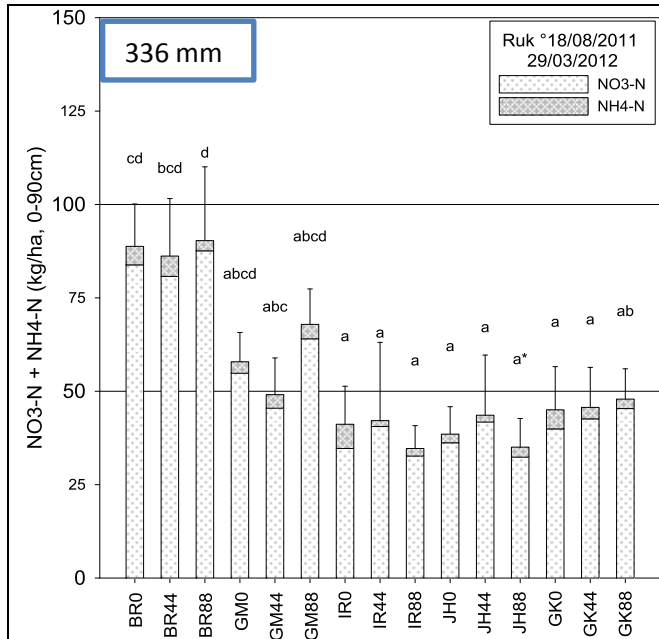
*Er werd geen aanvullend staal genomen eind augustus.*



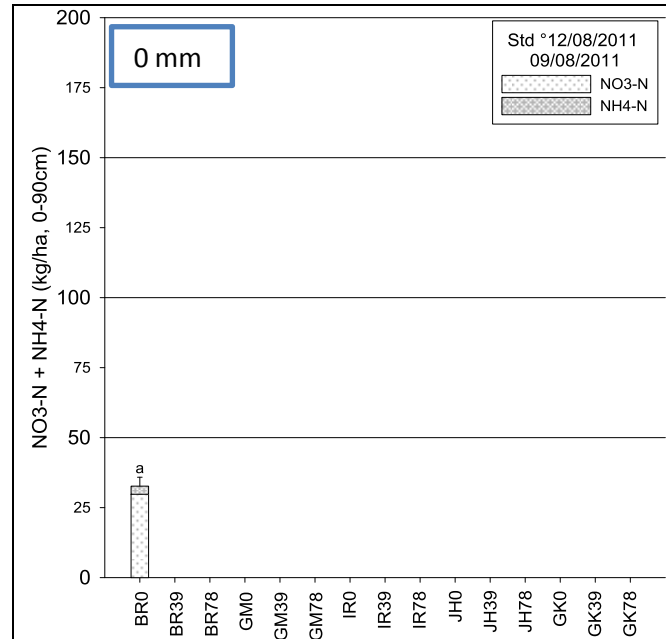
MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON



MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON

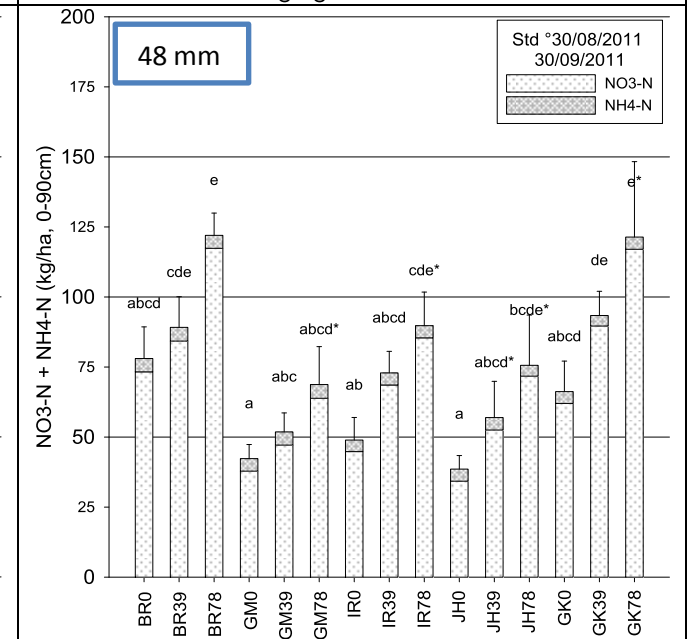
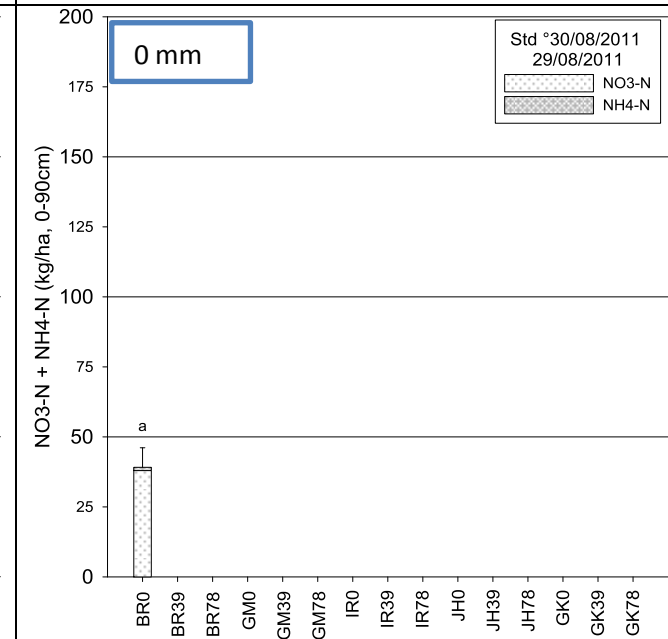
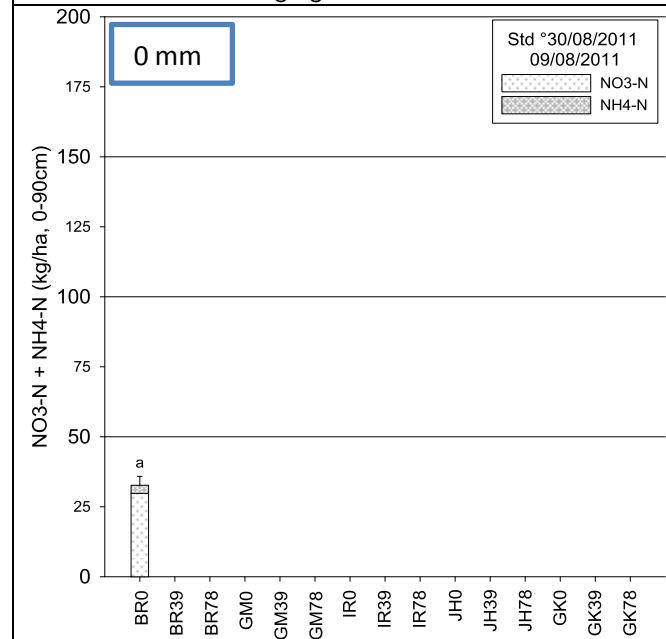
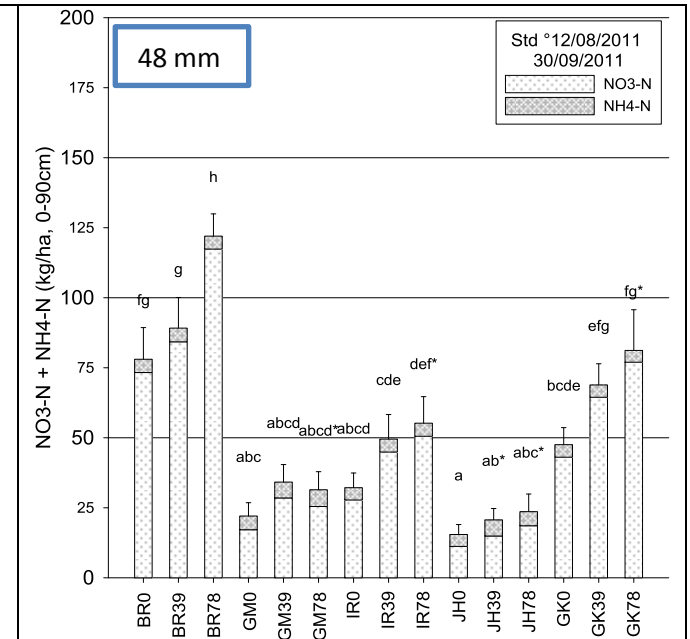


MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS

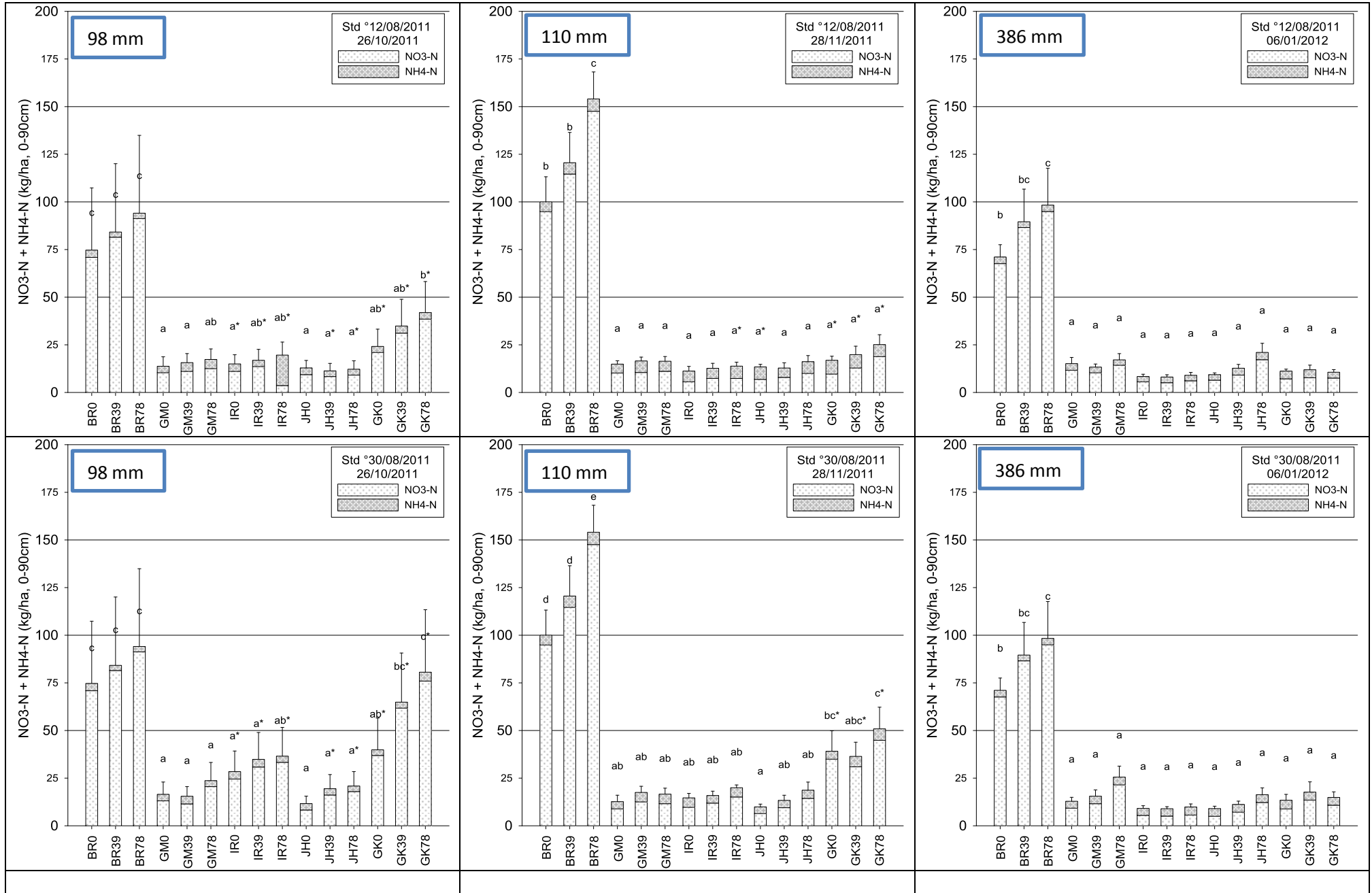


**Sint-Denijs  
INAGRO**

Licht leem  
1<sup>e</sup> zaai: °12/08/2011  
2<sup>e</sup> zaai: °30/08/2011

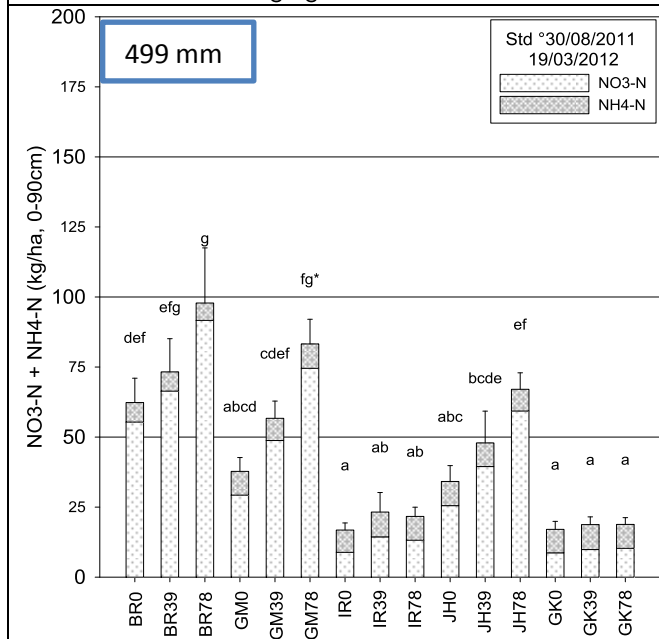
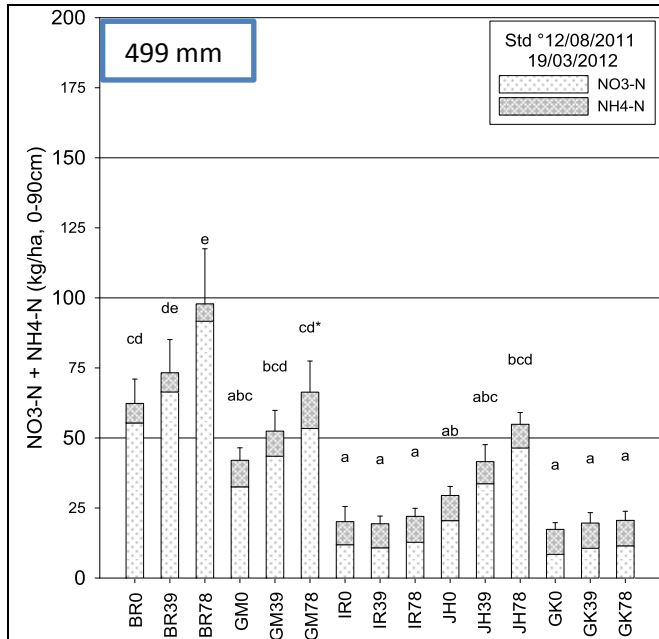


MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS





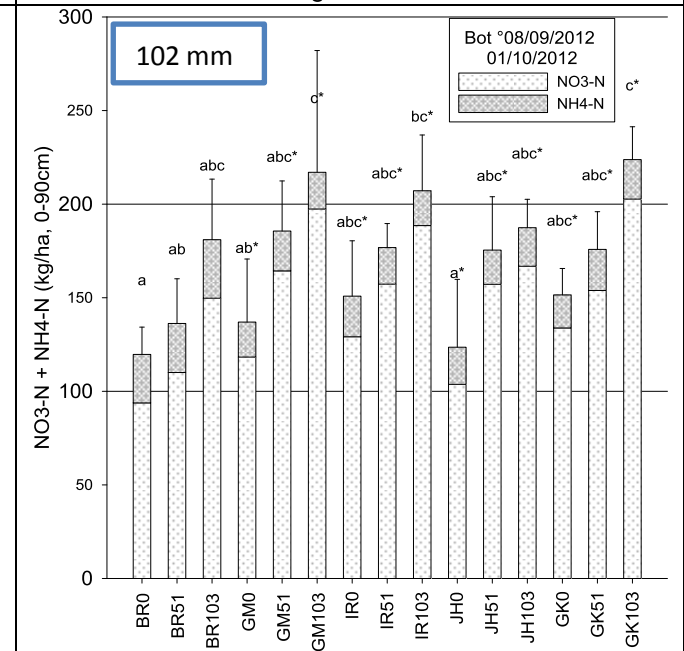
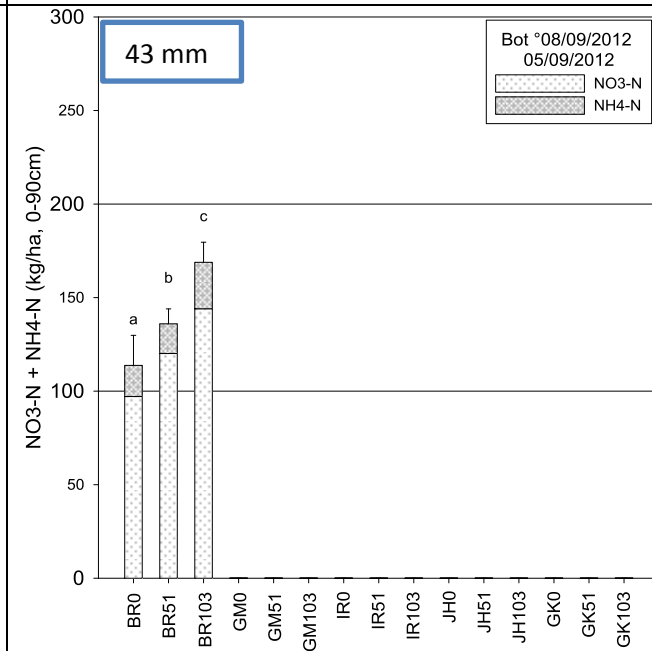
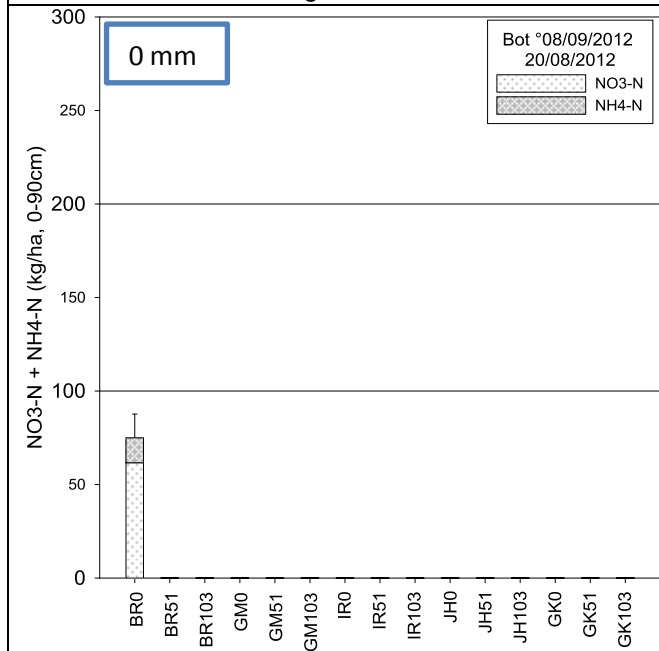
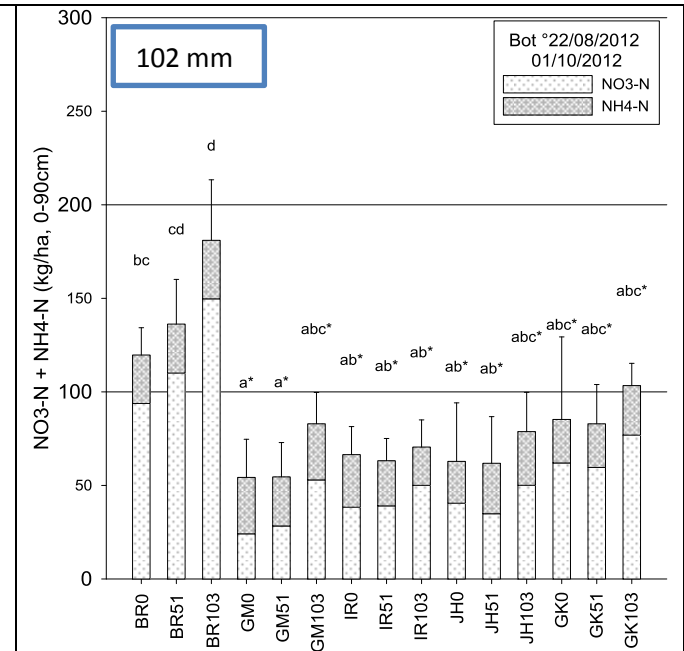
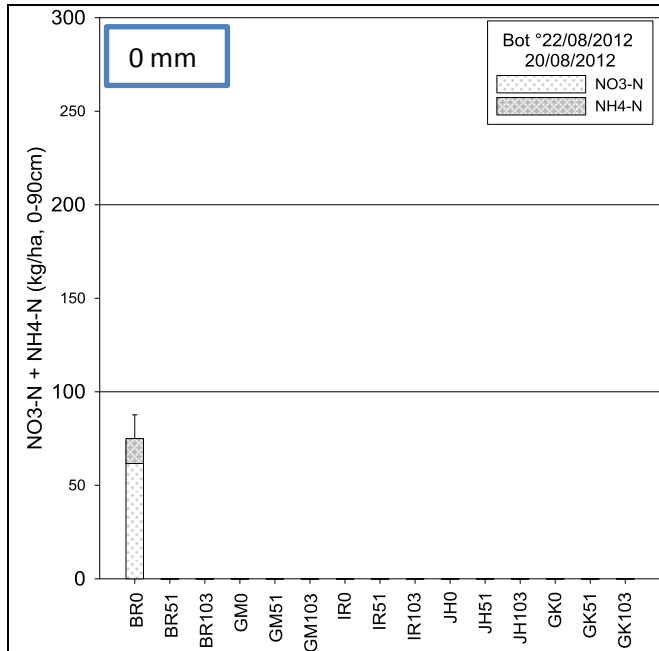
MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS



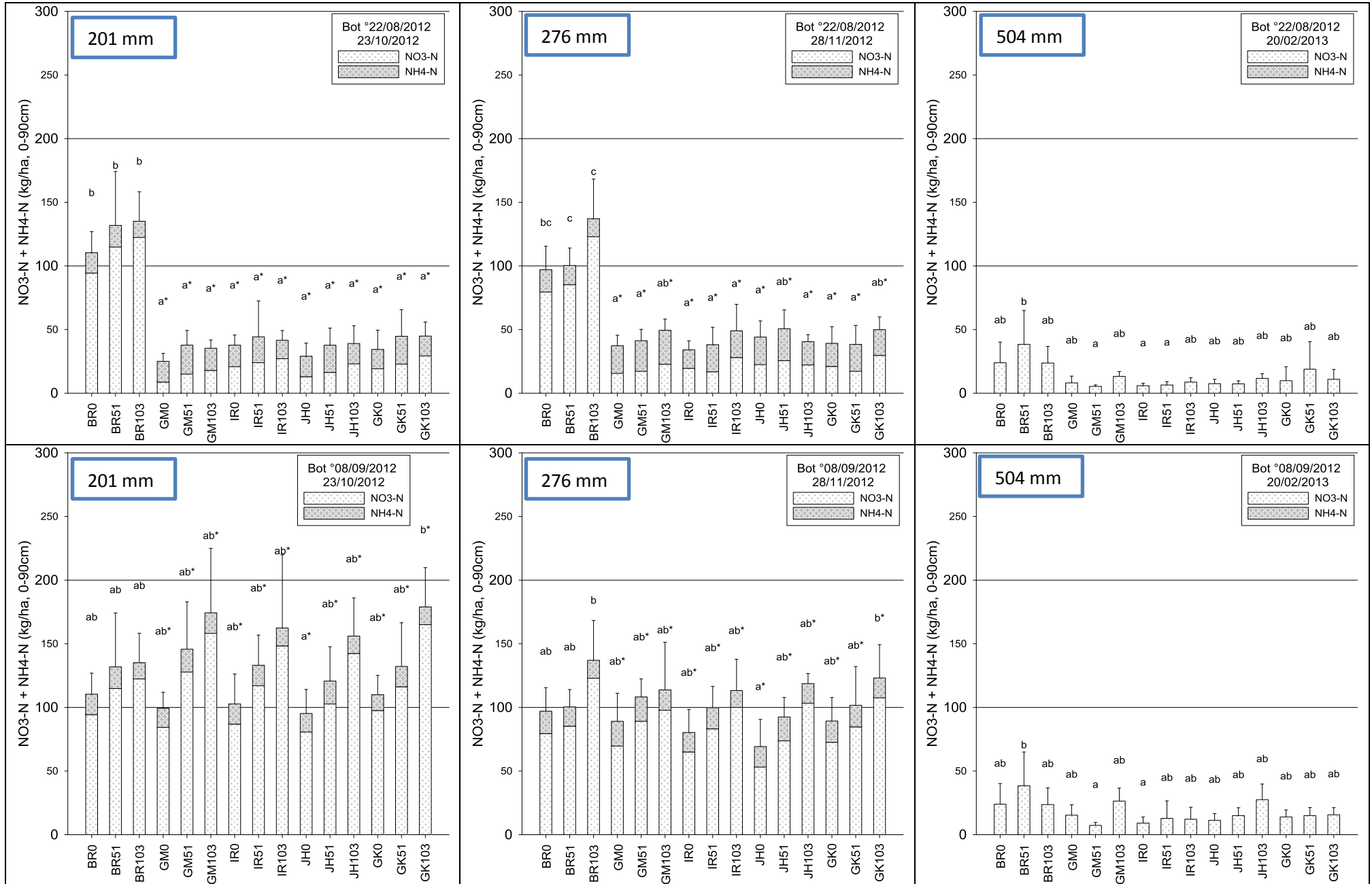
MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE

**Bottelare  
HOGENT**

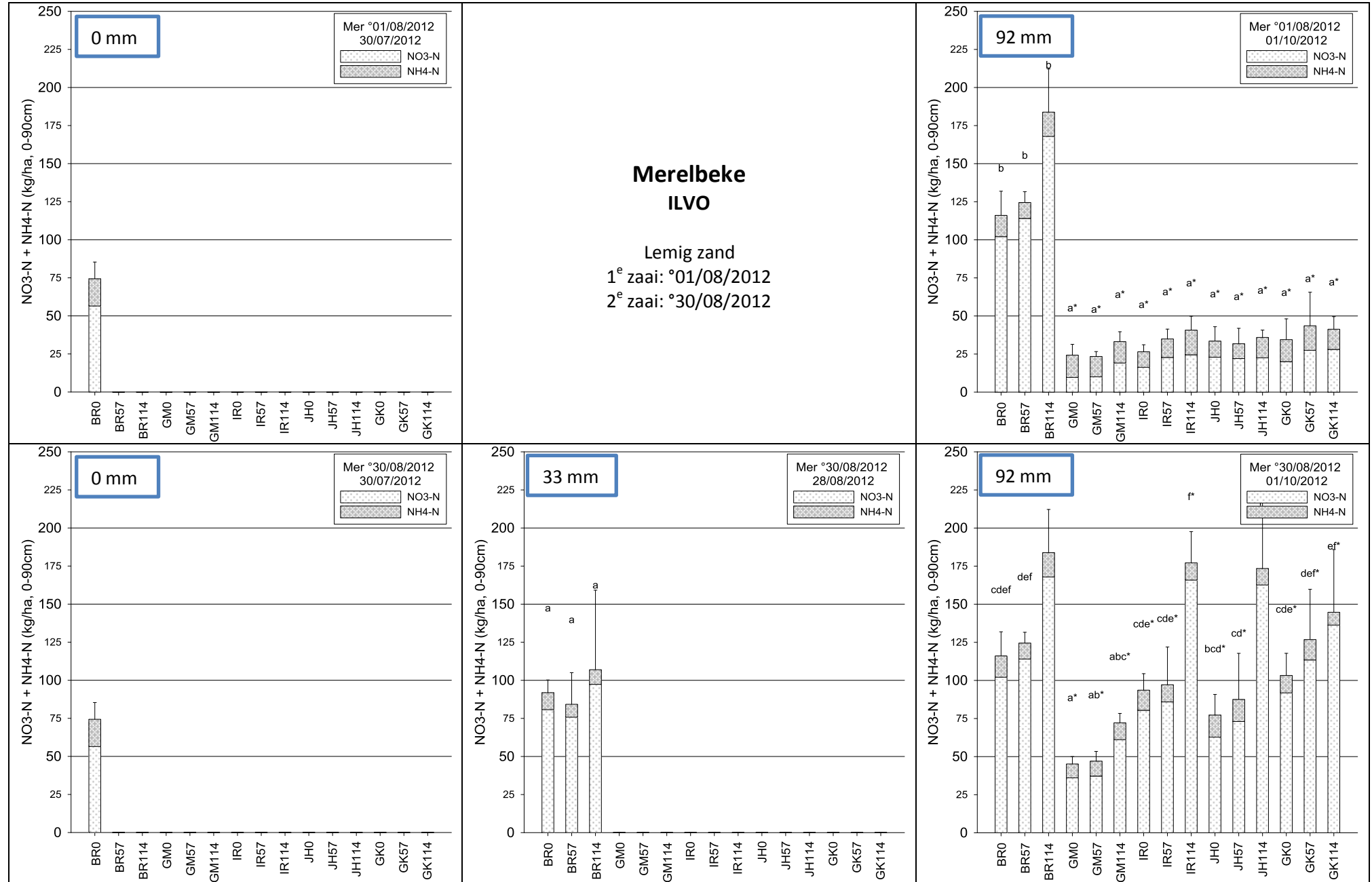
Lemig zand  
1<sup>e</sup> zaai: °22/08/2012  
2<sup>e</sup> zaai: °08/09/2012



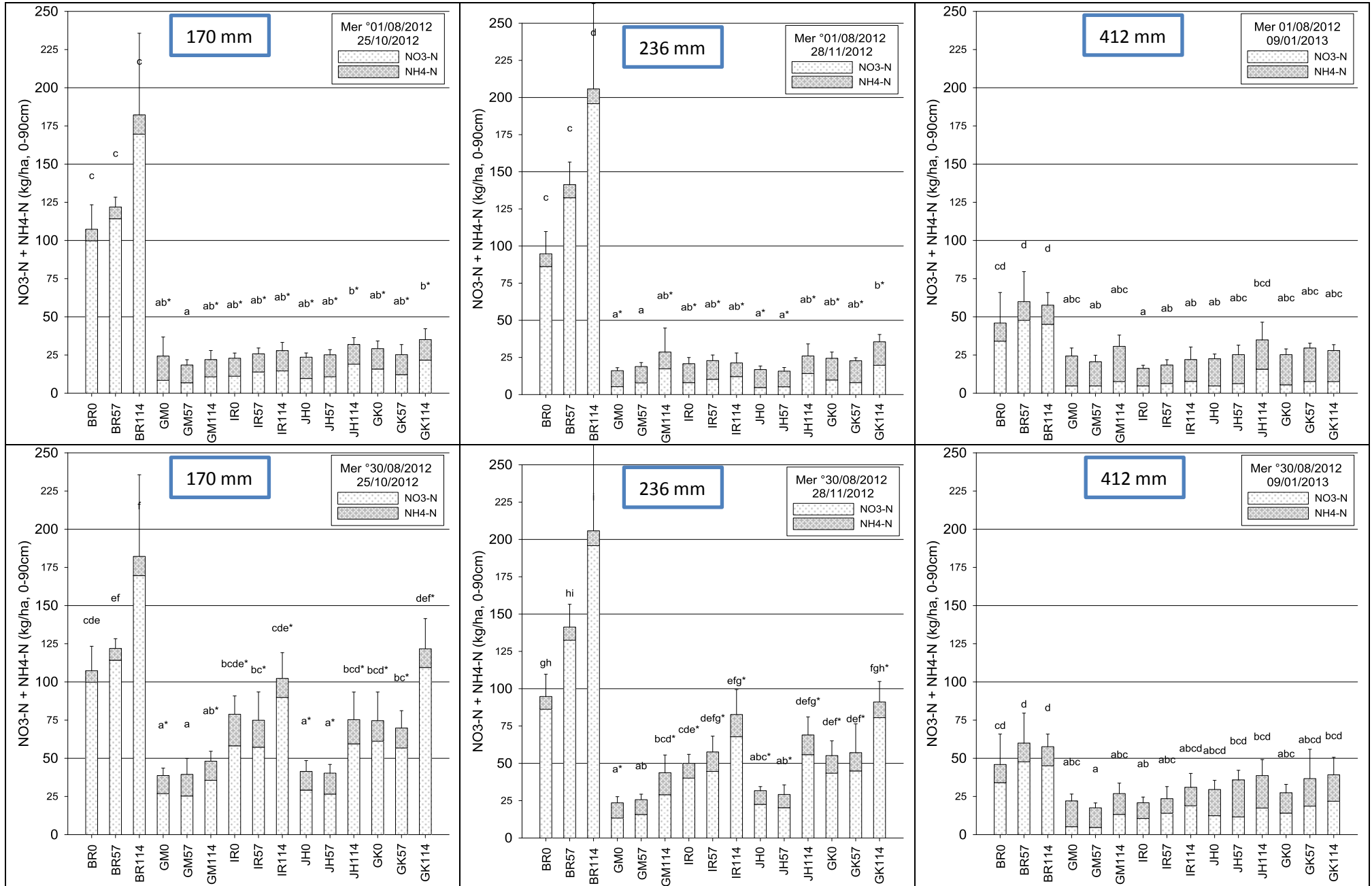
MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE



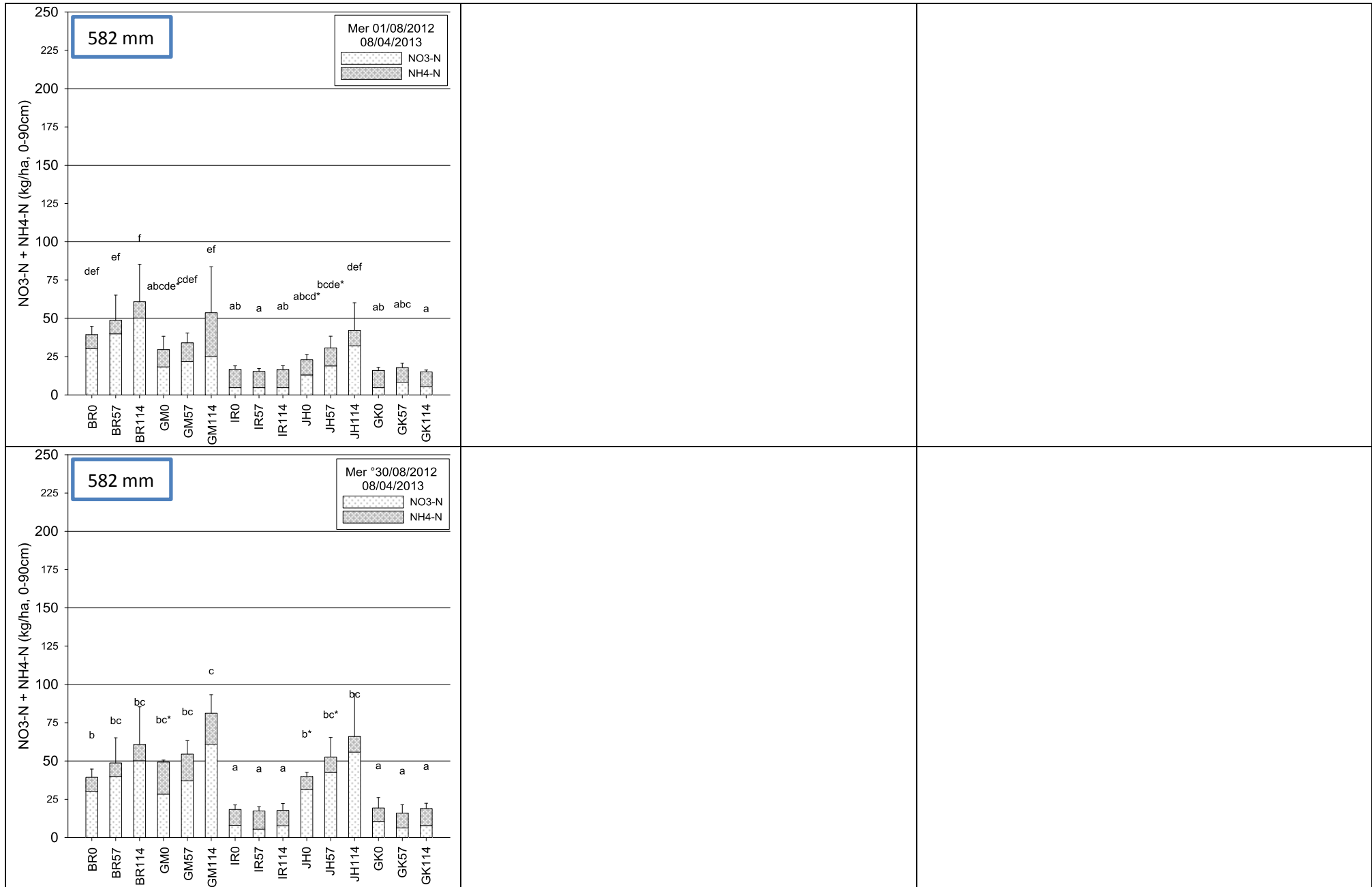
MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE



MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE



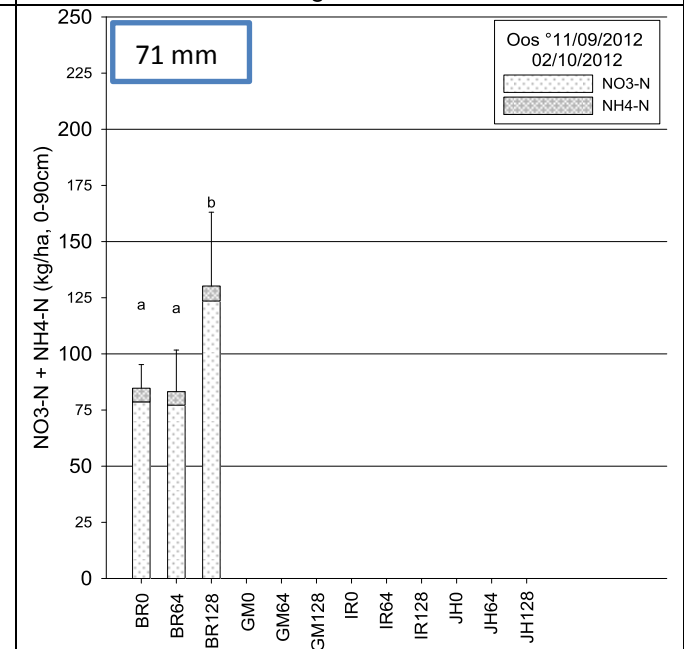
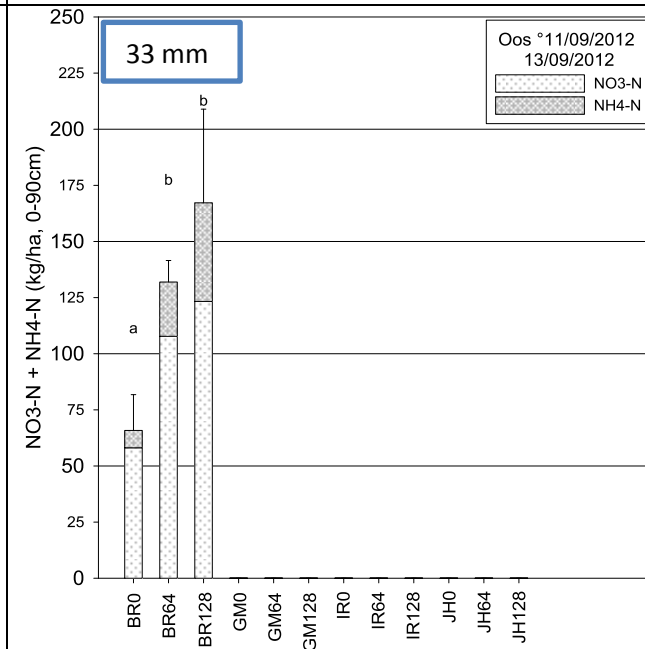
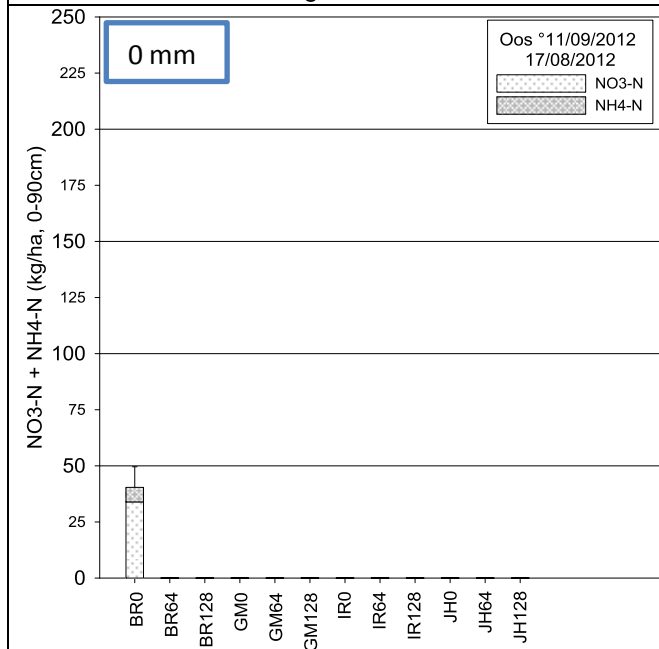
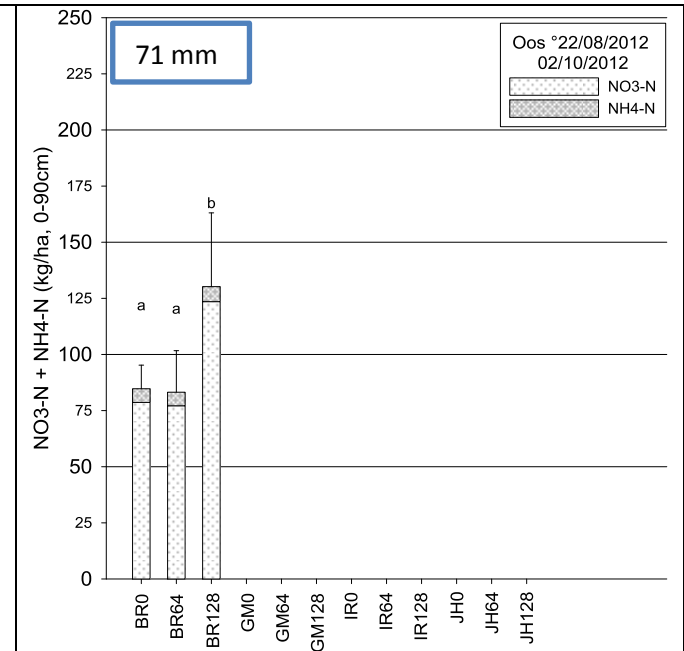
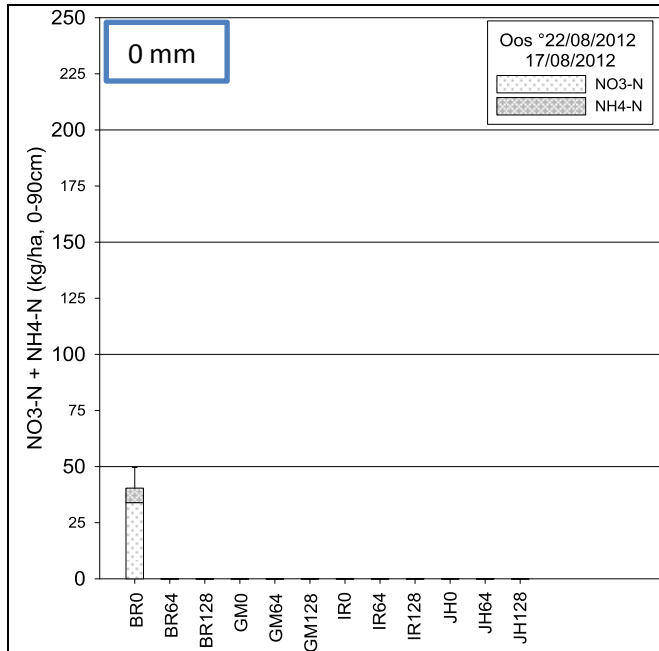
MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE



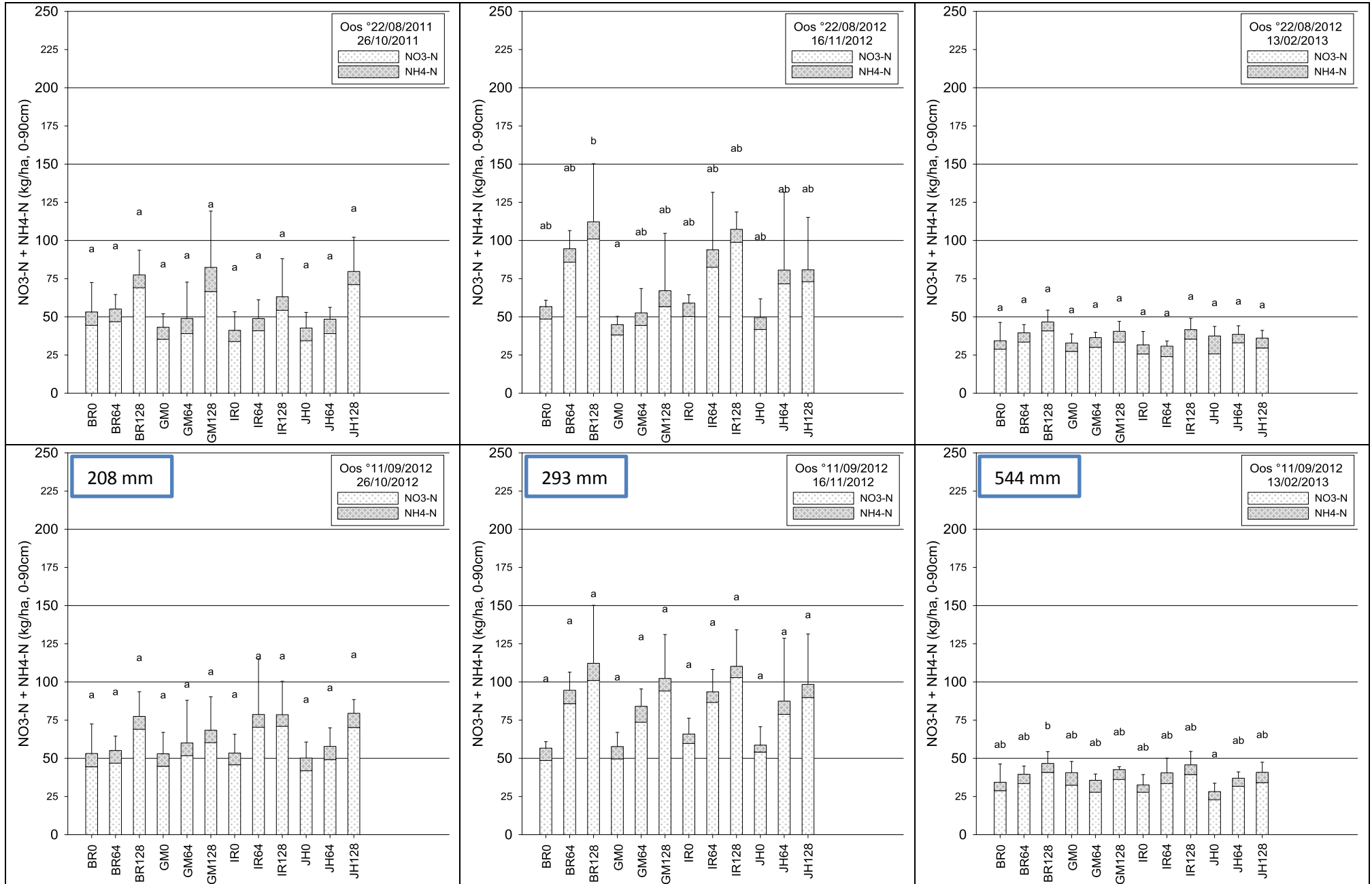
MINERALE BODEMSTIKSTOF OOSTENDE

Oostende  
INAGRO

Klei  
1<sup>e</sup> zaai: °22/08/2012  
2<sup>e</sup> zaai: °11/09/2012

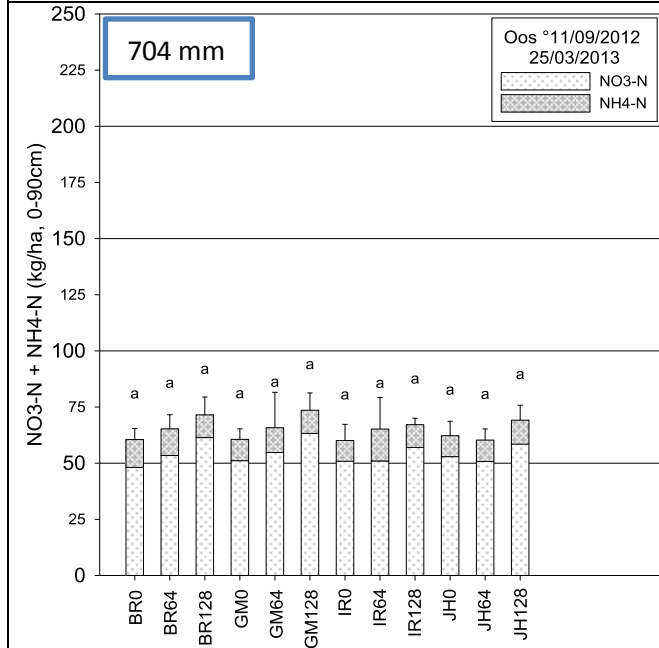
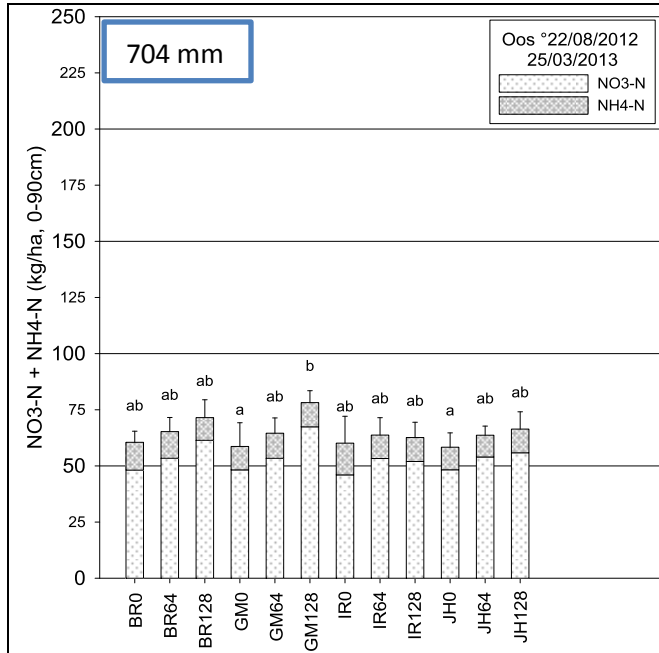


MINERALE BODEMSTIKSTOF OOSTENDE





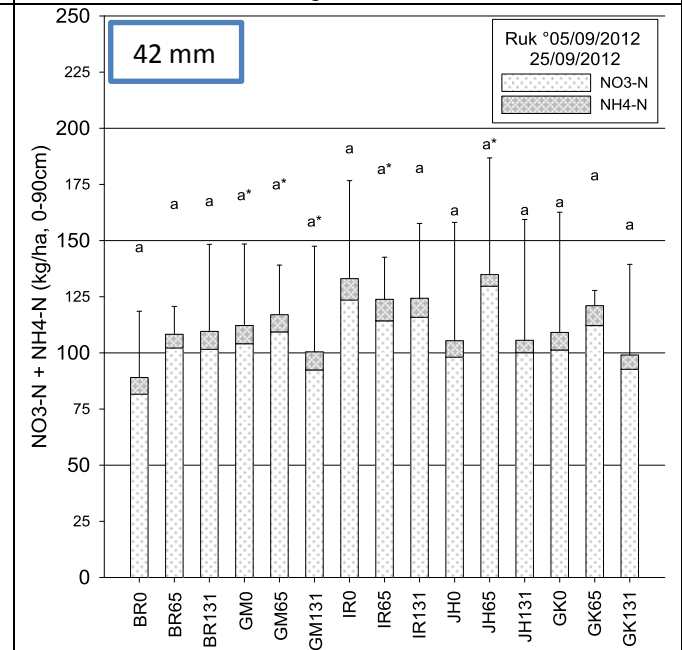
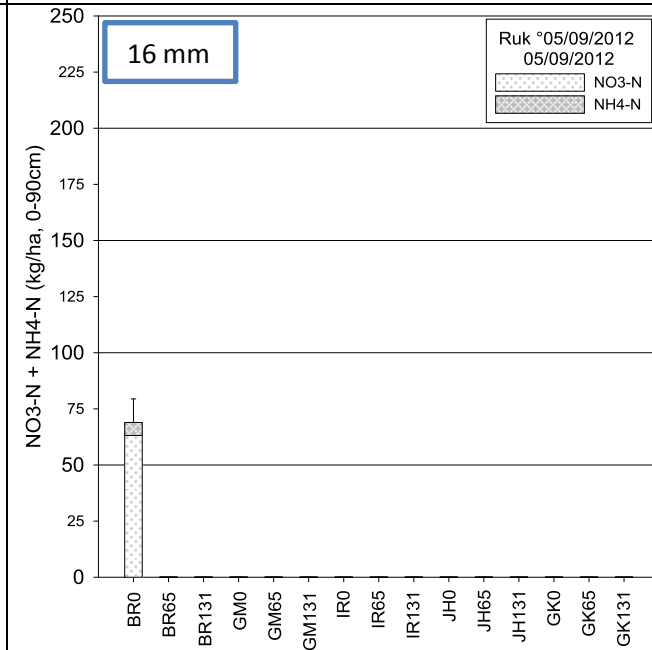
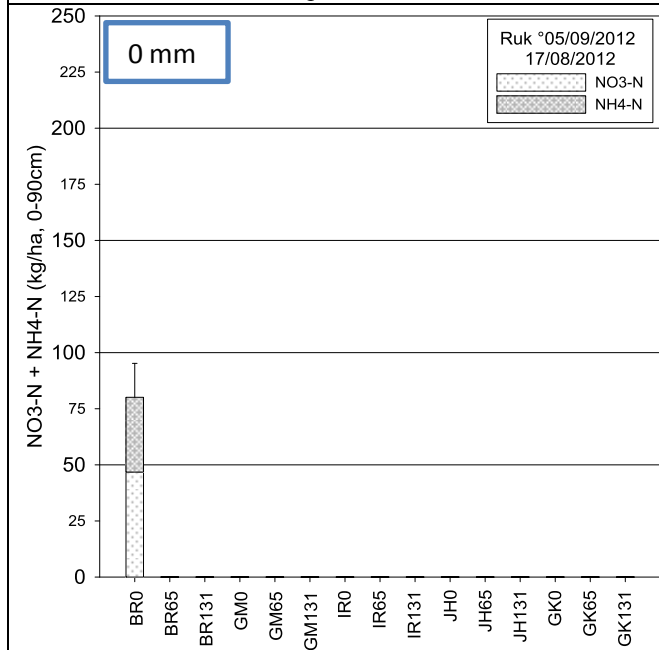
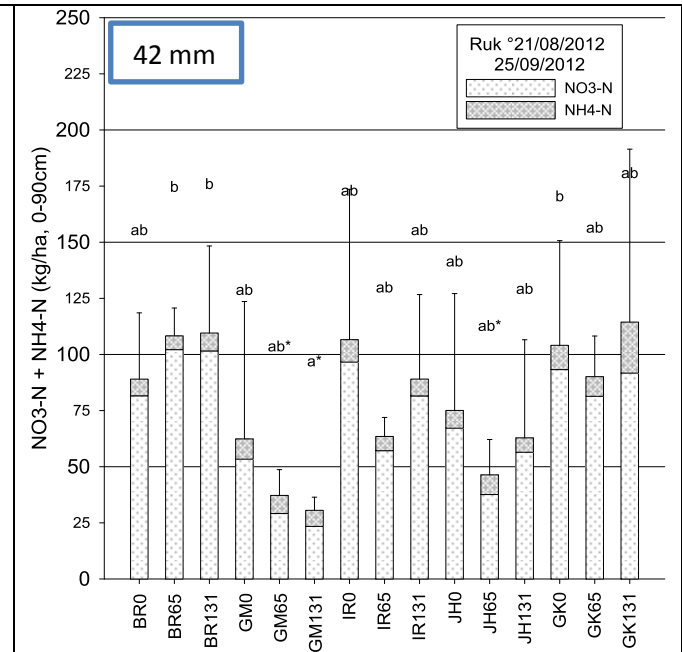
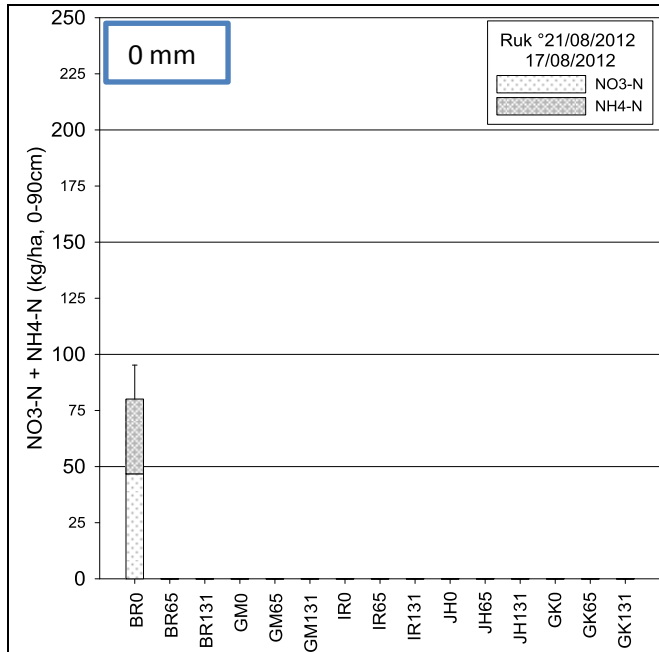
MINERALE BODEMSTIKSTOF OOSTENDE



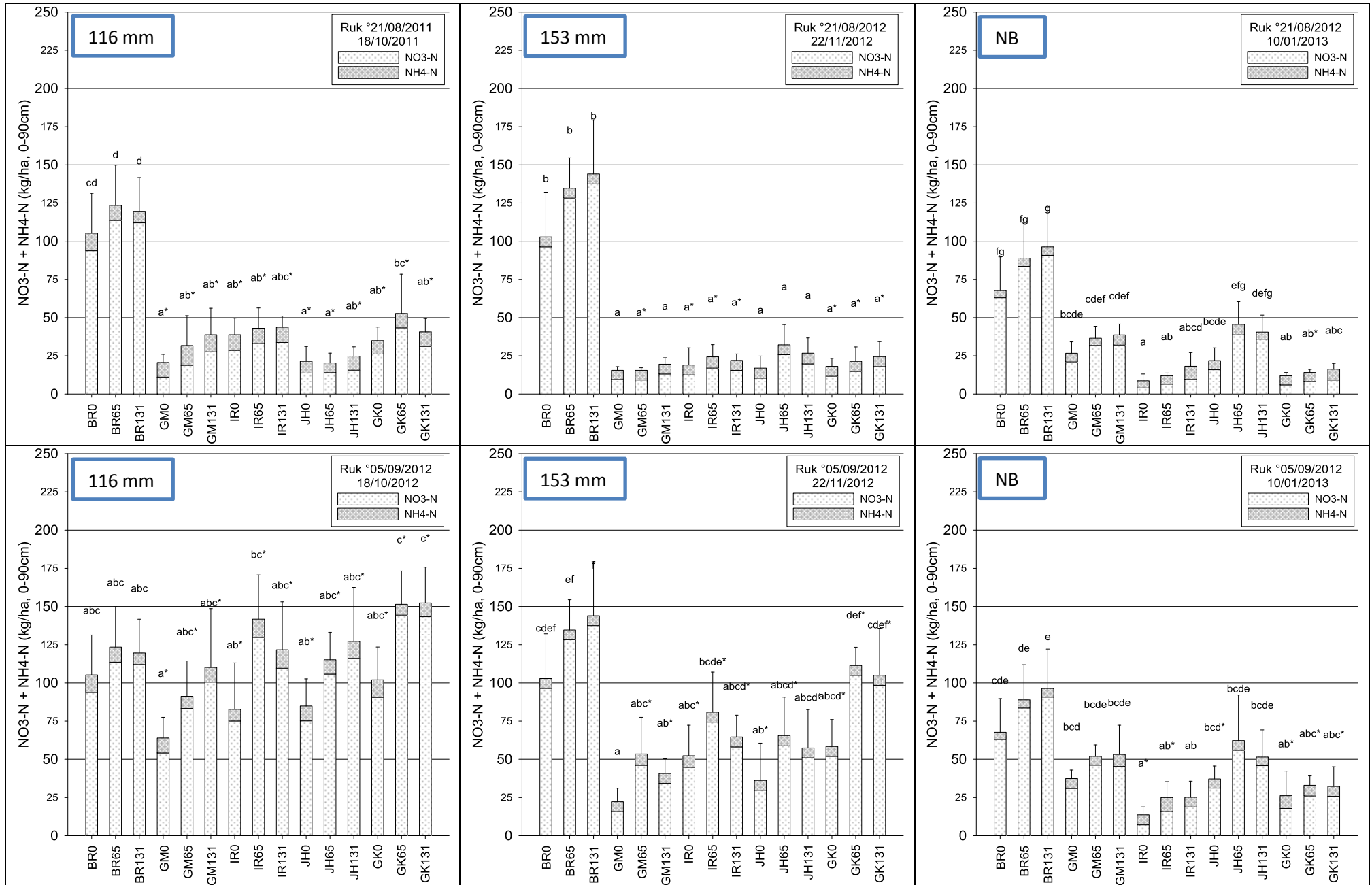
MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON

**Rukkelingen-Loon**  
**BDB**

Licht leem  
1<sup>e</sup> zaai: °21/08/2012  
2<sup>e</sup> zaai: °05/09/2012



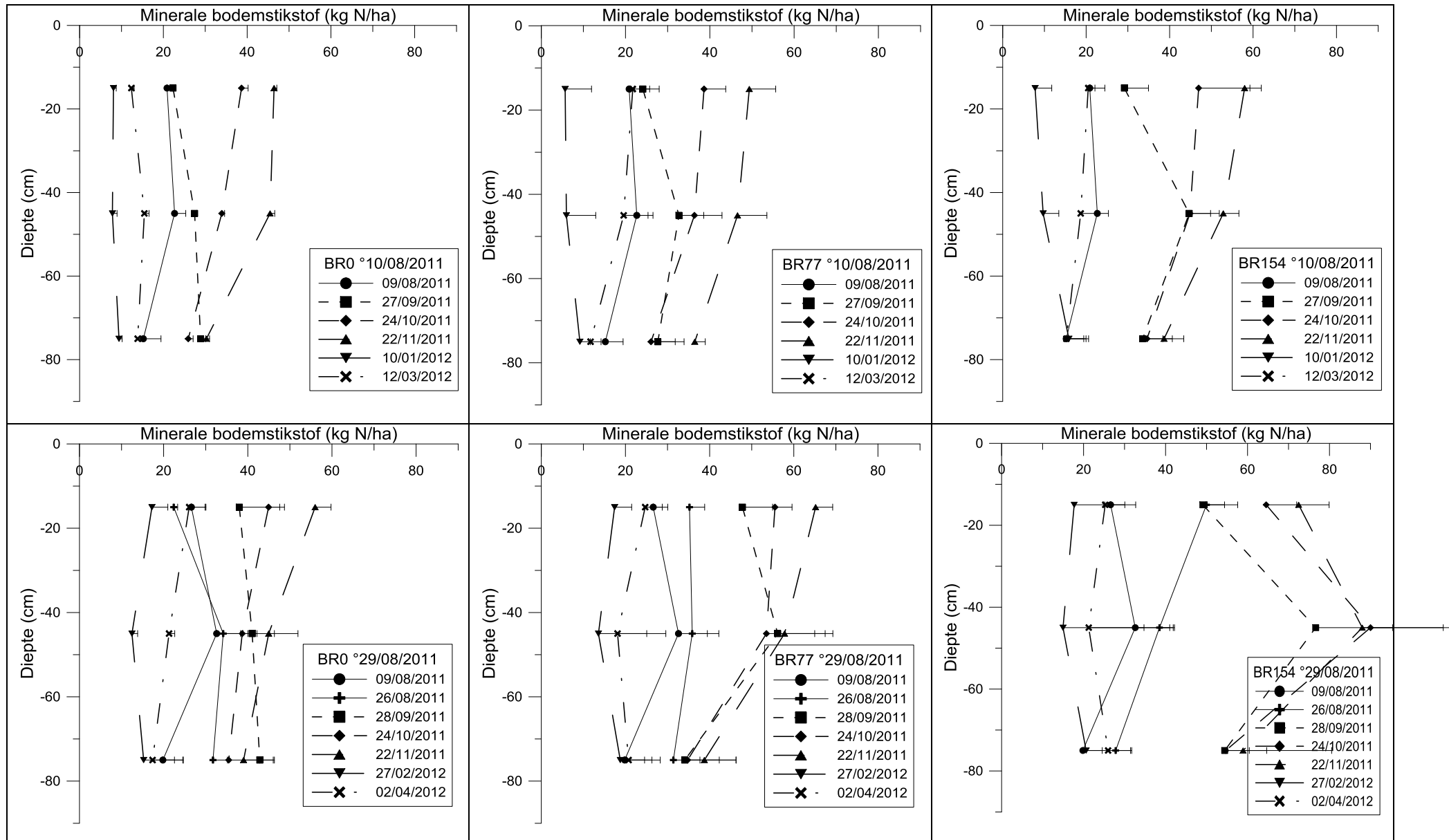
MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON



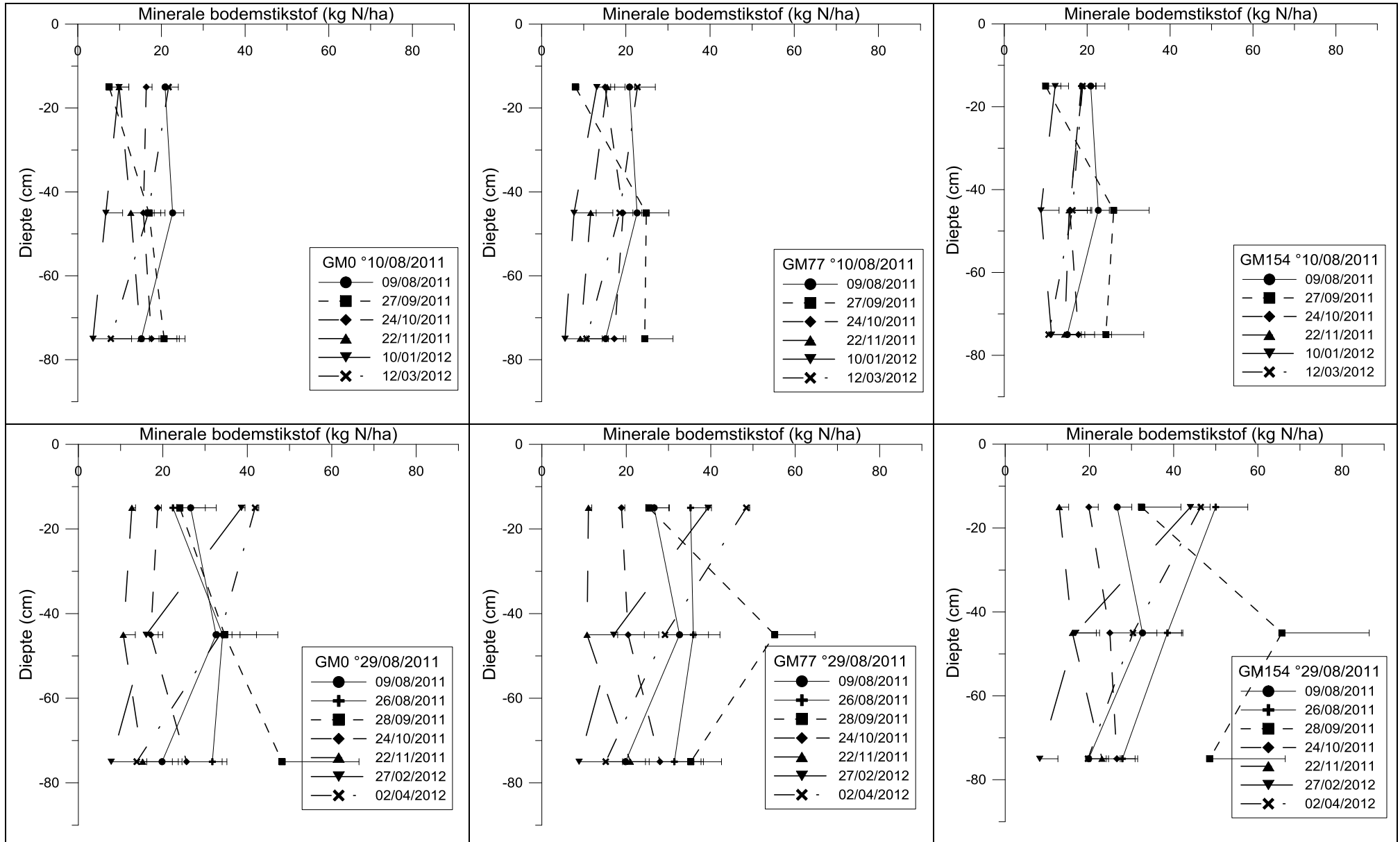
MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON



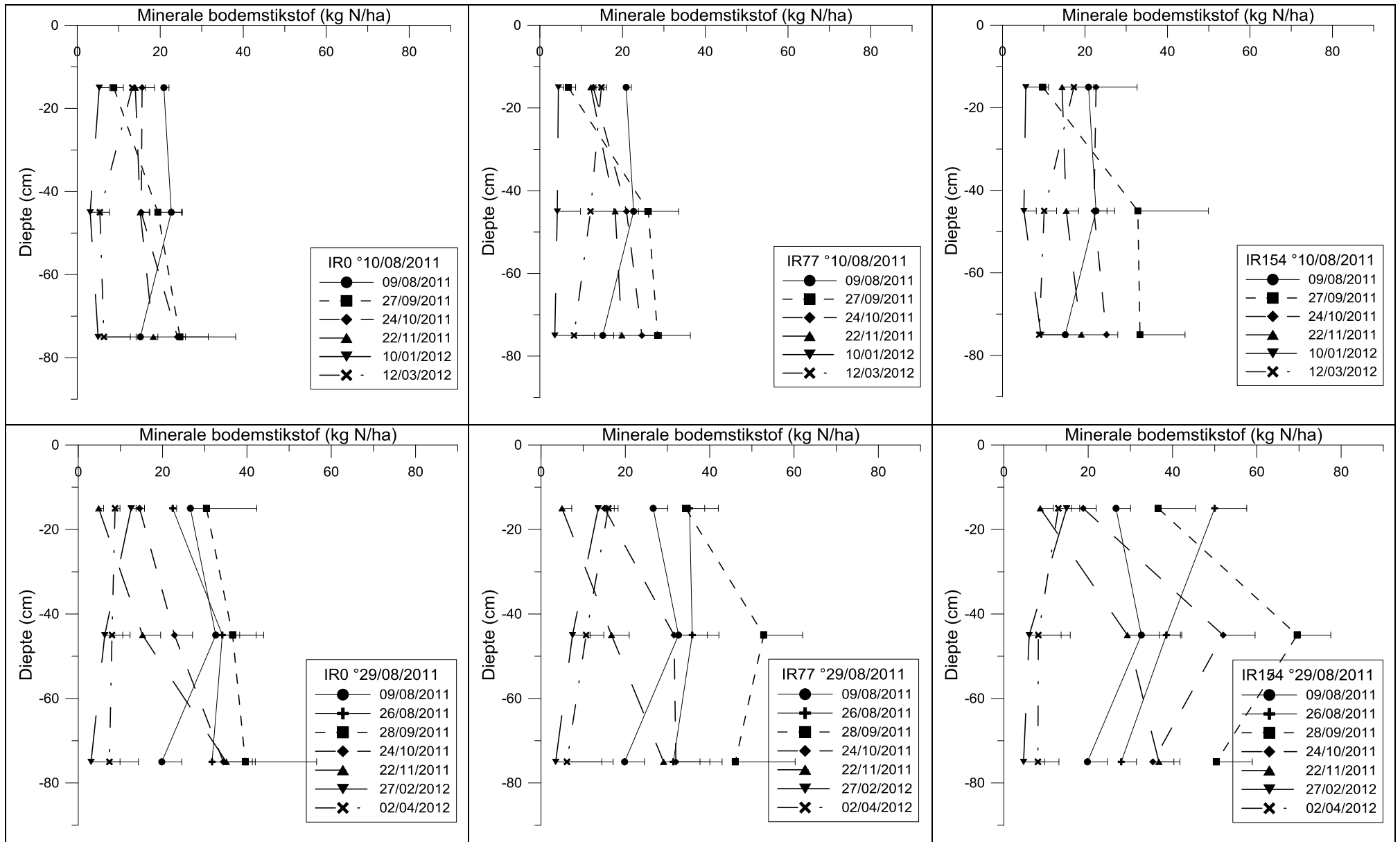
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE 2011-2012



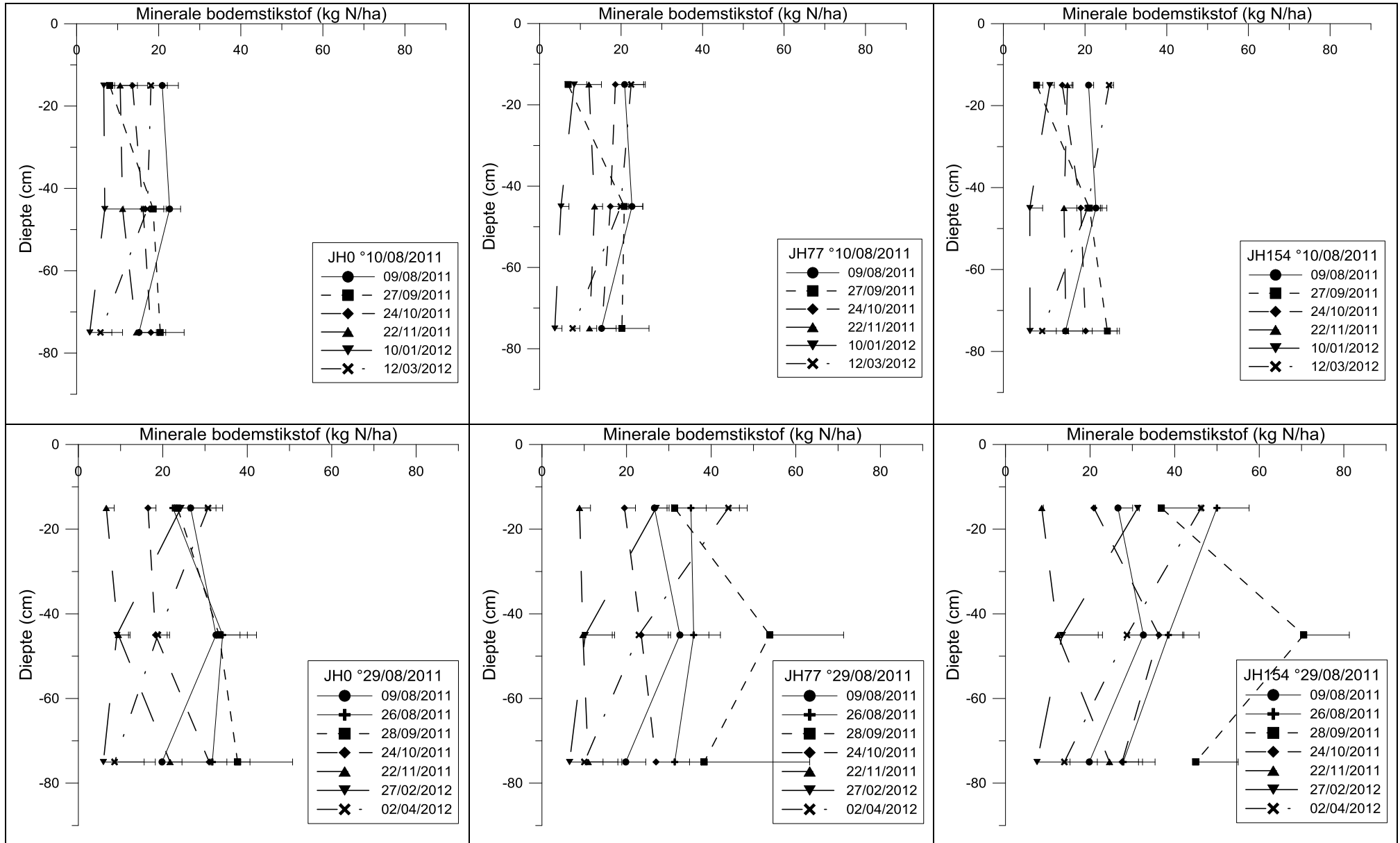
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE 2011-2012



PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE 2011-2012

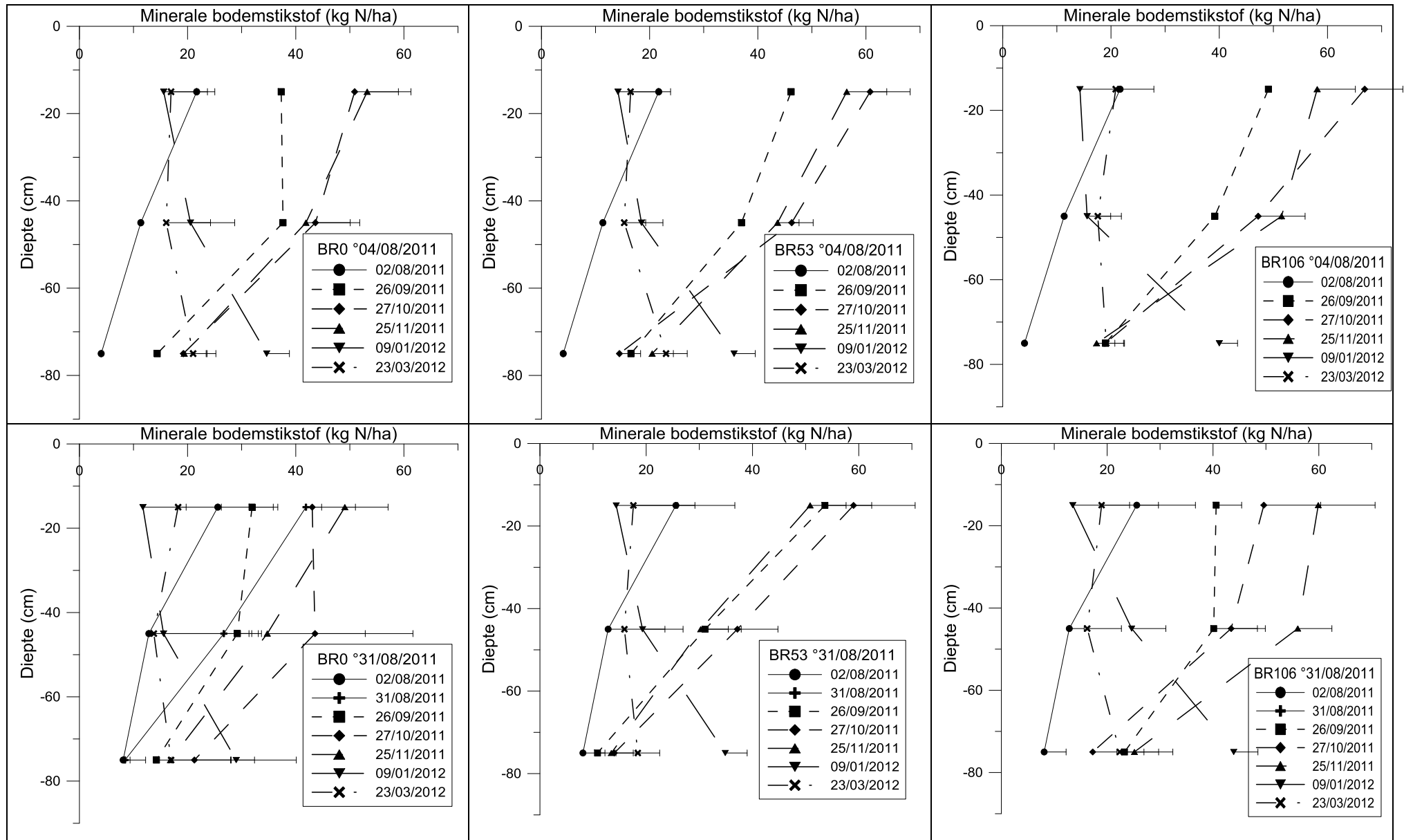


PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE 2011-2012

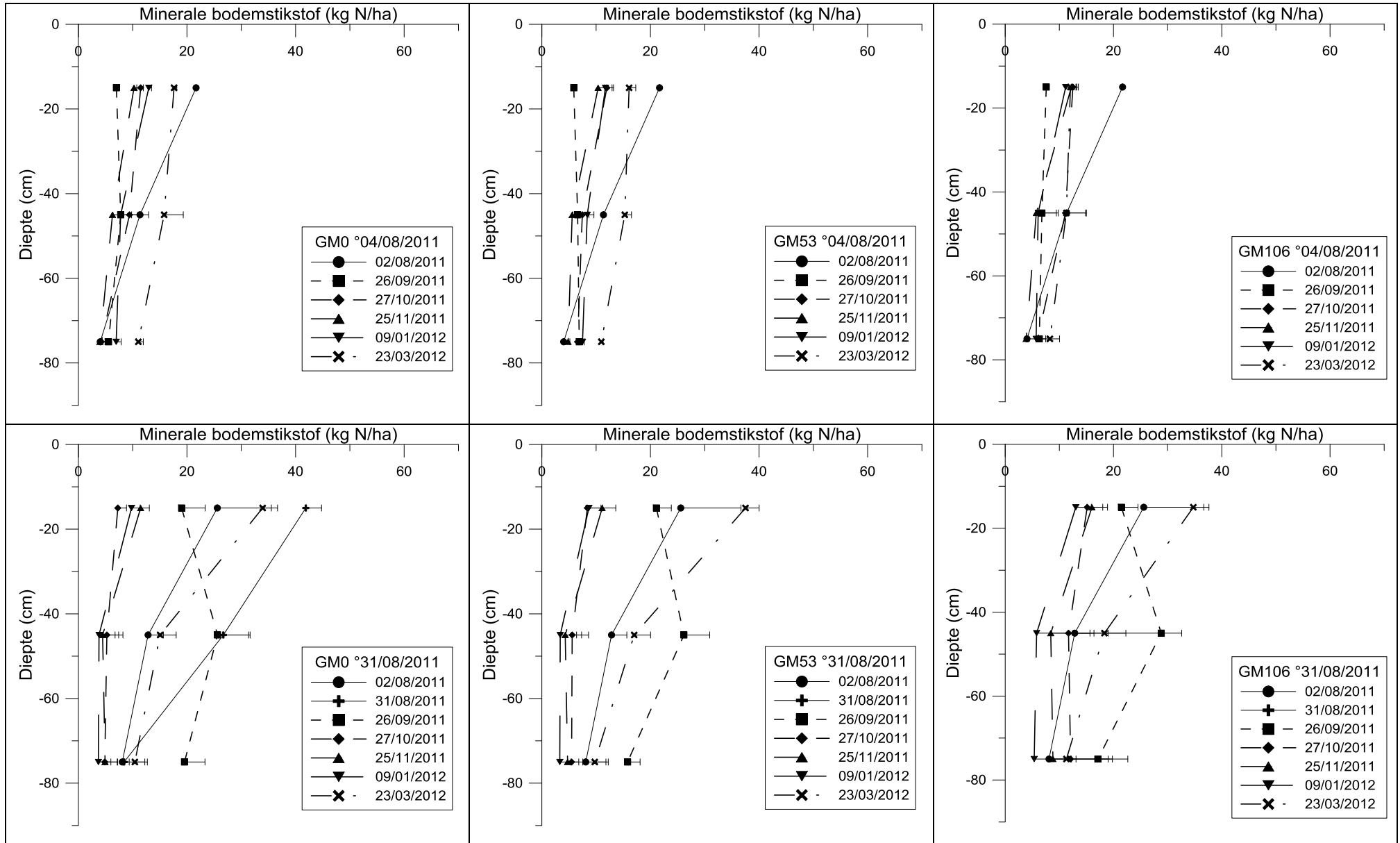




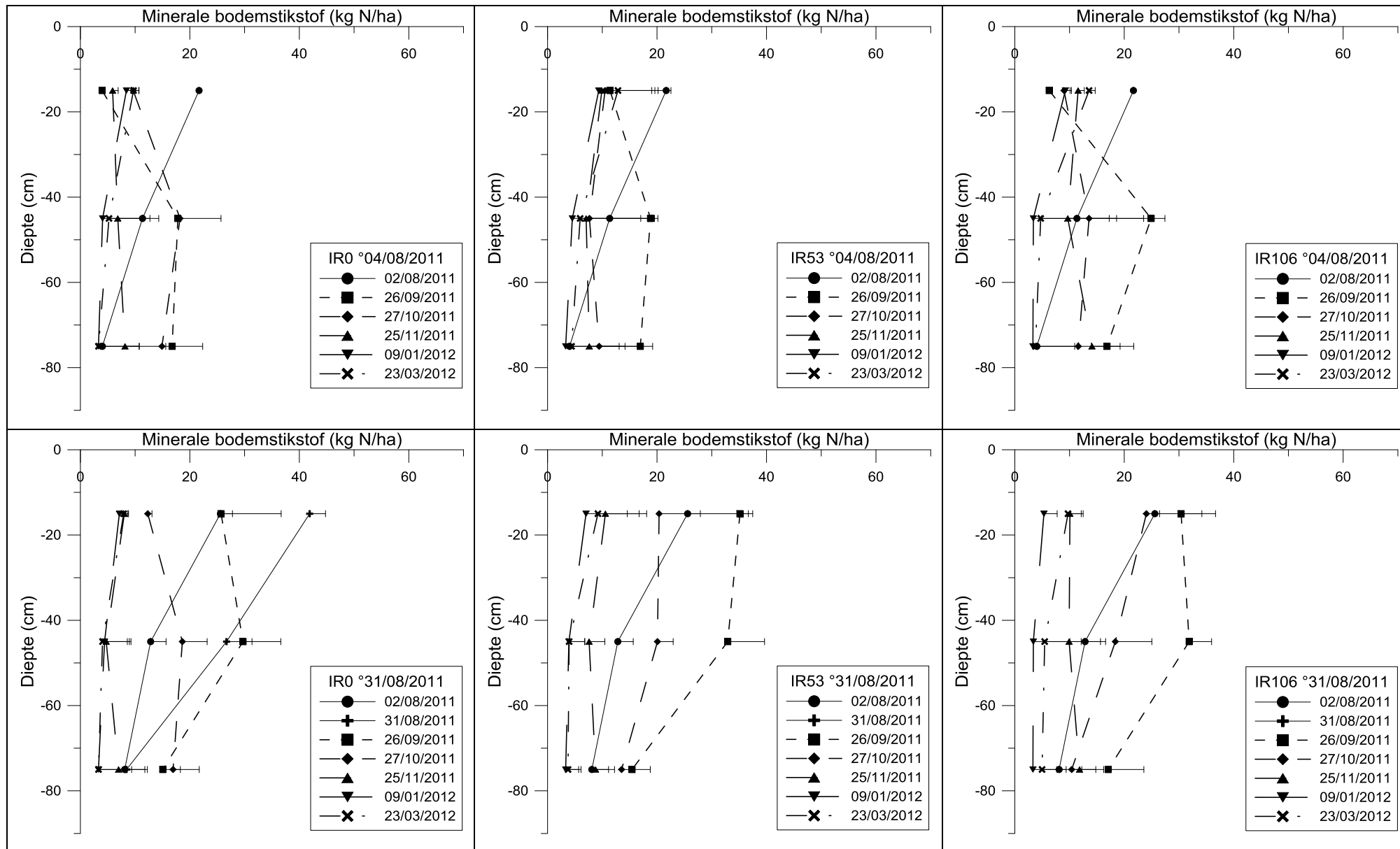
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE 2011-2012



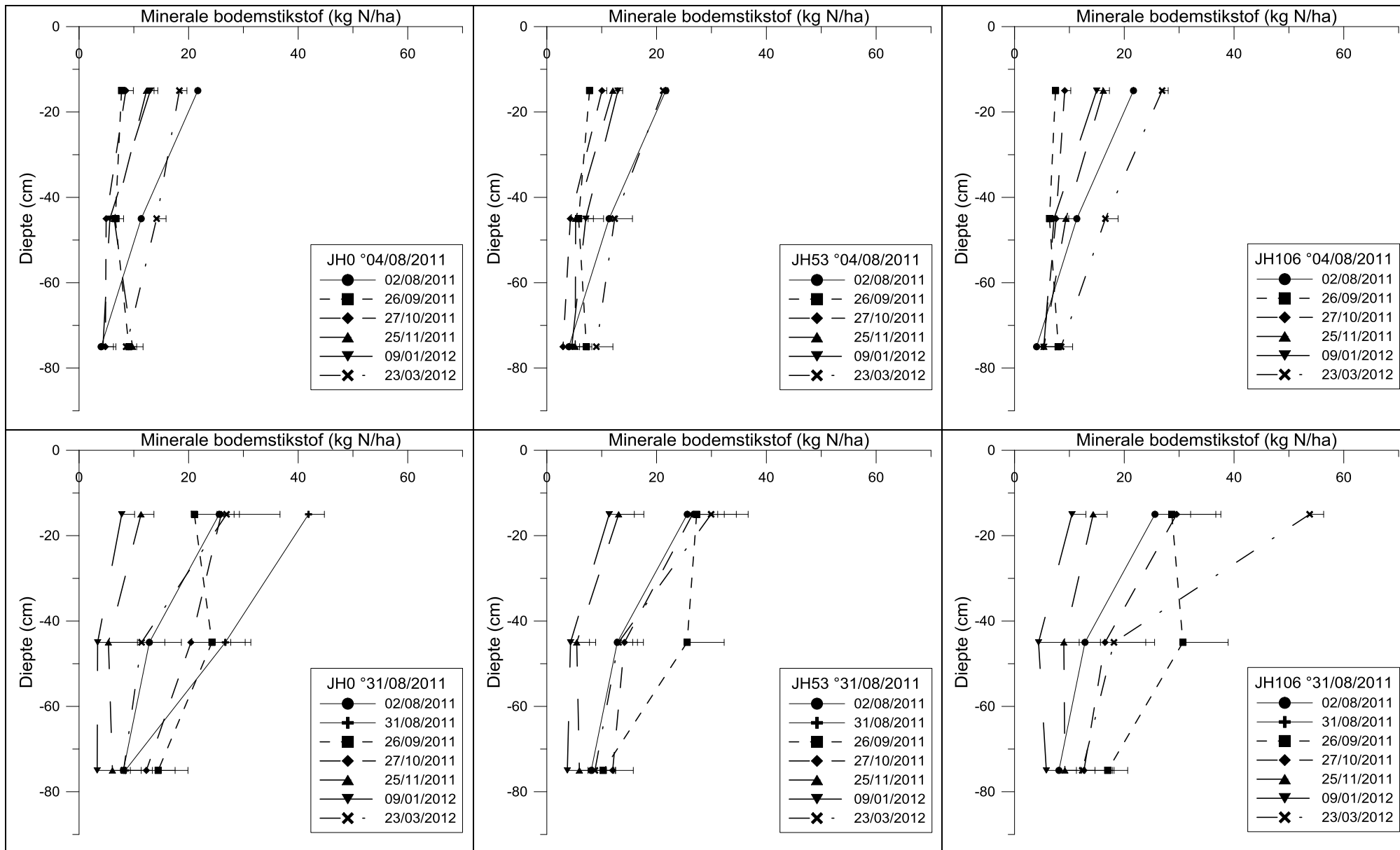
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE 2011-2012



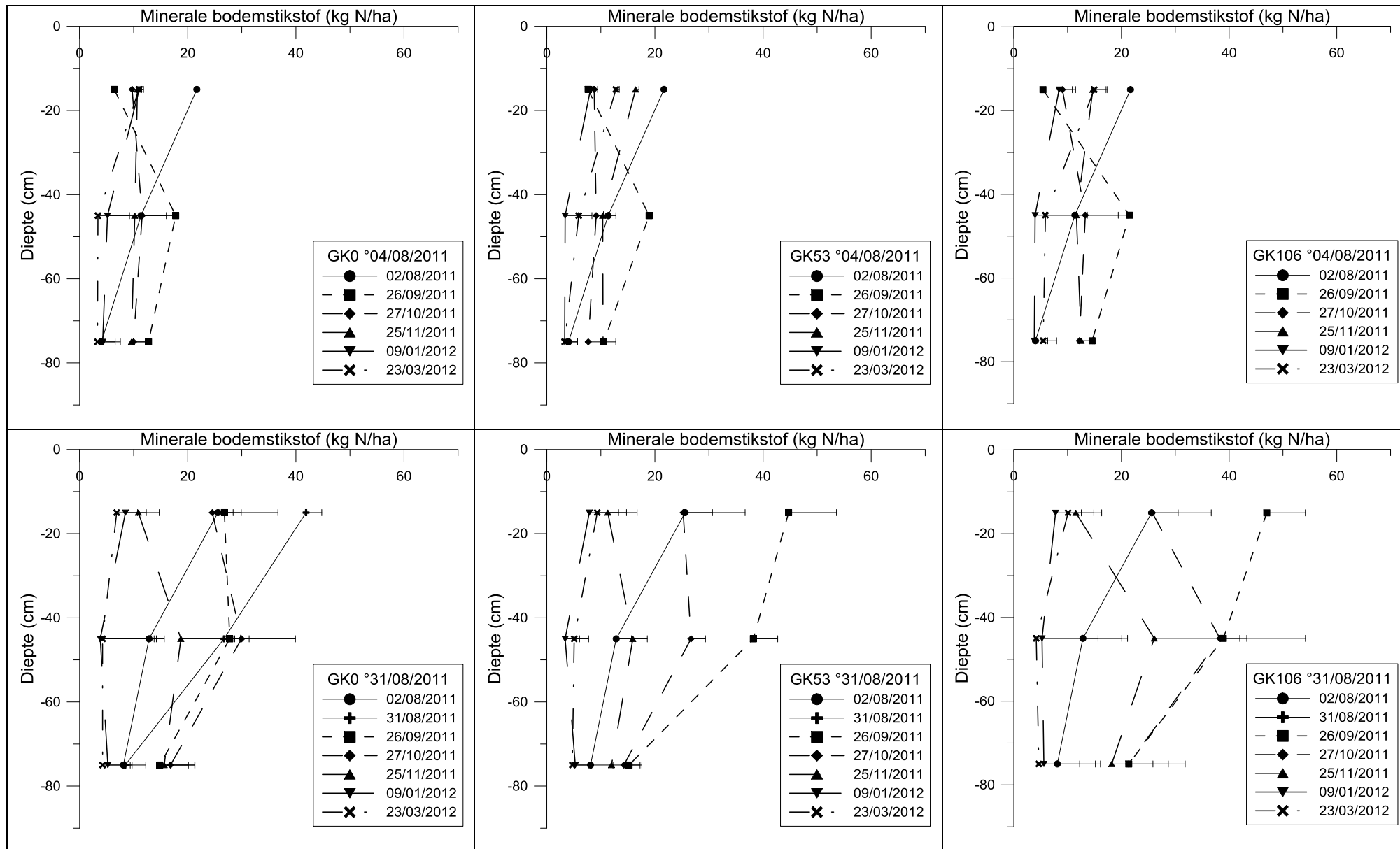
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE 2011-2012



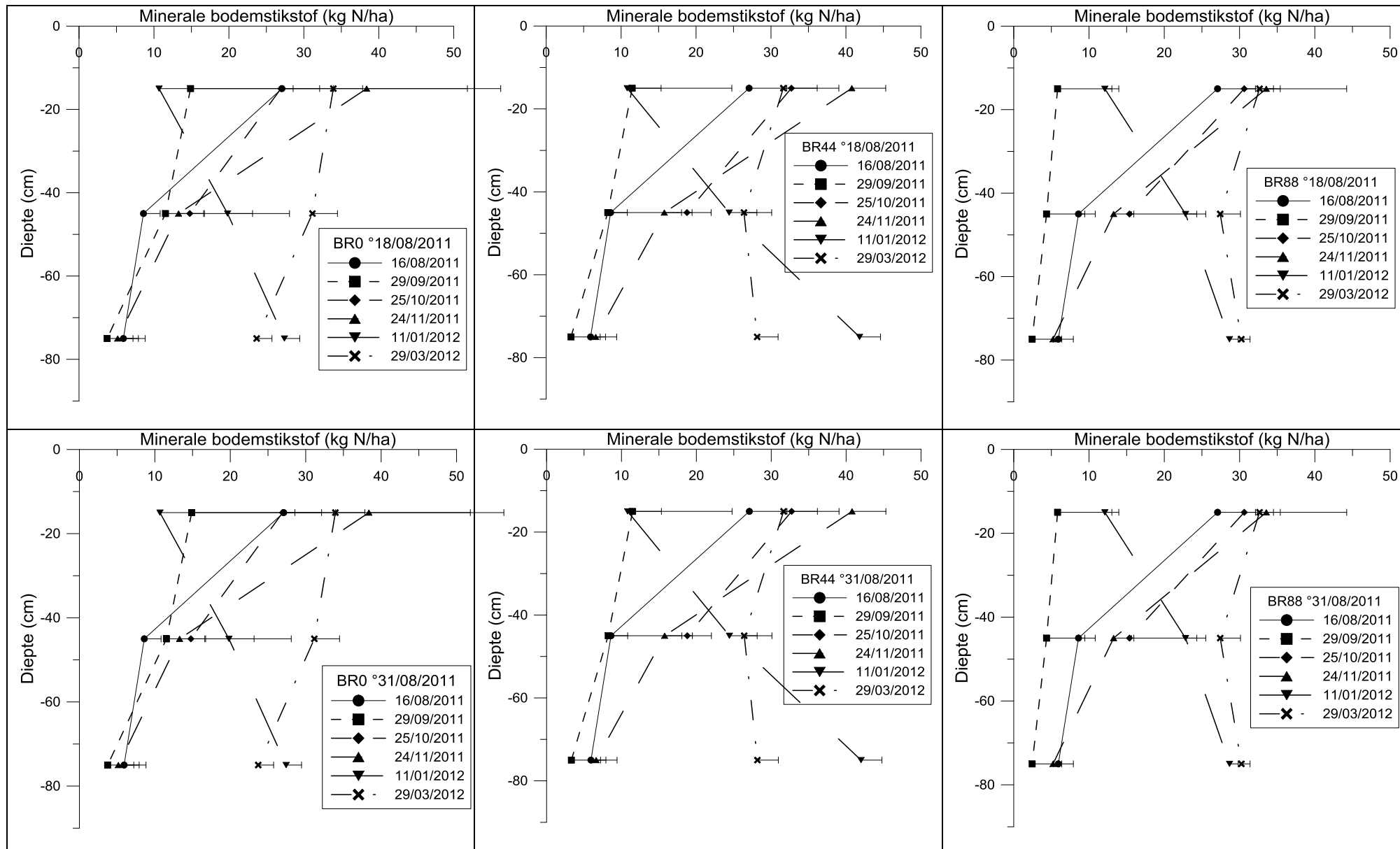
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE 2011-2012



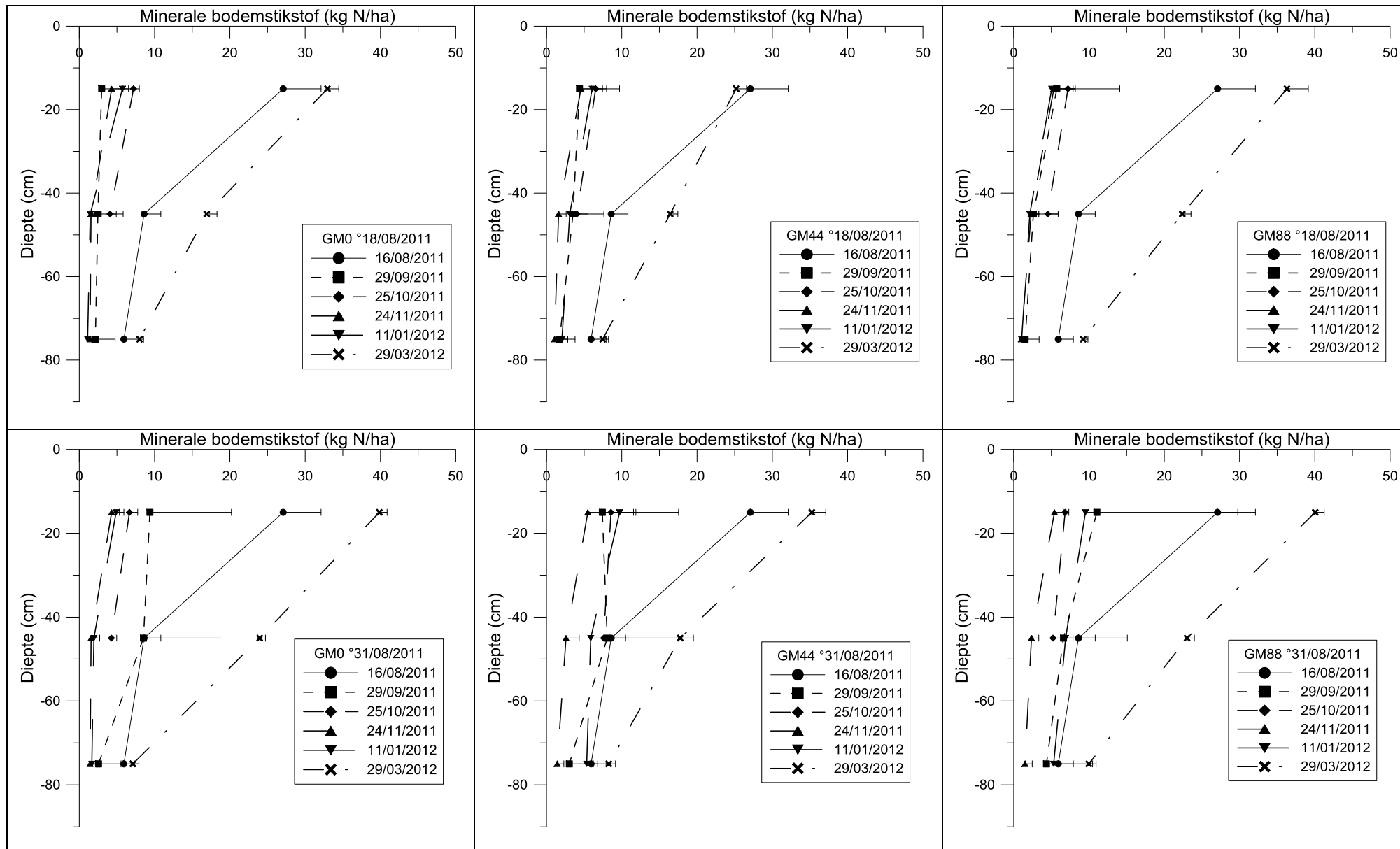
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF LEMBERGE 2011-2012



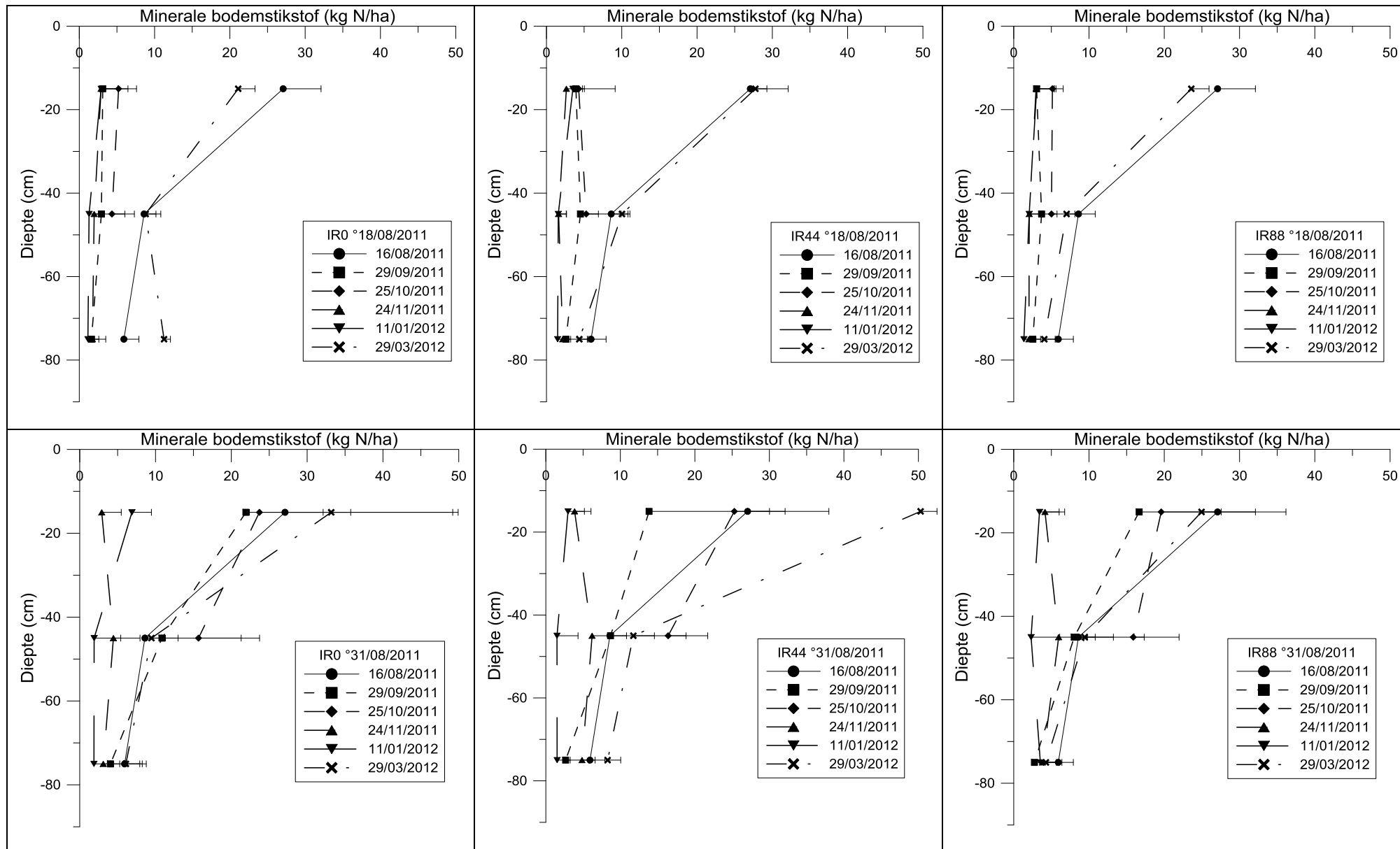
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON 2011-2012



PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON 2011-2012

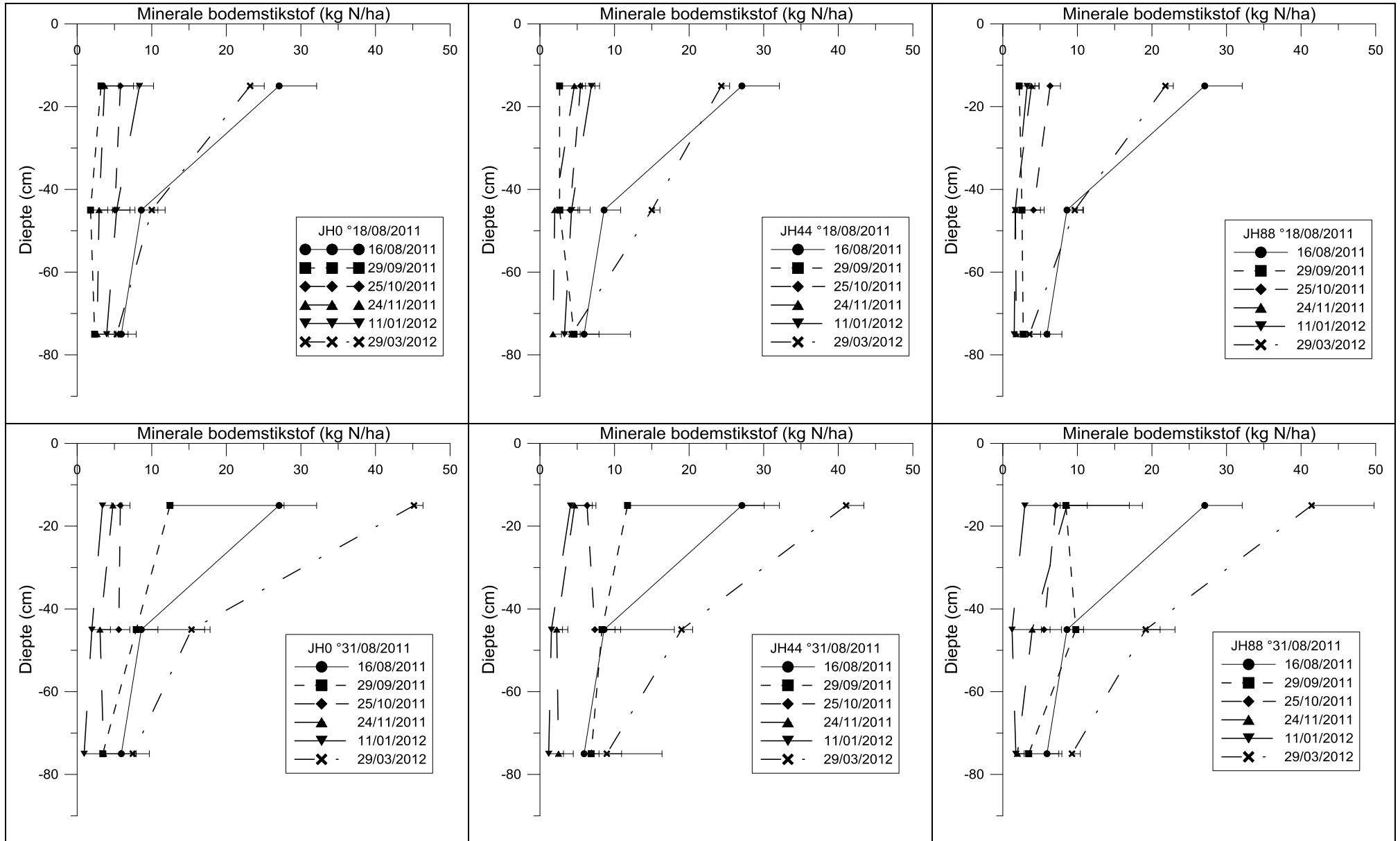


PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON 2011-2012

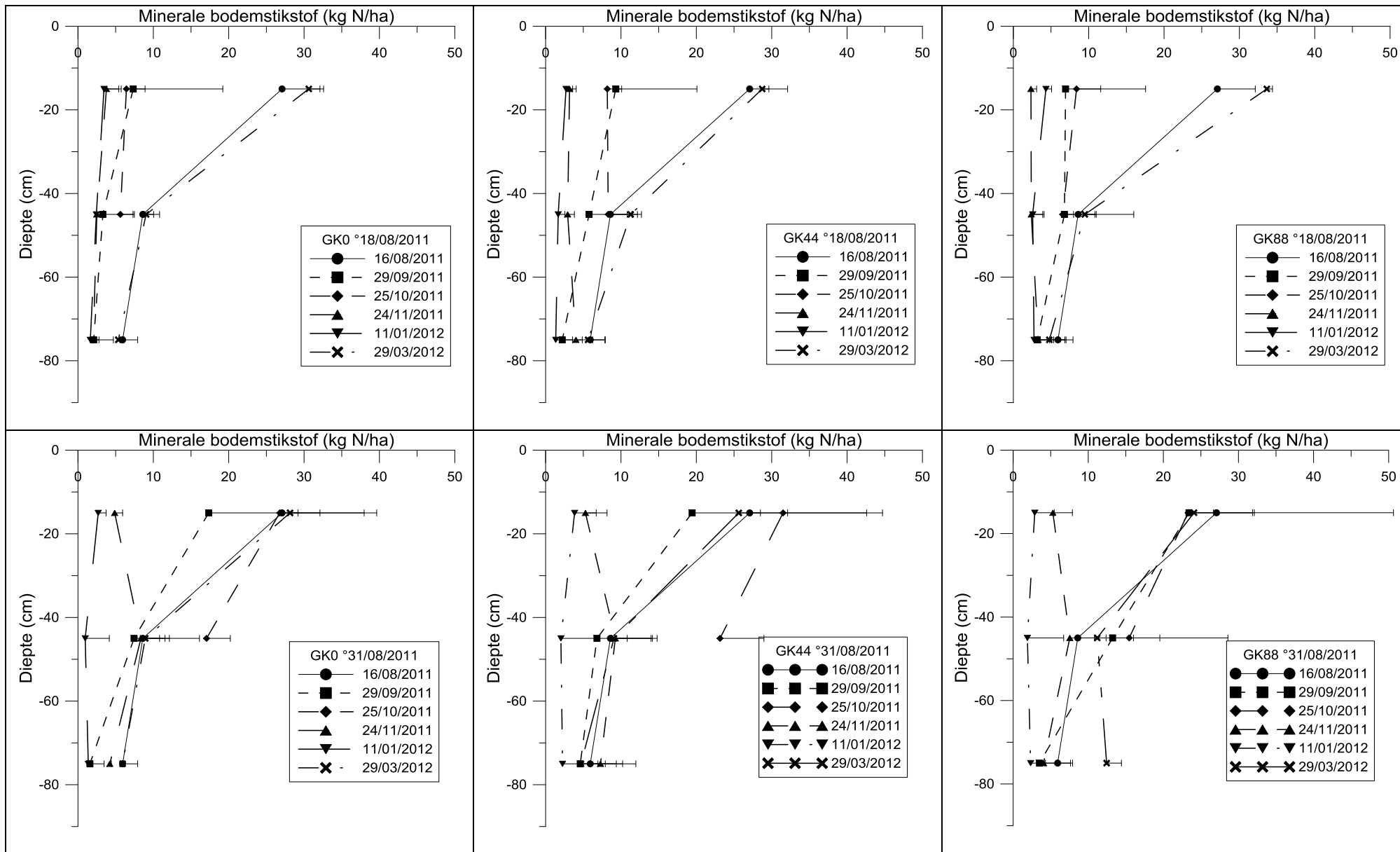




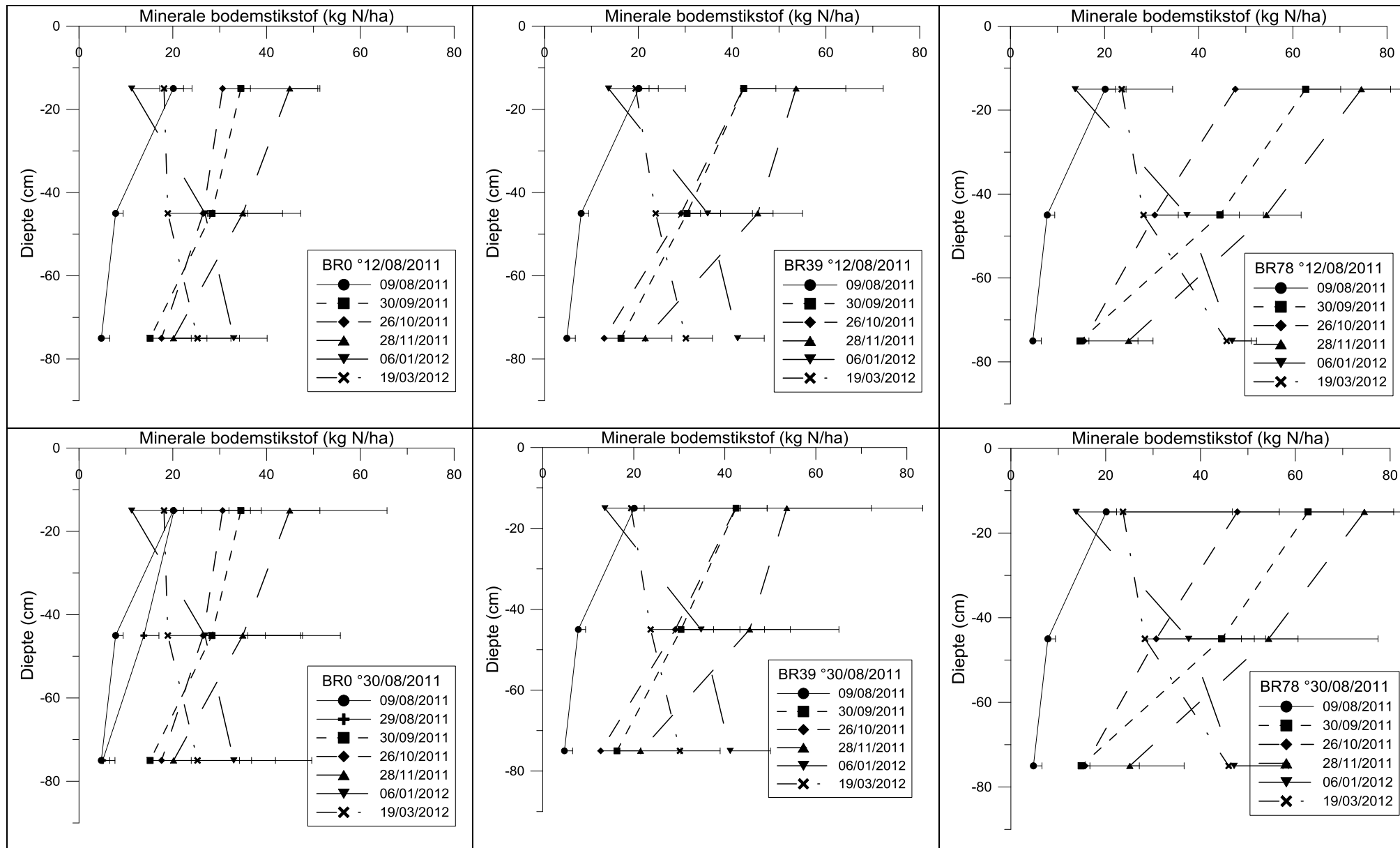
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON 2011-2012



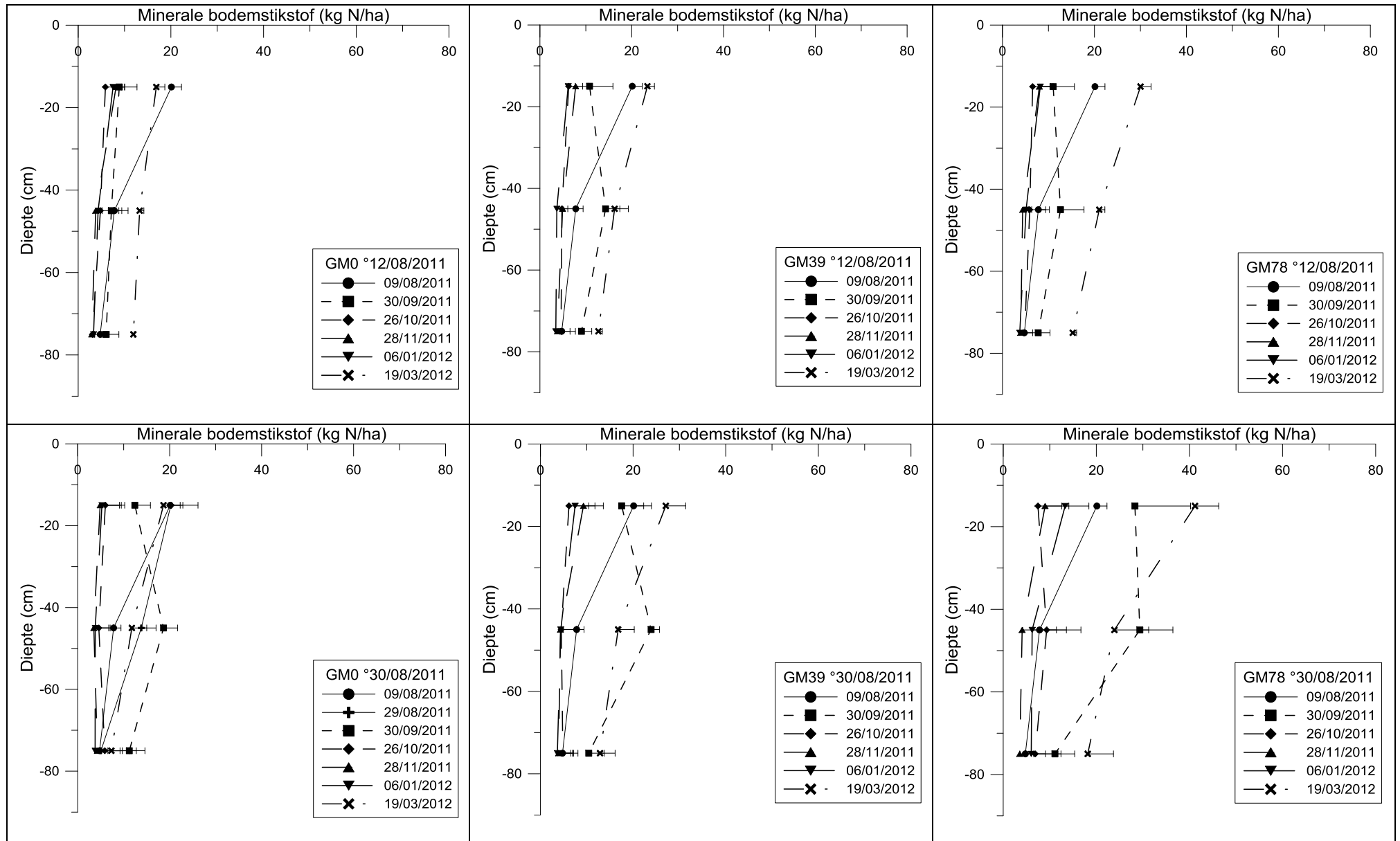
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON 2011-2012



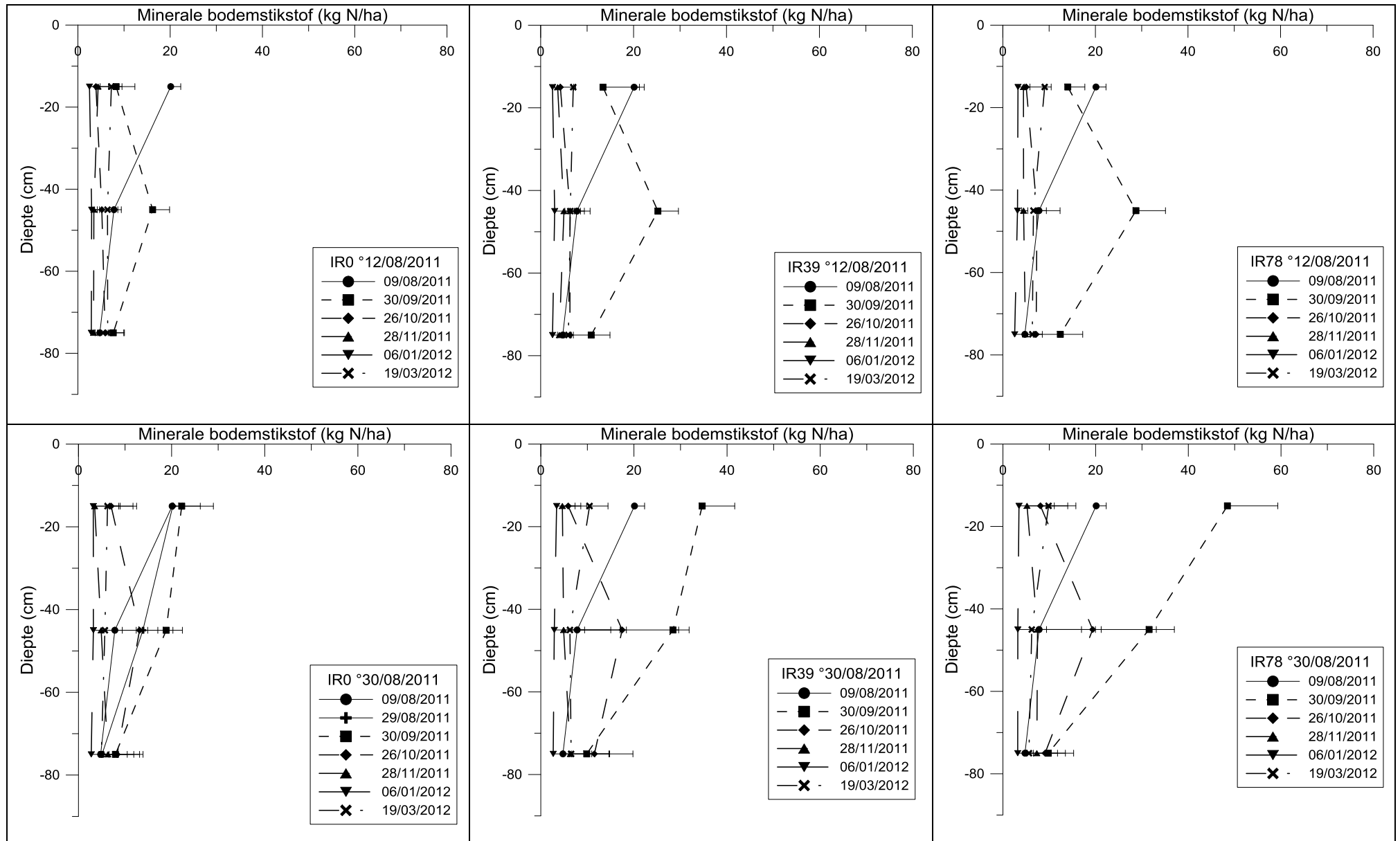
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS 2011-2012



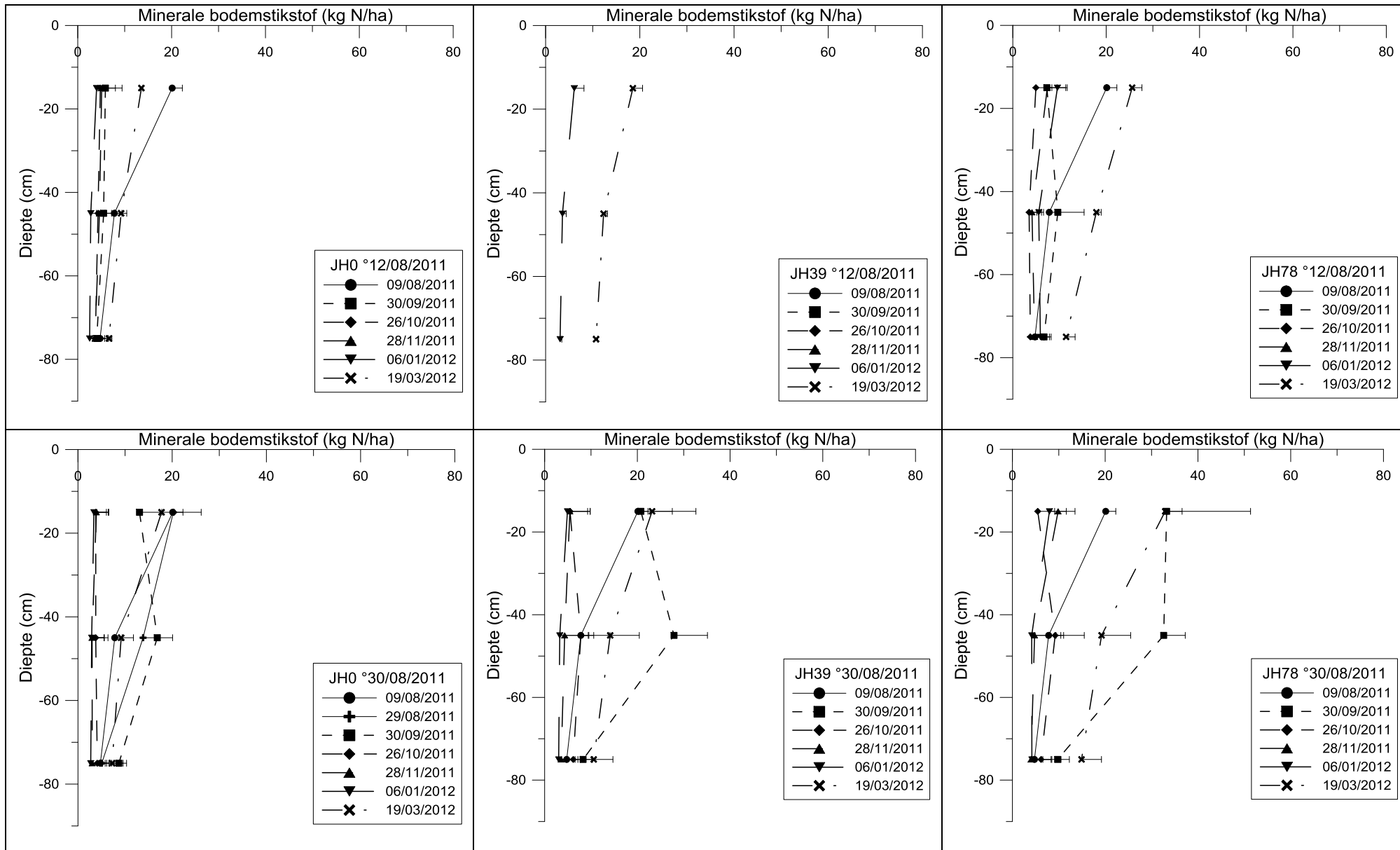
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS 2011-2012



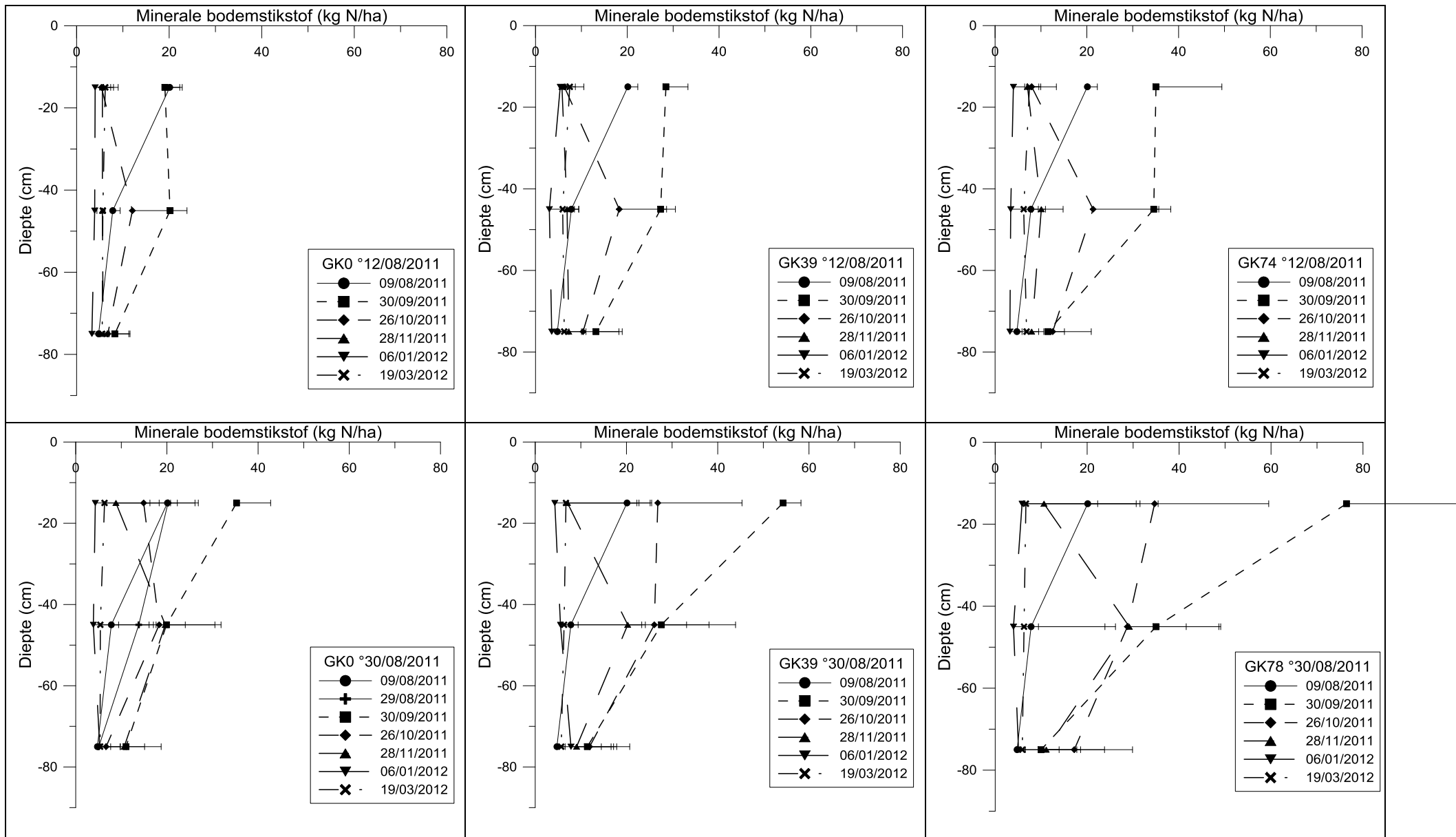
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS 2011-2012



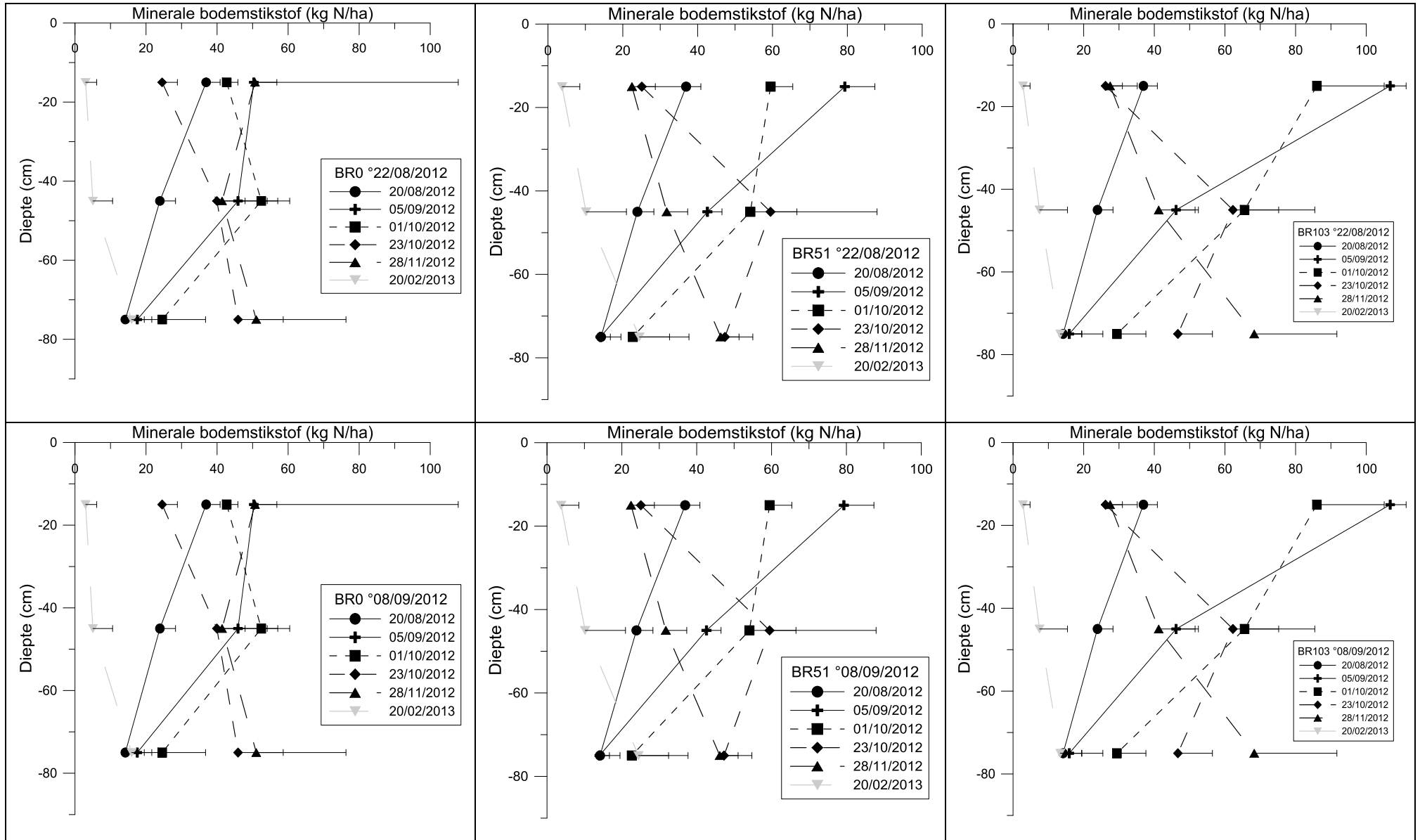
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS 2011-2012



PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF SINT-DENIJS 2011-2012

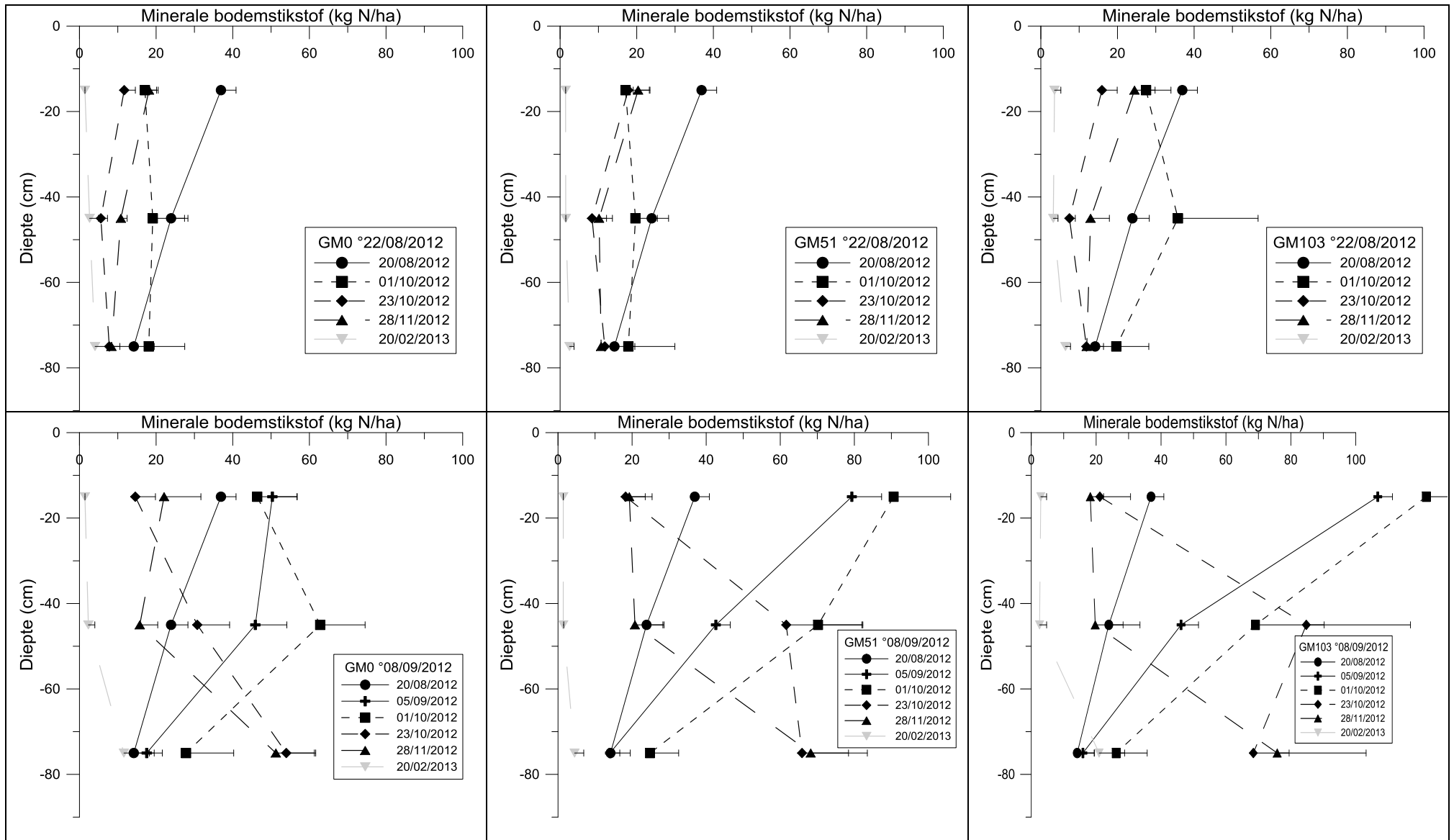


PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE

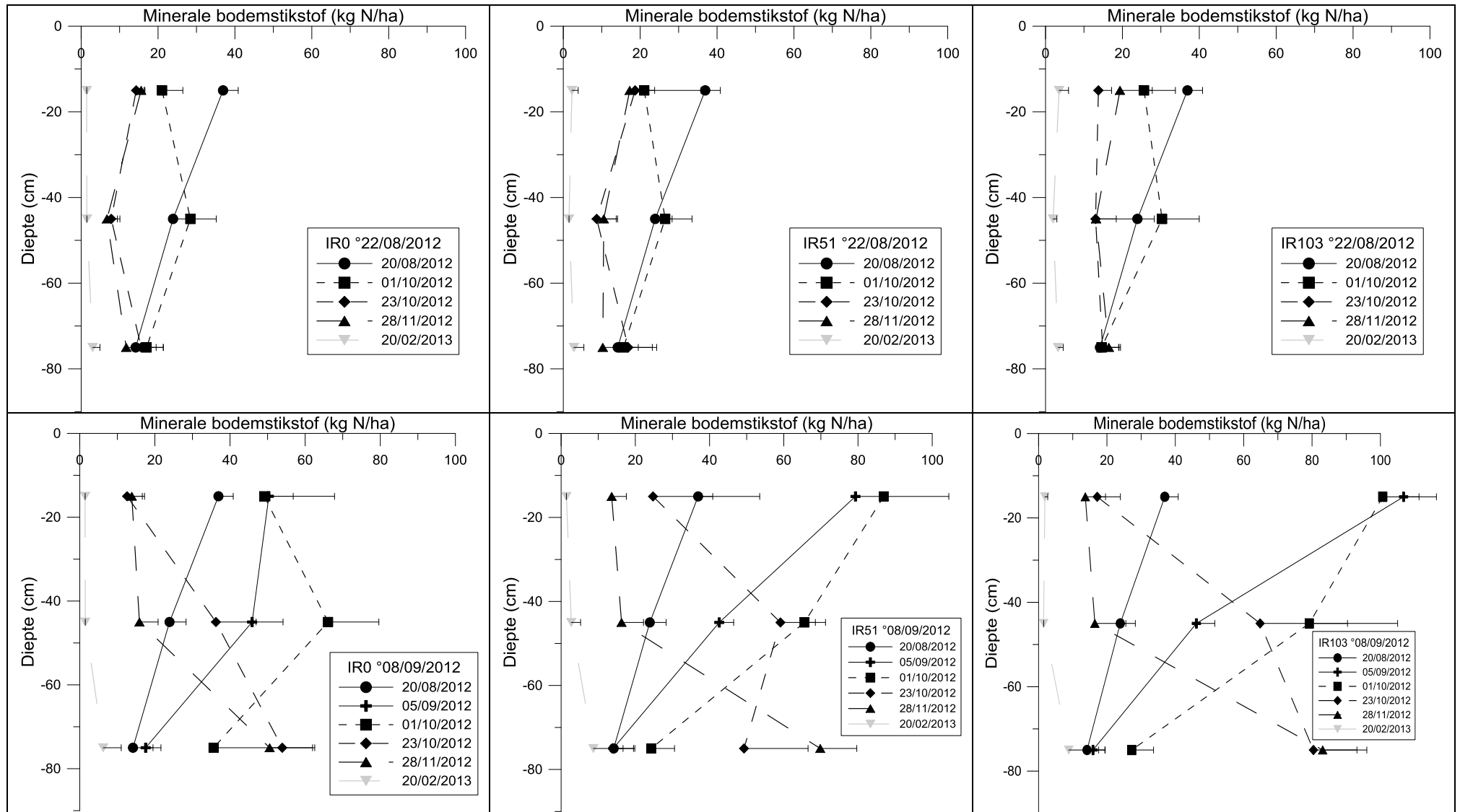




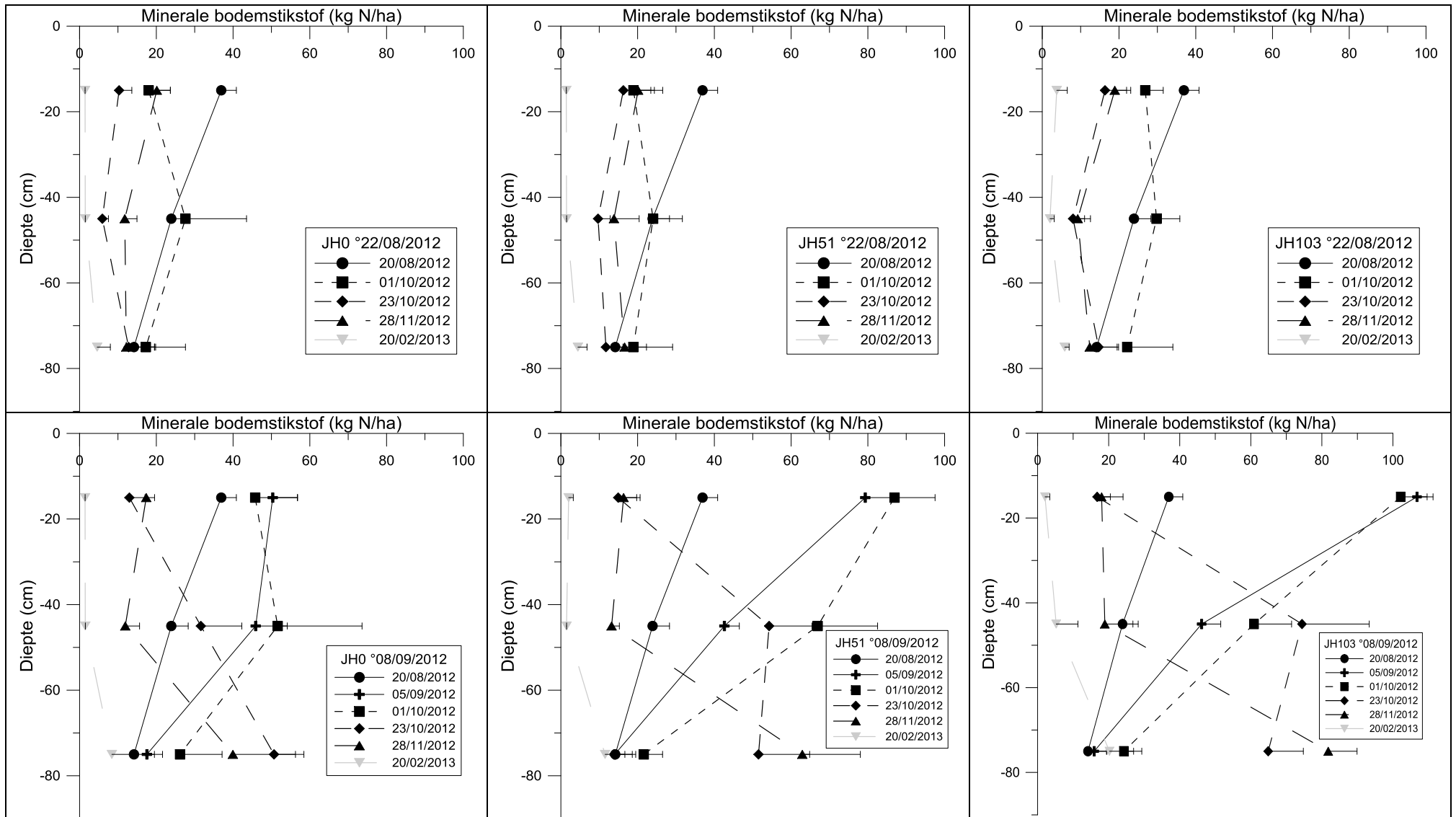
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE



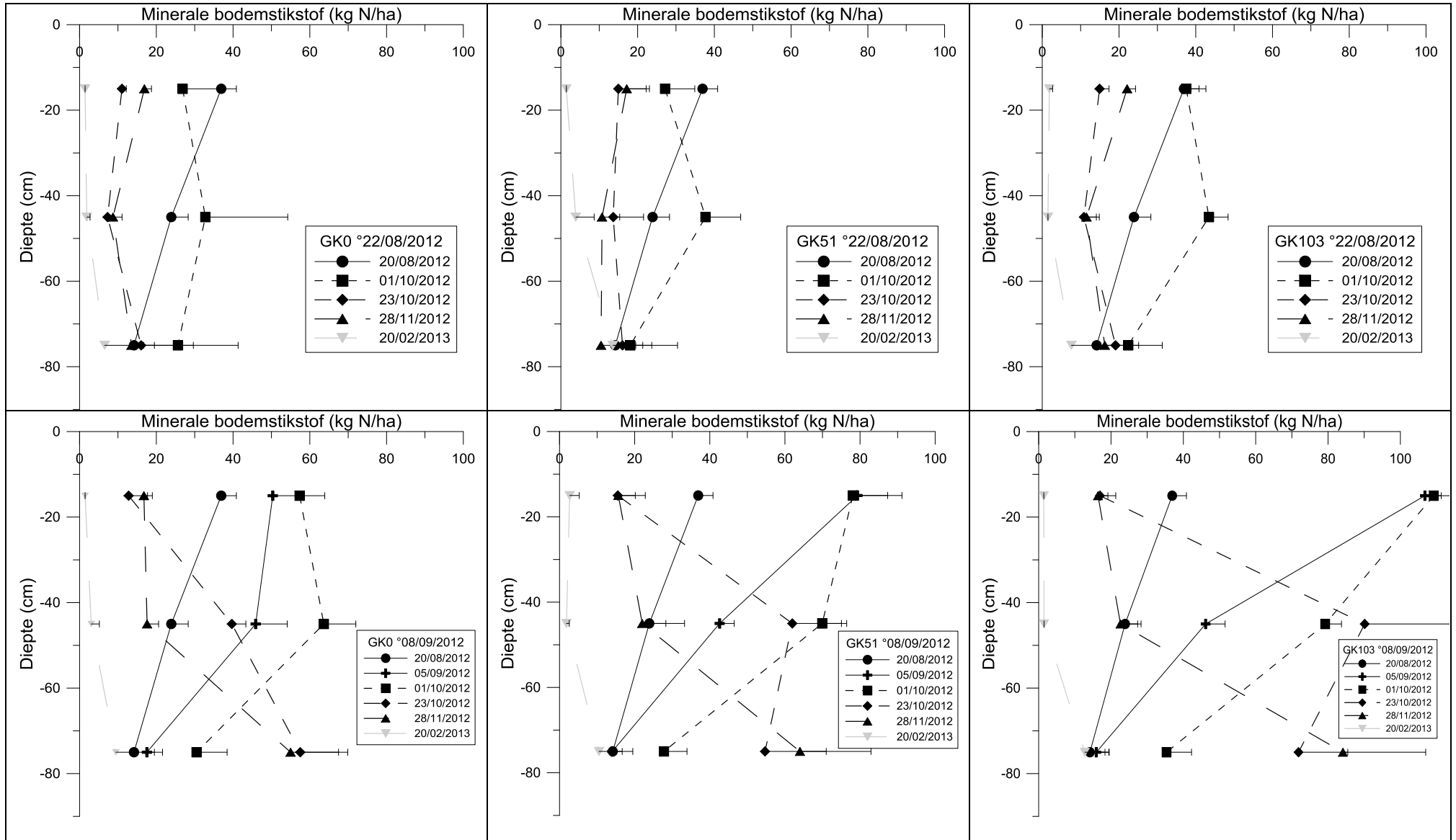
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE



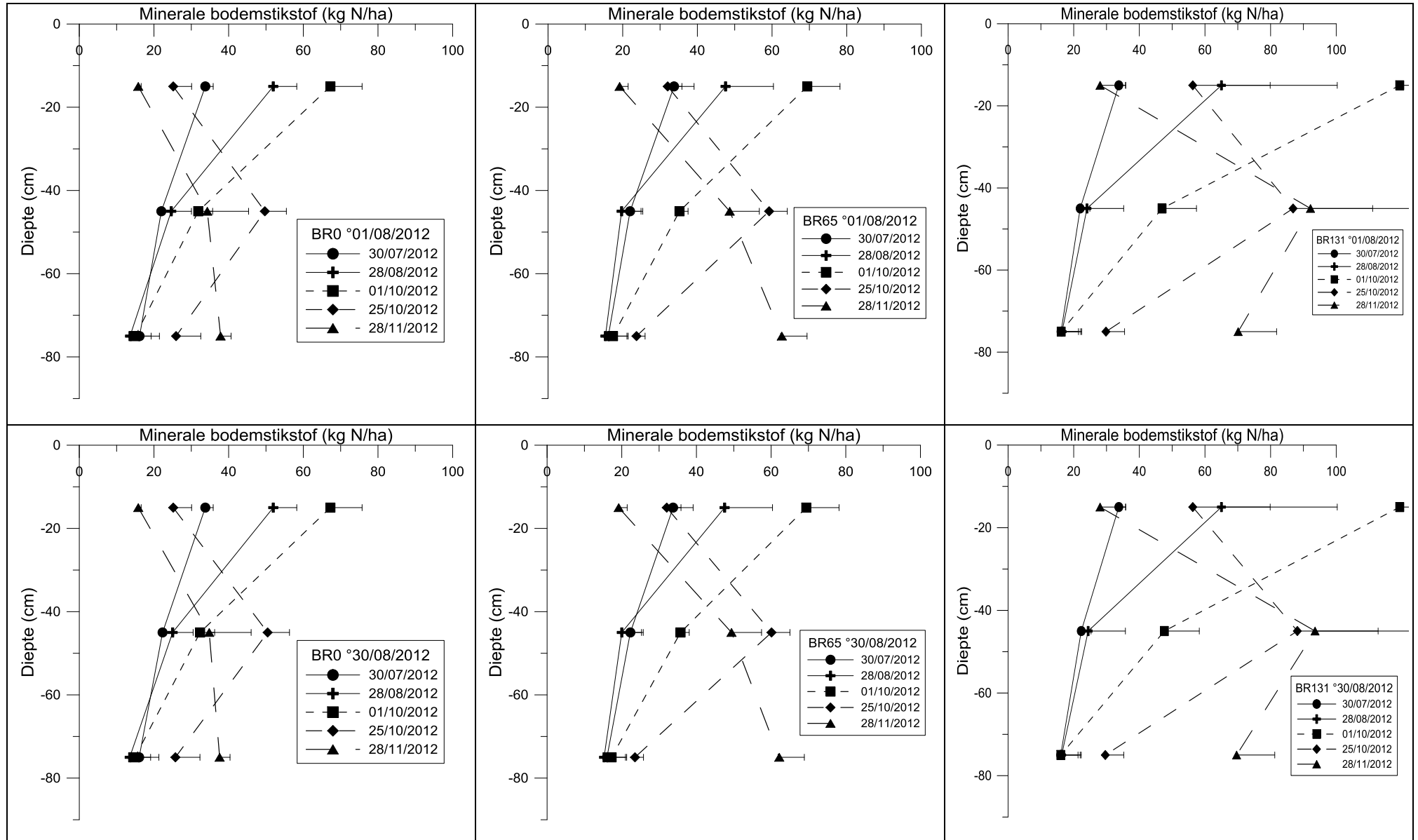
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE



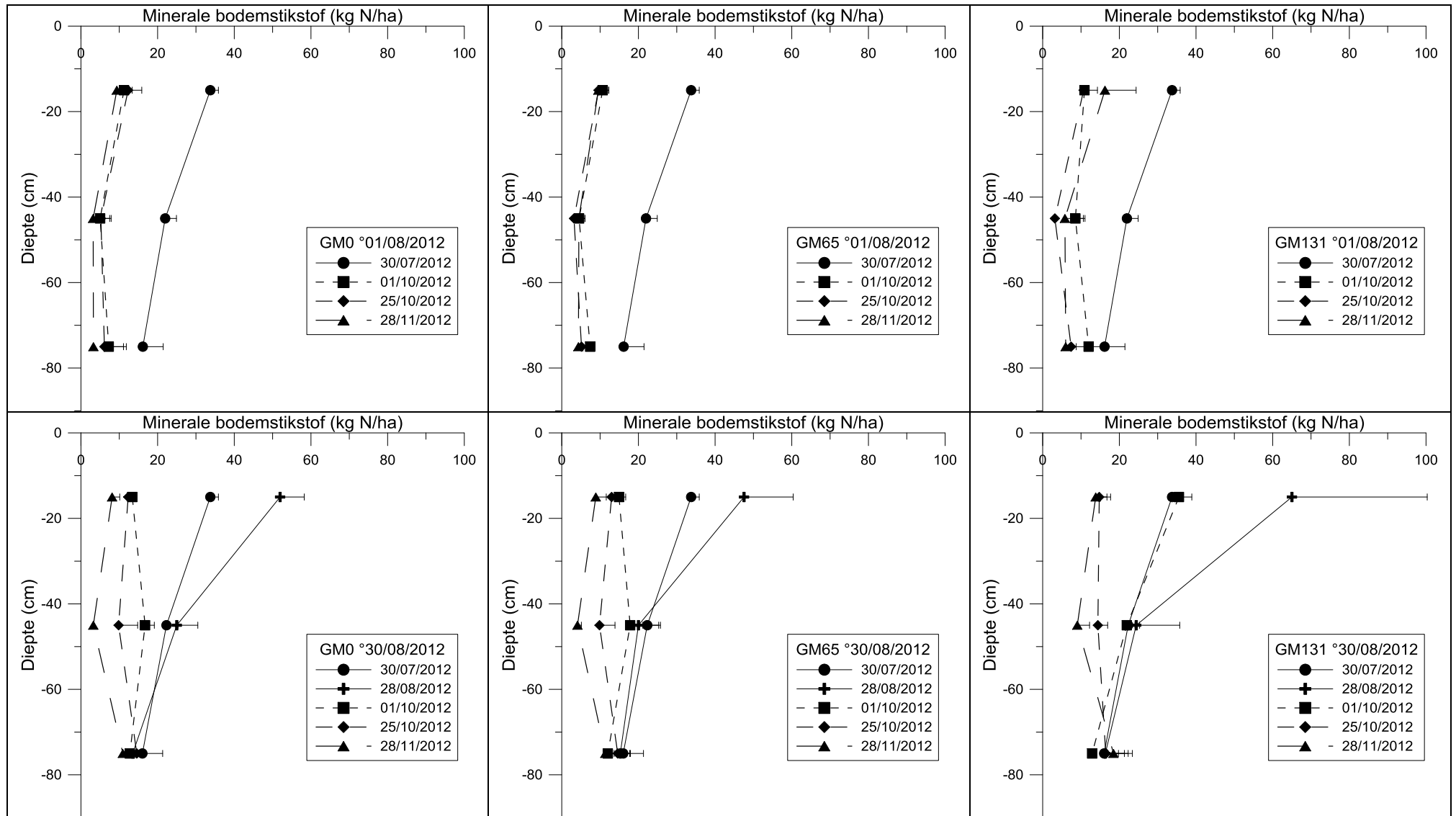
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF BOTTELARE



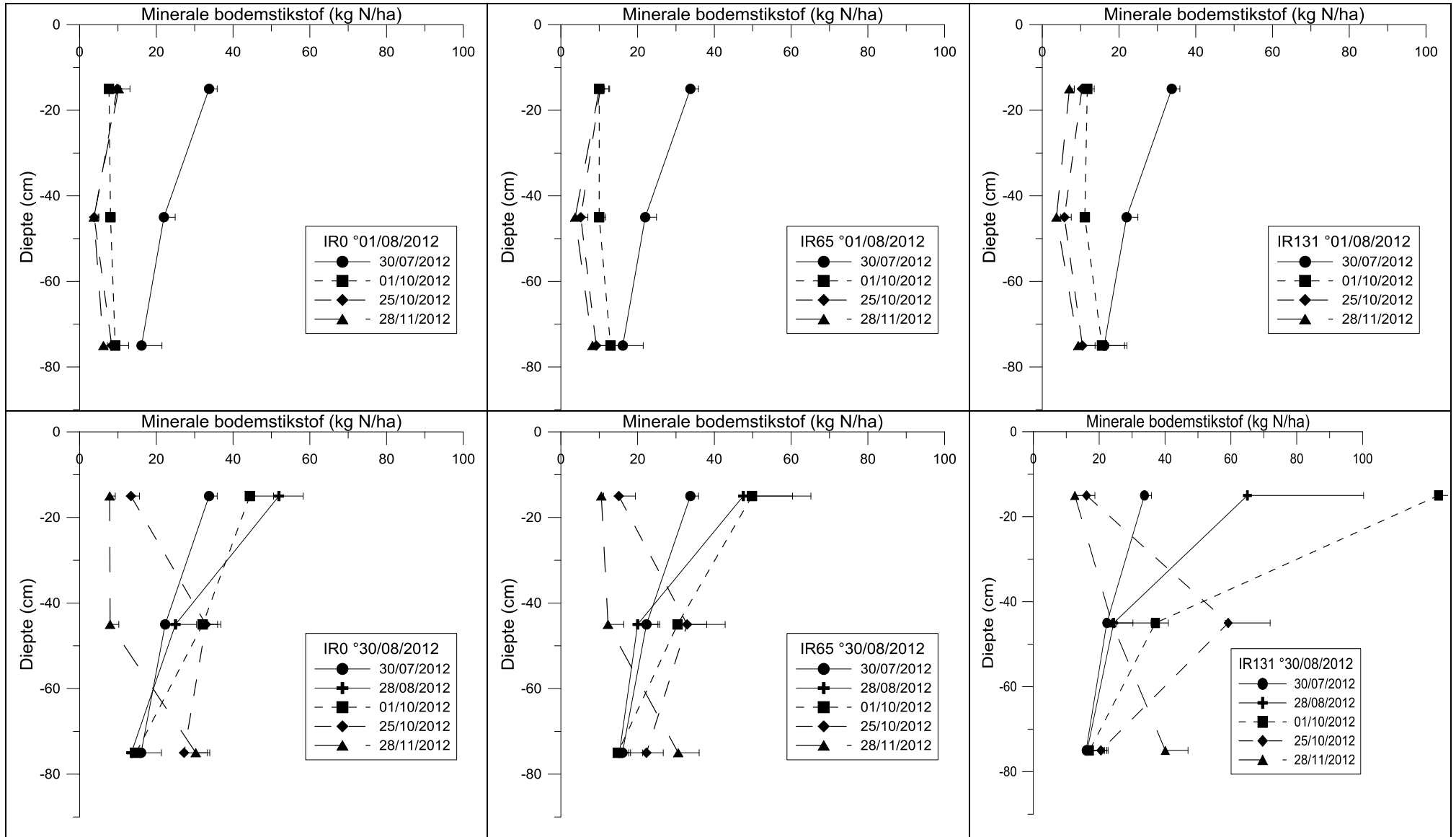
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE



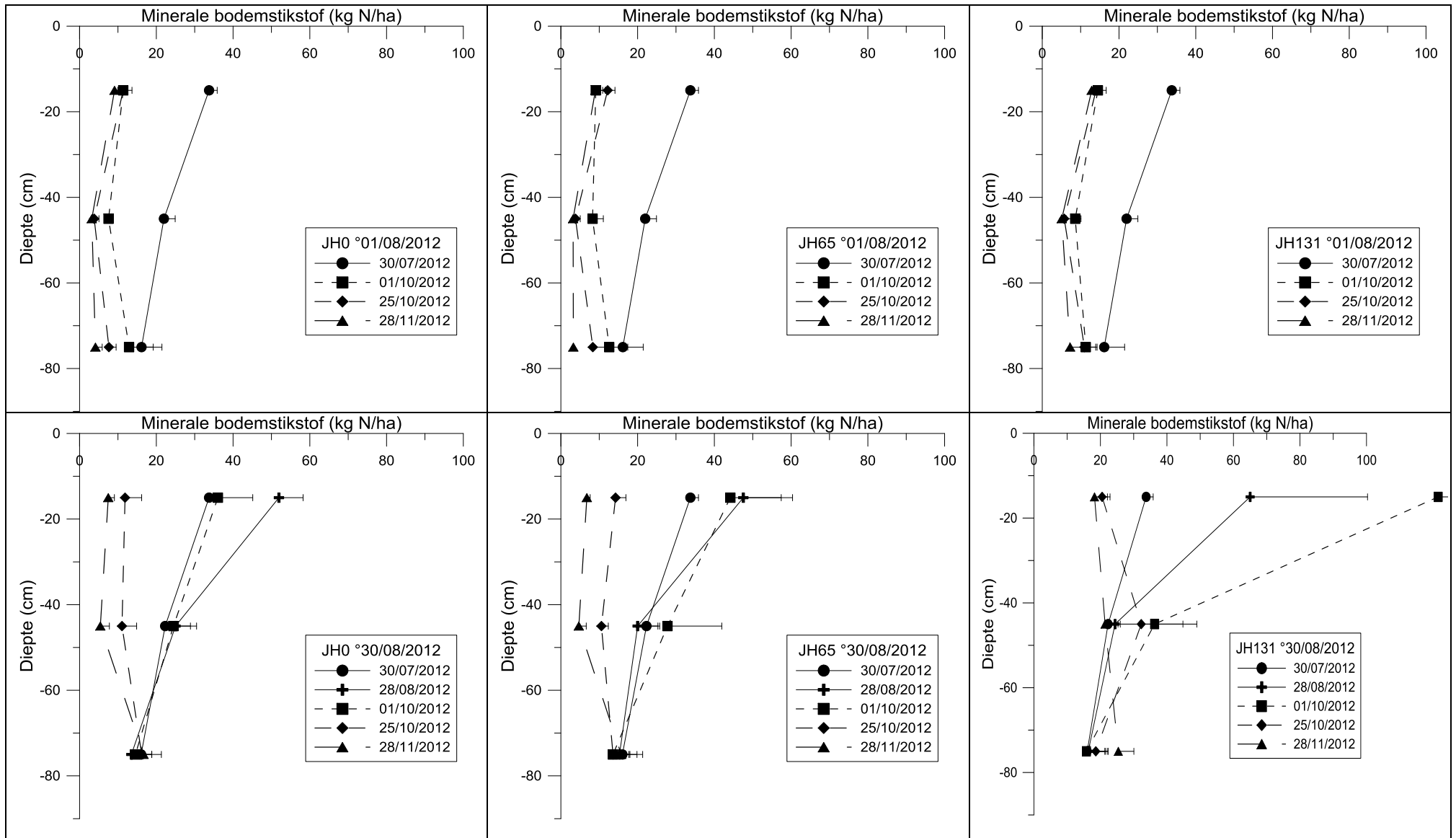
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE



PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE

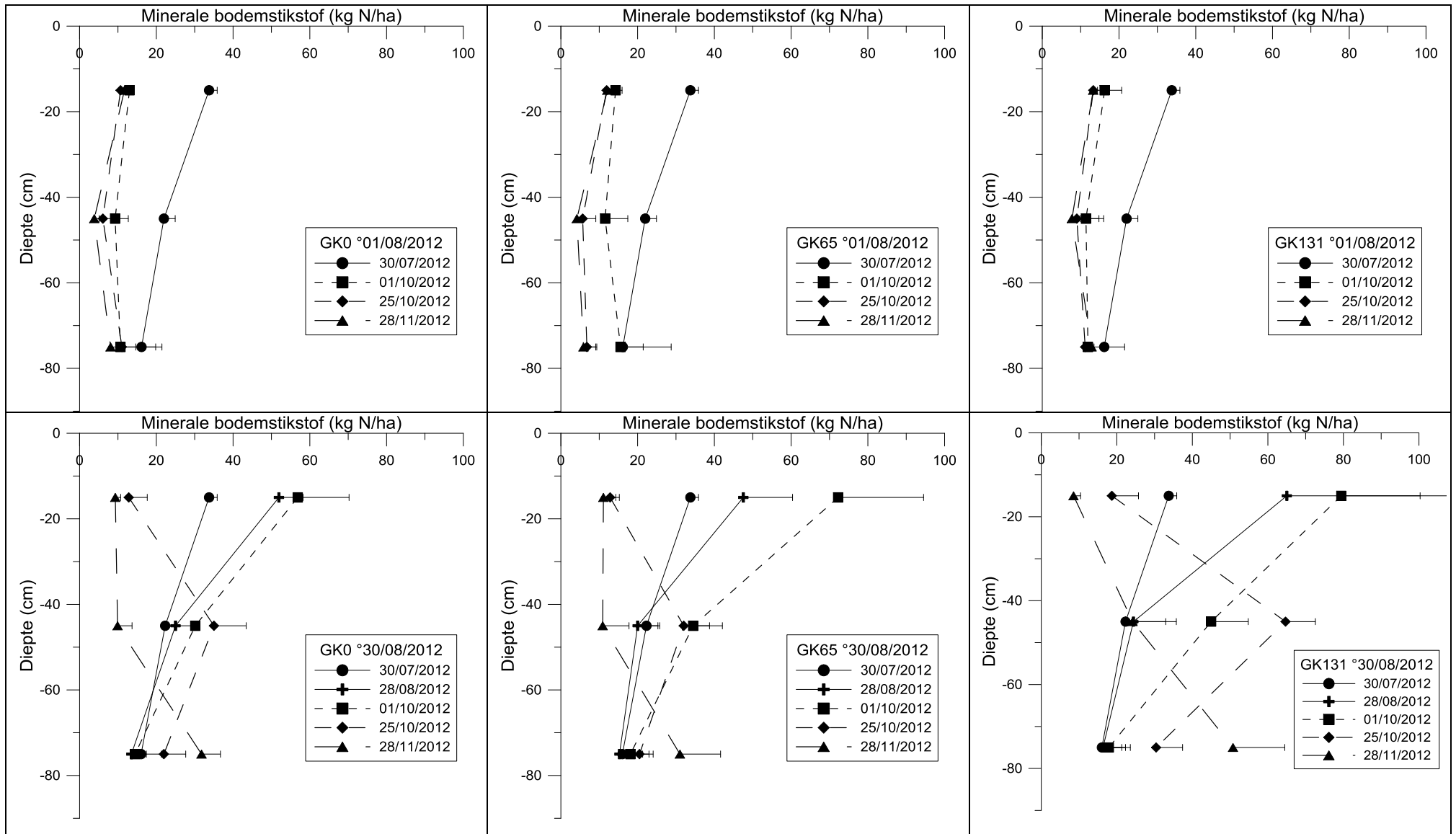


PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE

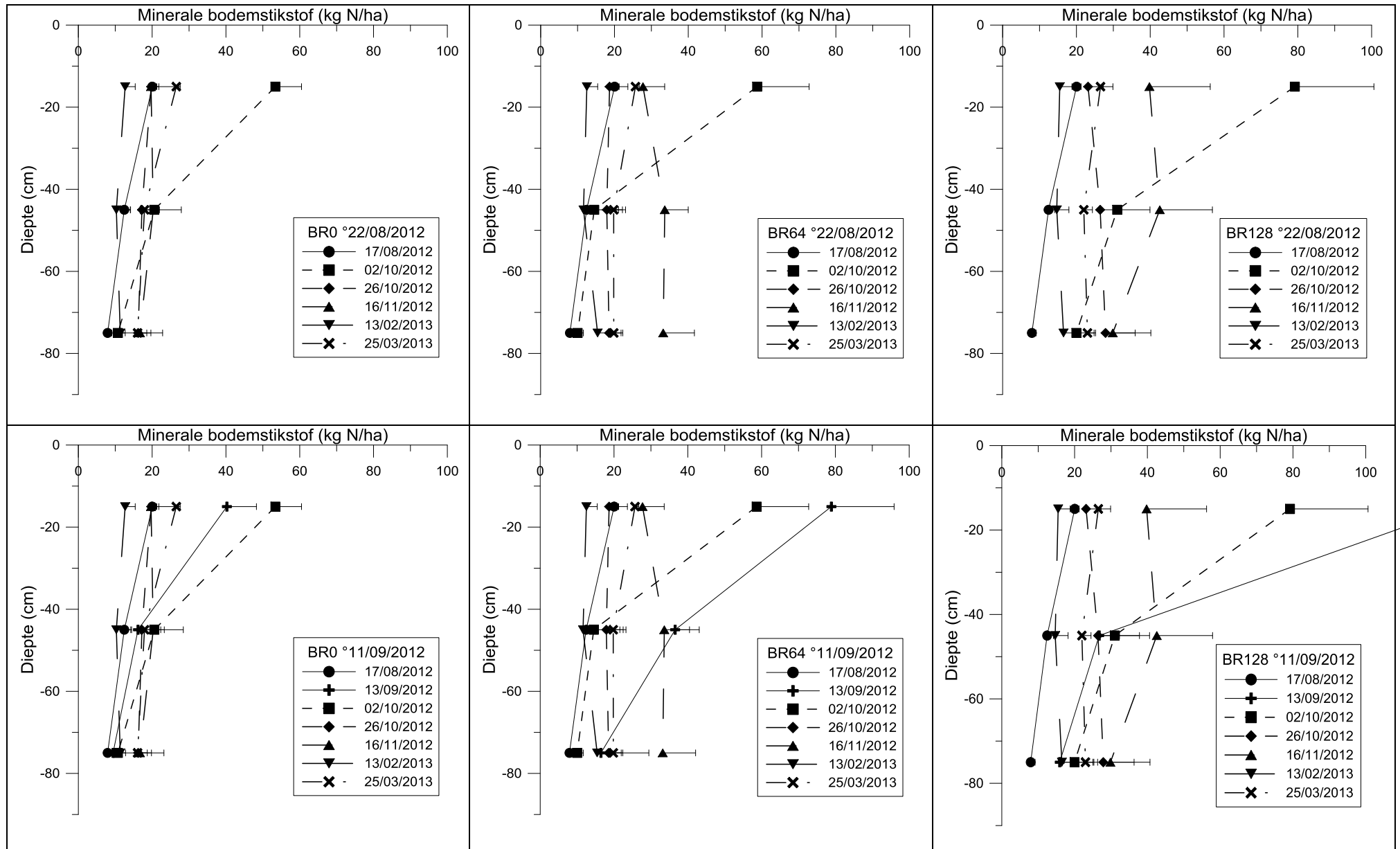




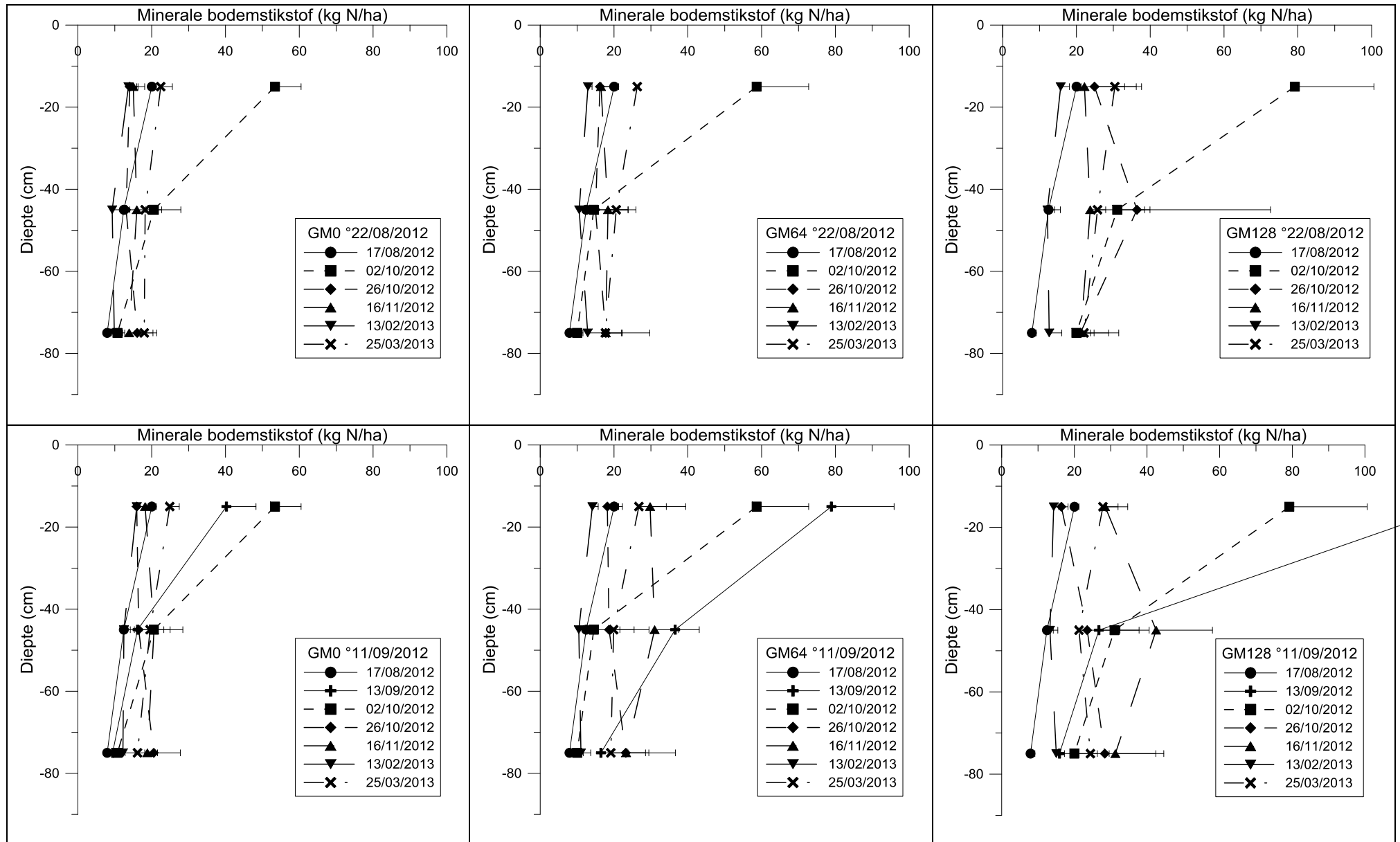
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF MERELBEKE



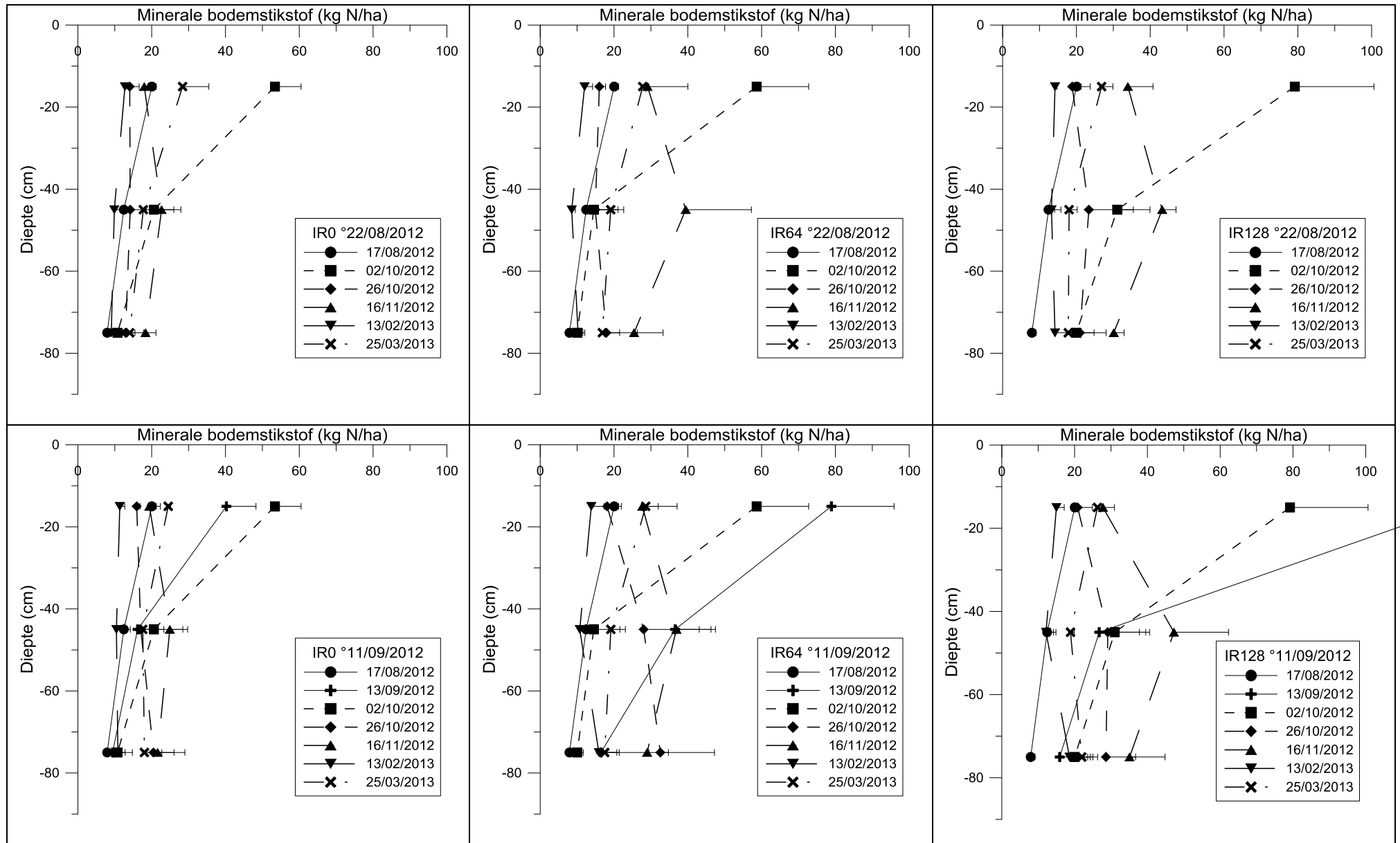
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF OOSTENDE



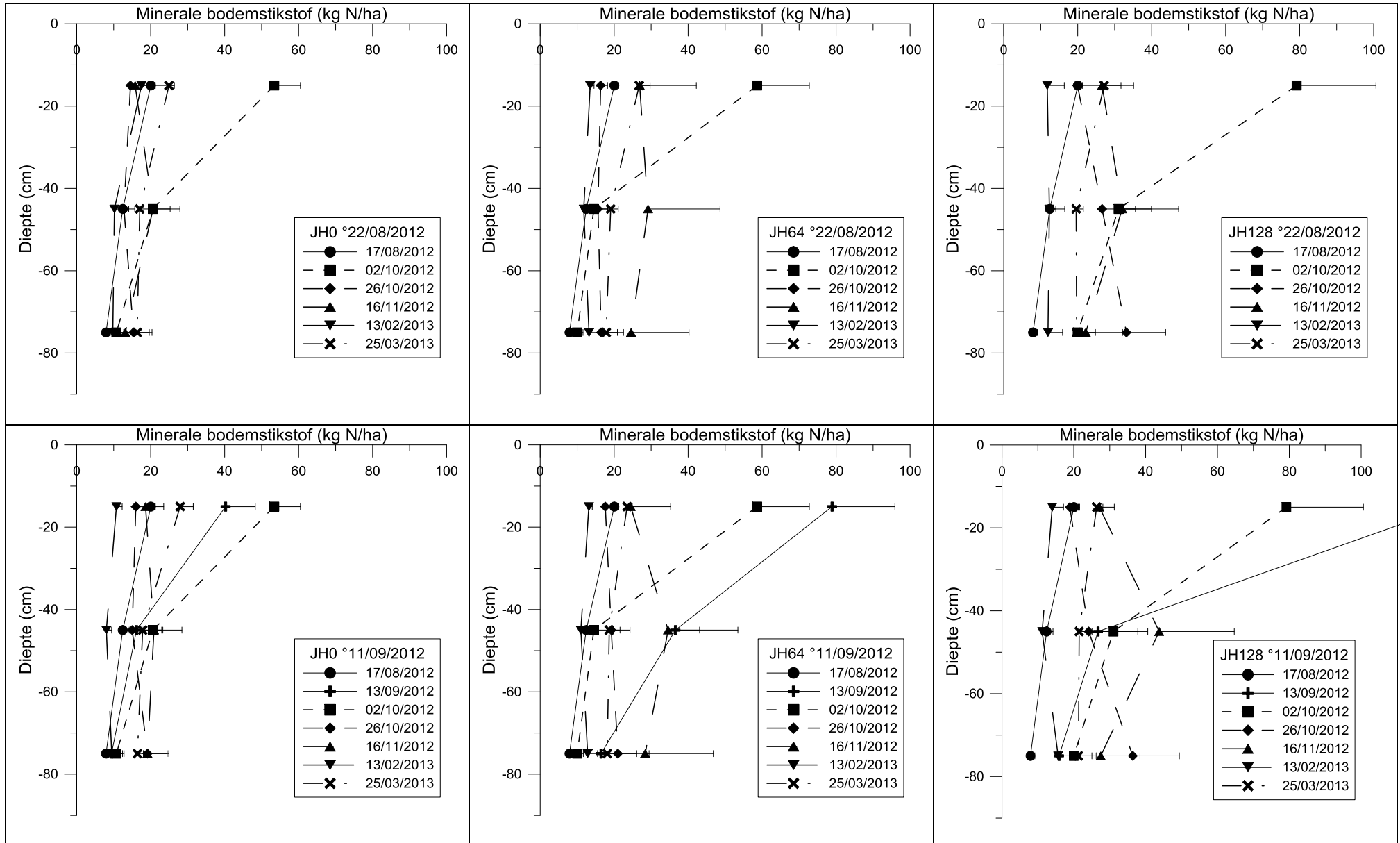
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF OOSTENDE



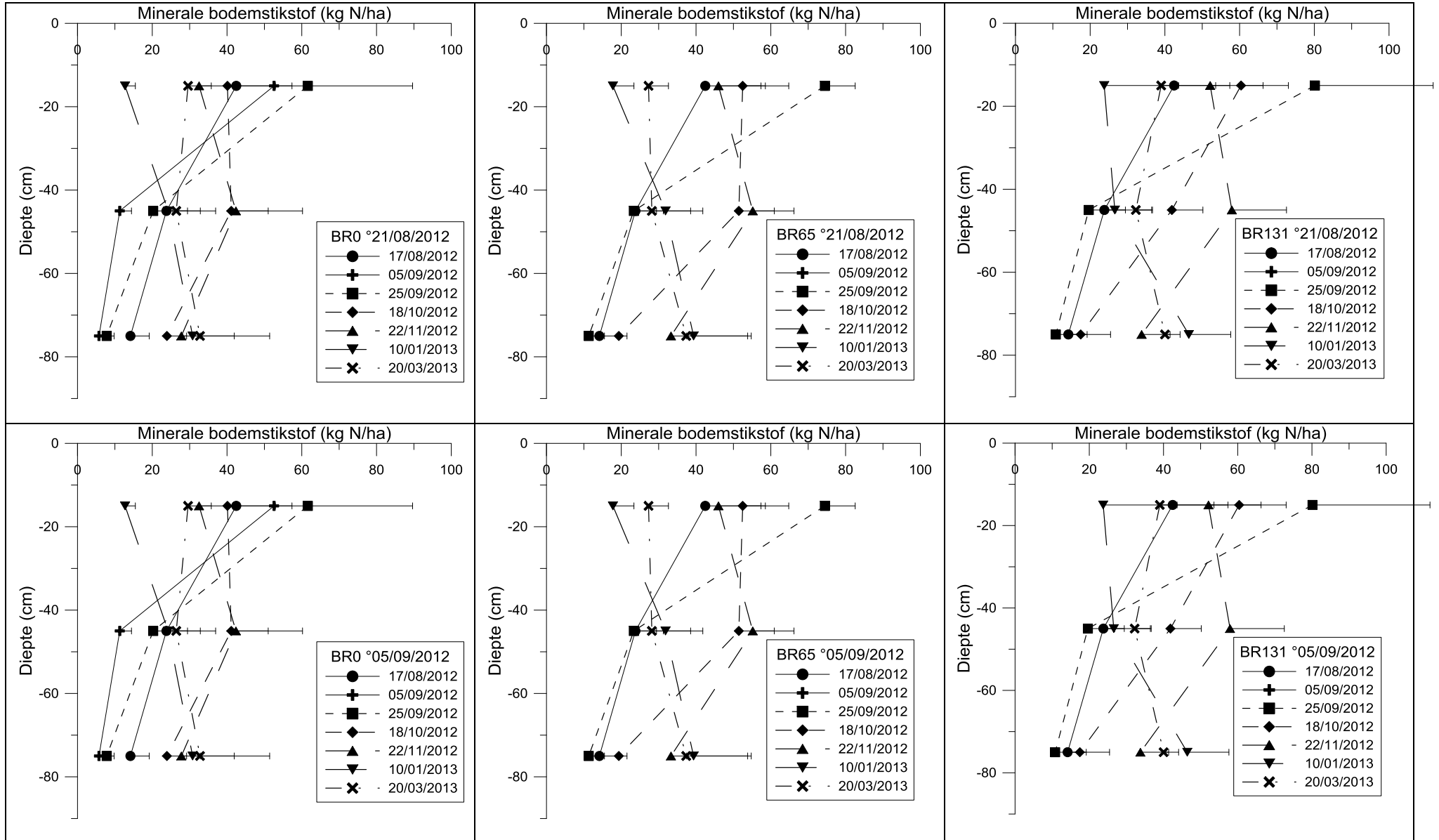
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF OOSTENDE



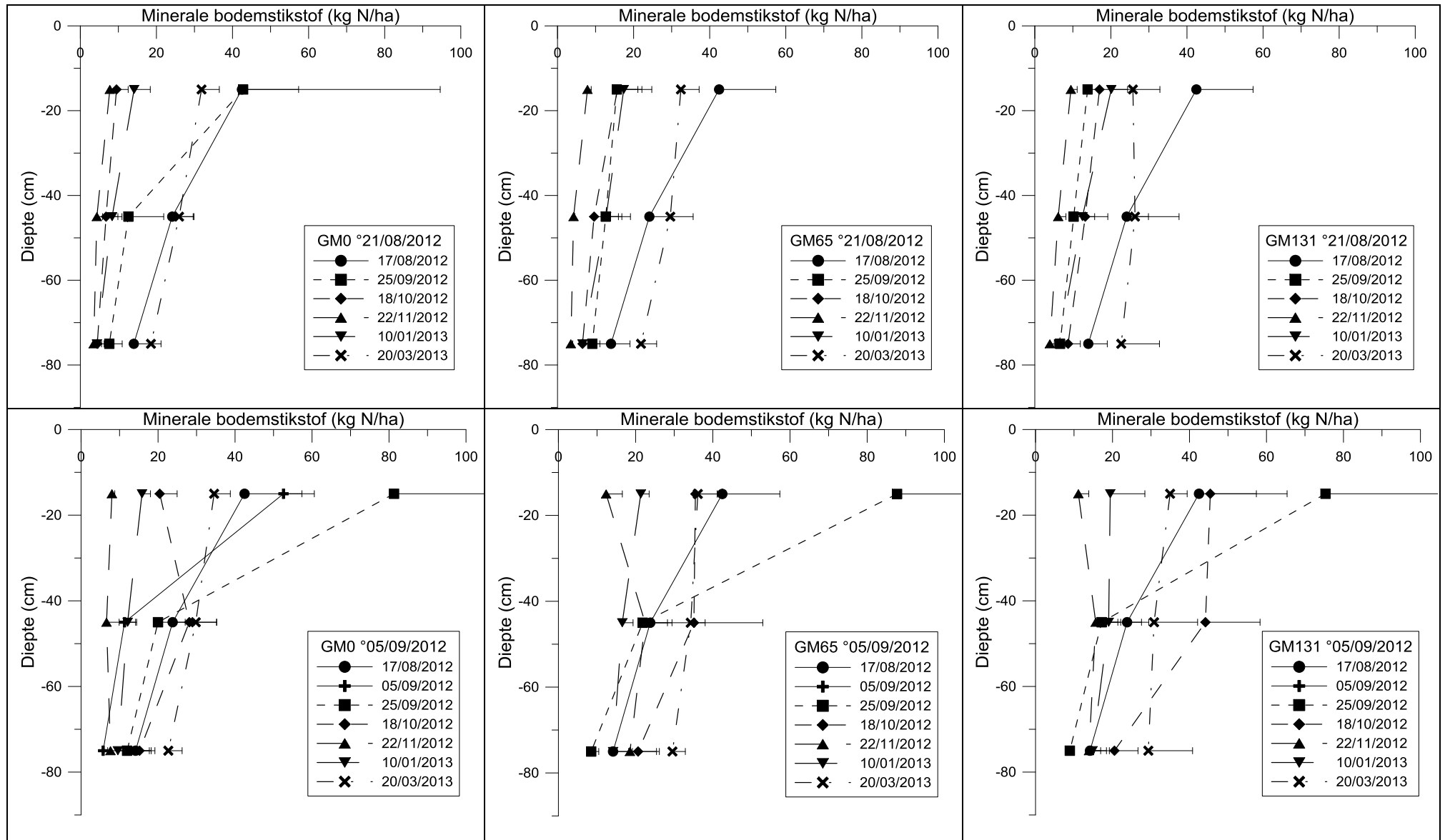
PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF OOSTENDE



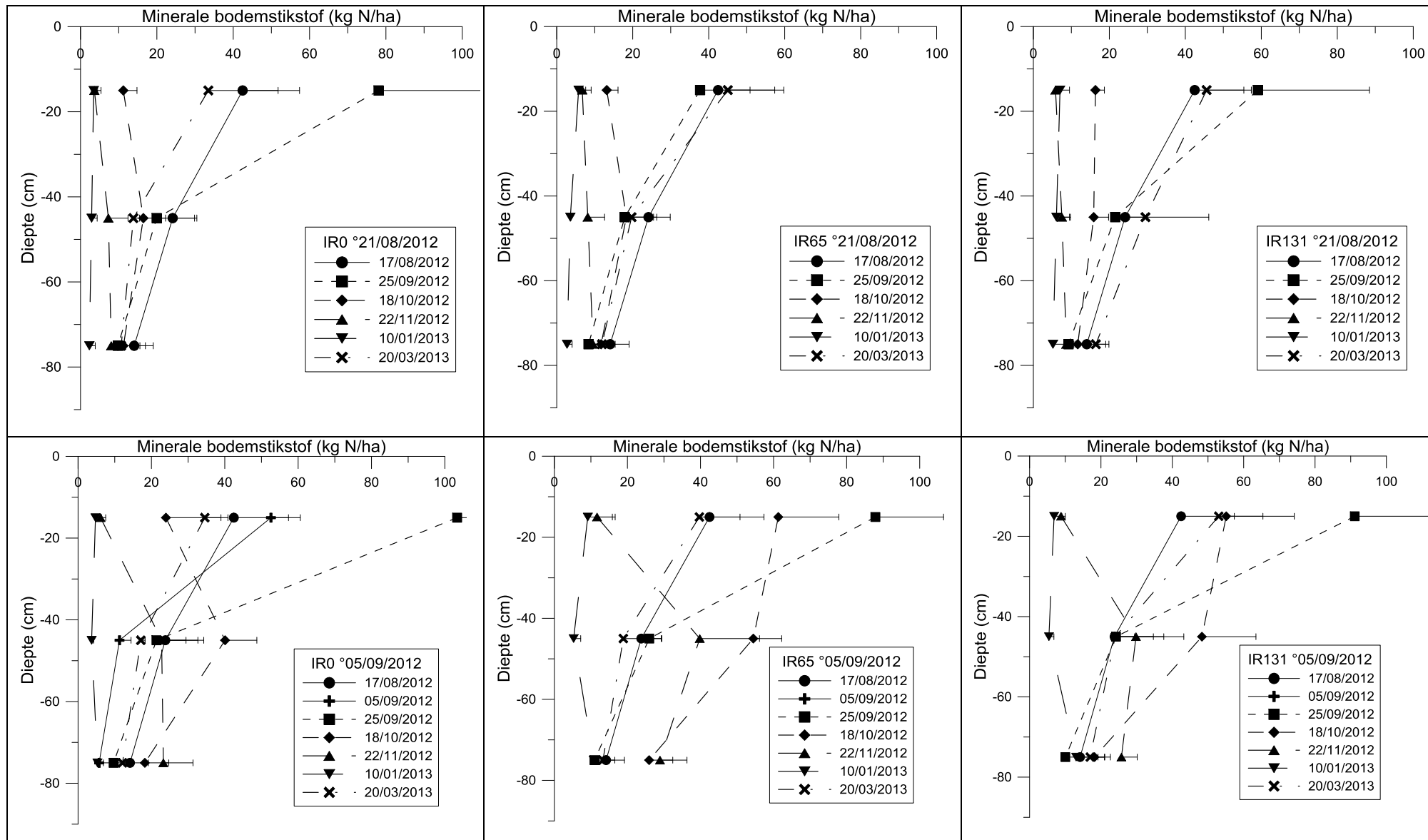
PROFIENEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON



PROFIELEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON

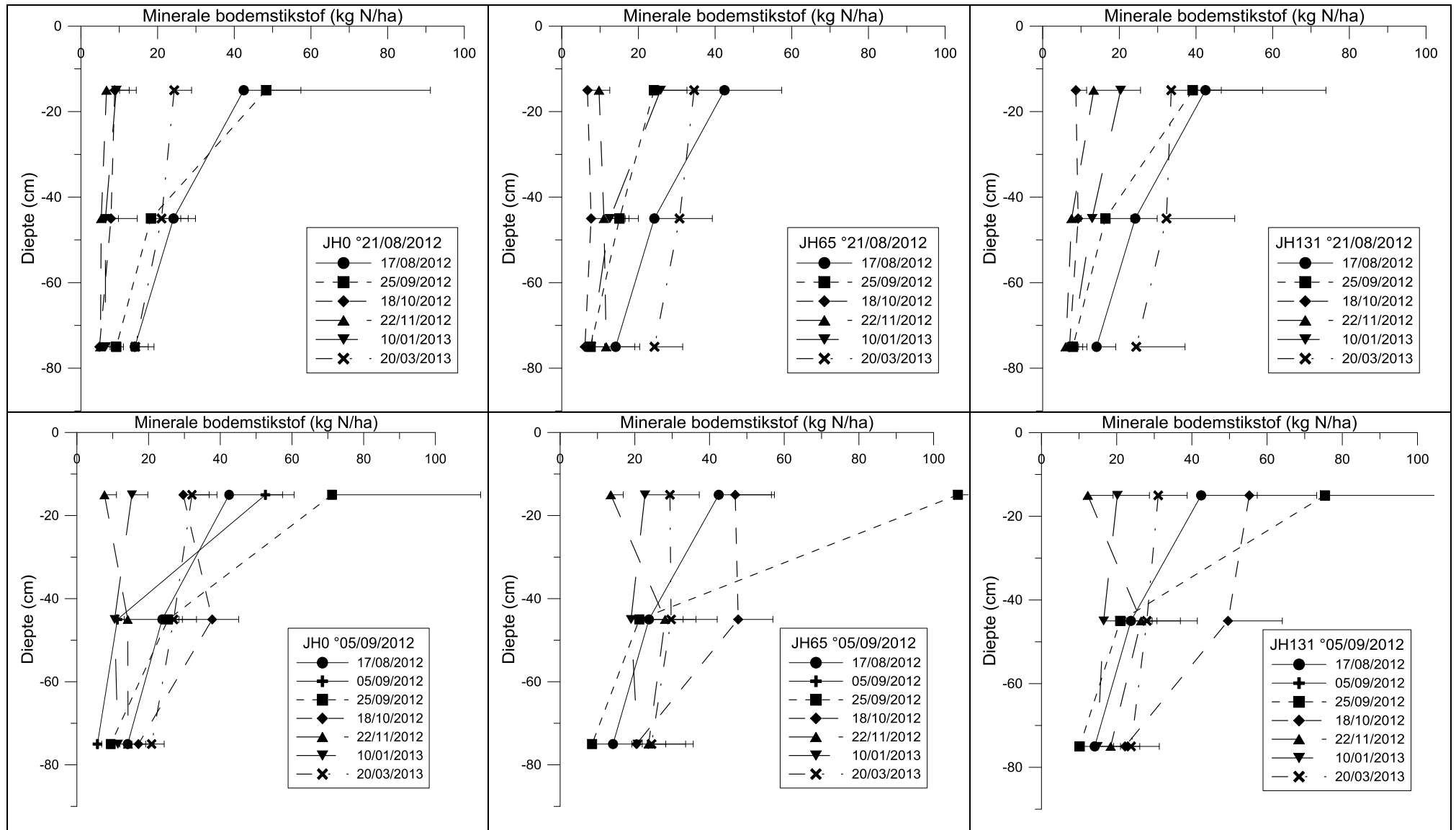


PROFIENEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON

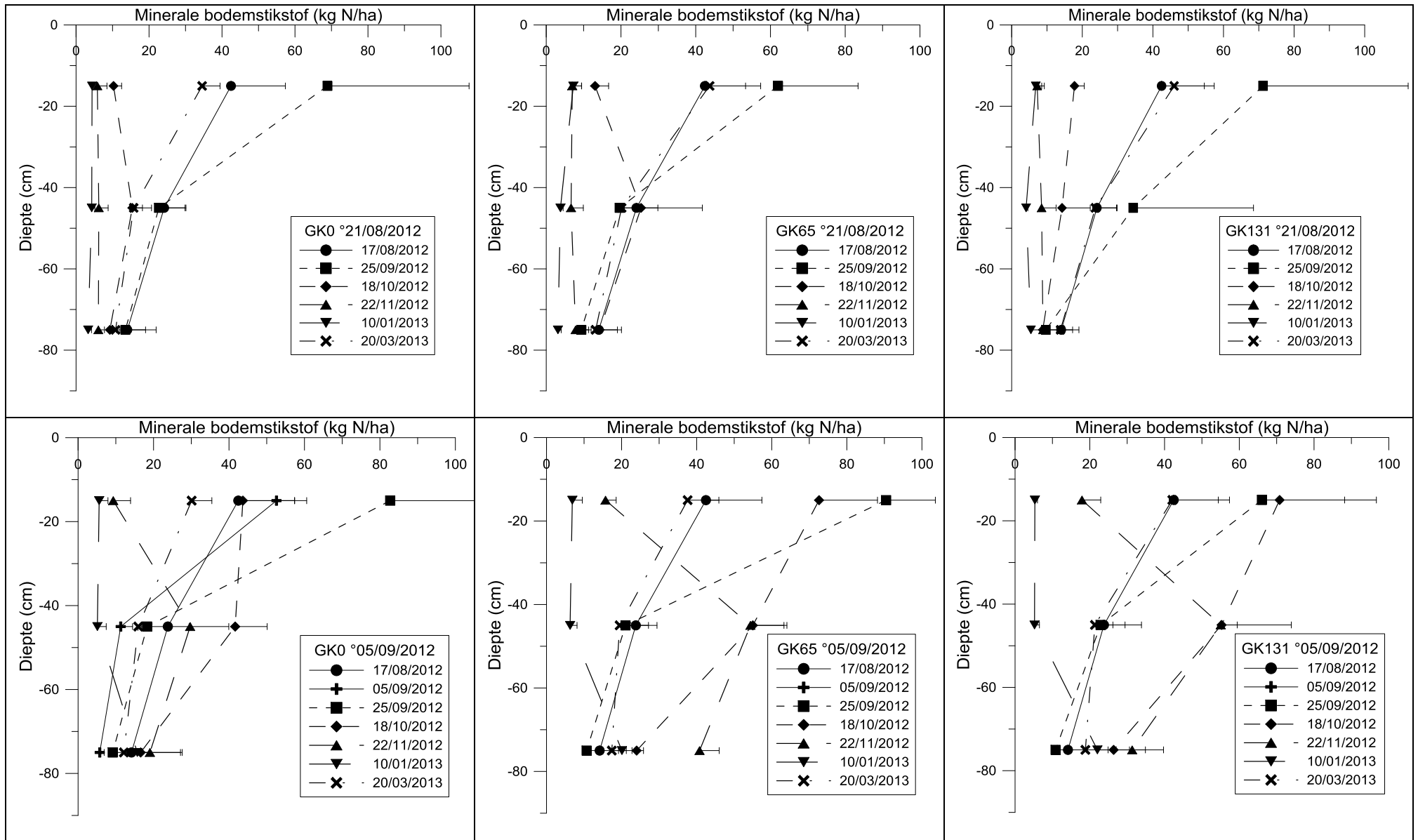




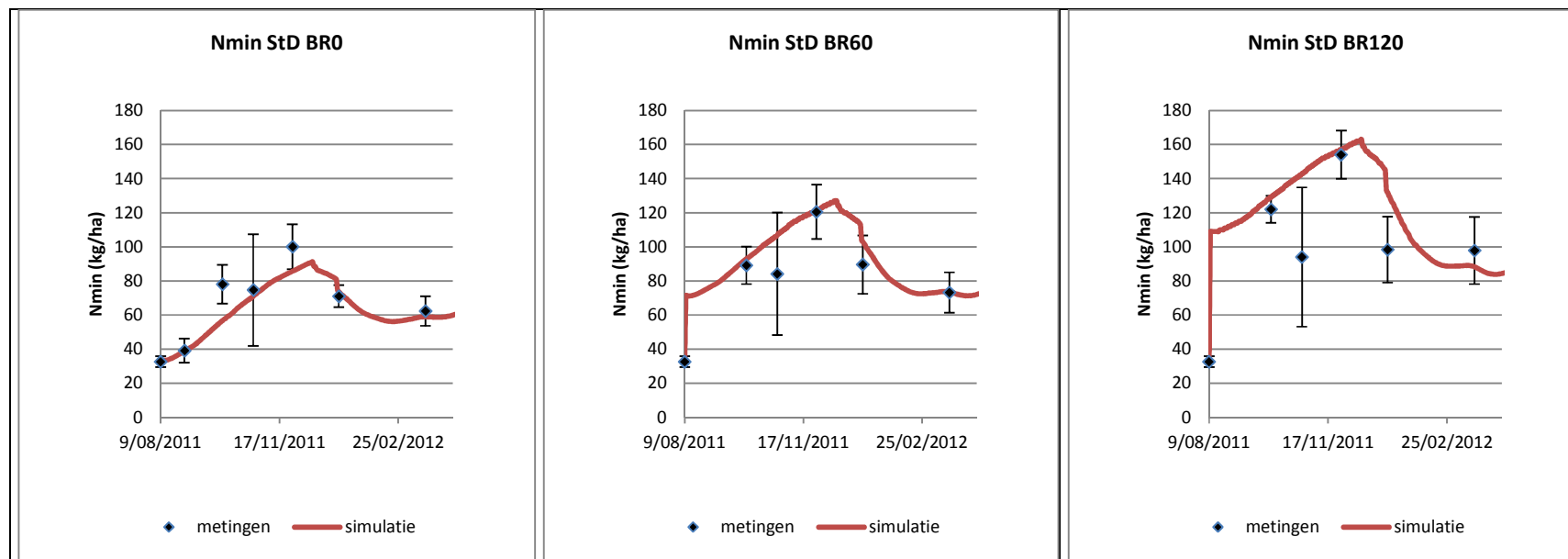
PROFIENEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON



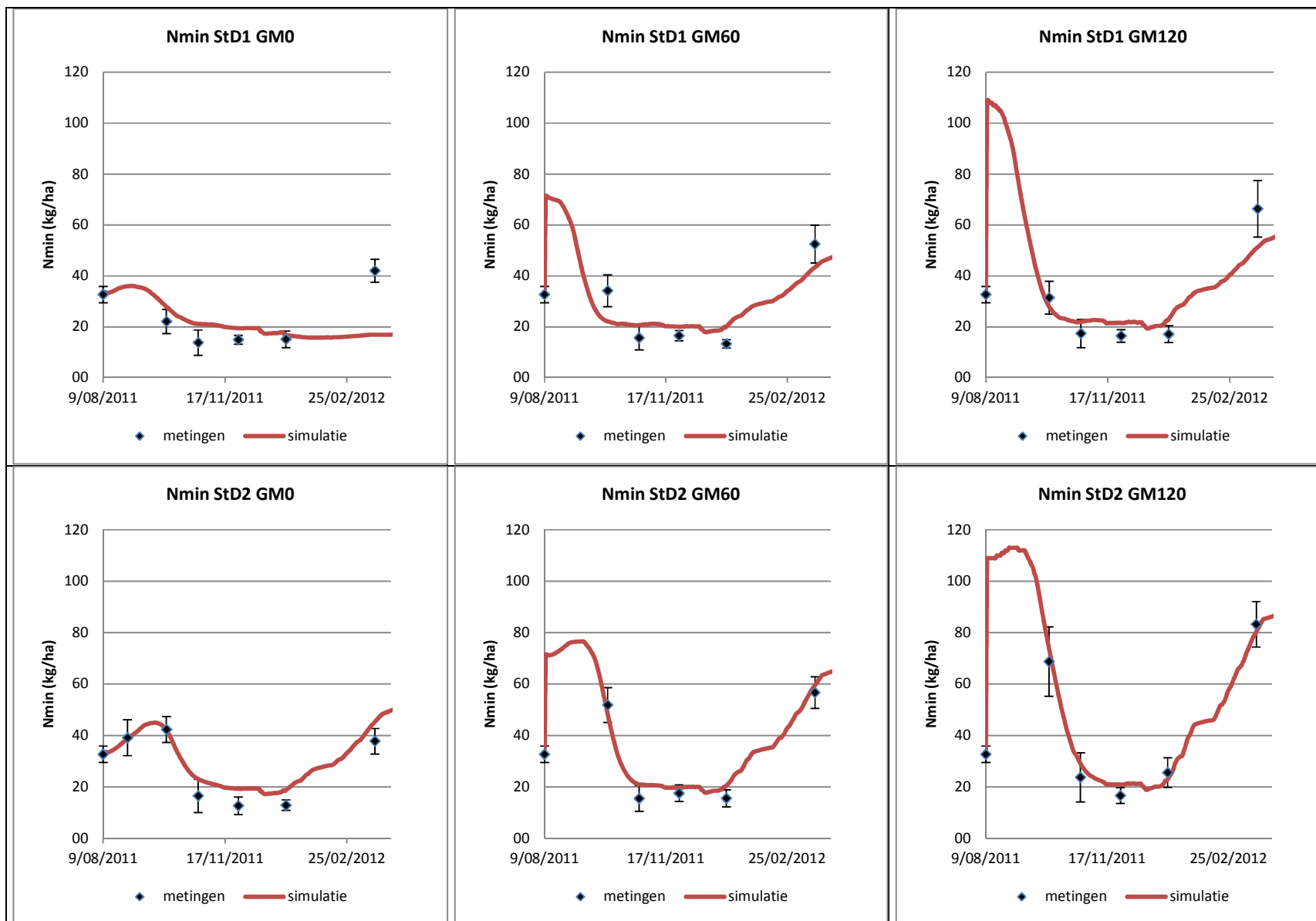
PROFIENEN MINERALE BODEMSTIKSTOF RUKKELINGEN-LOON



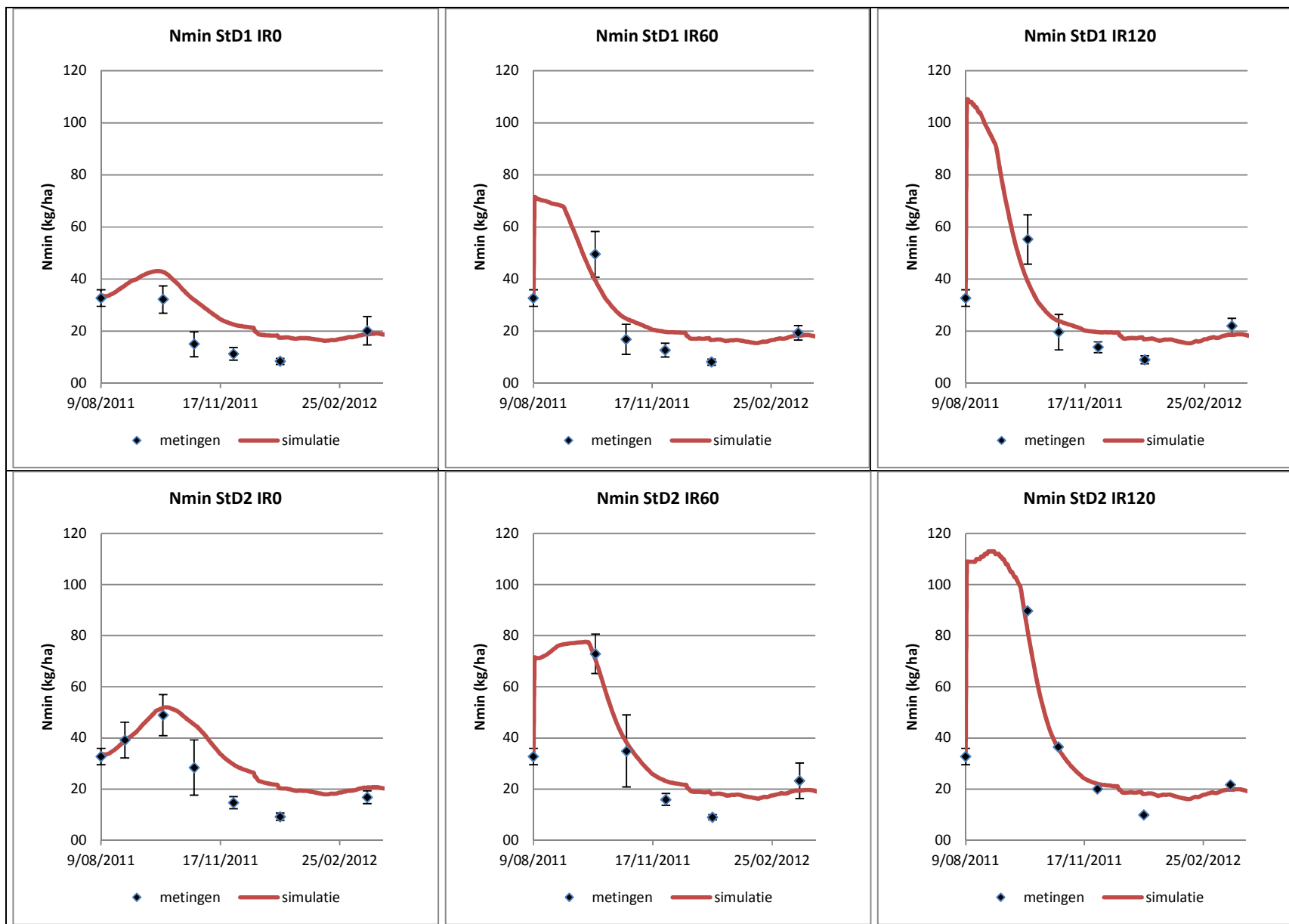
Bijlage 11: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)



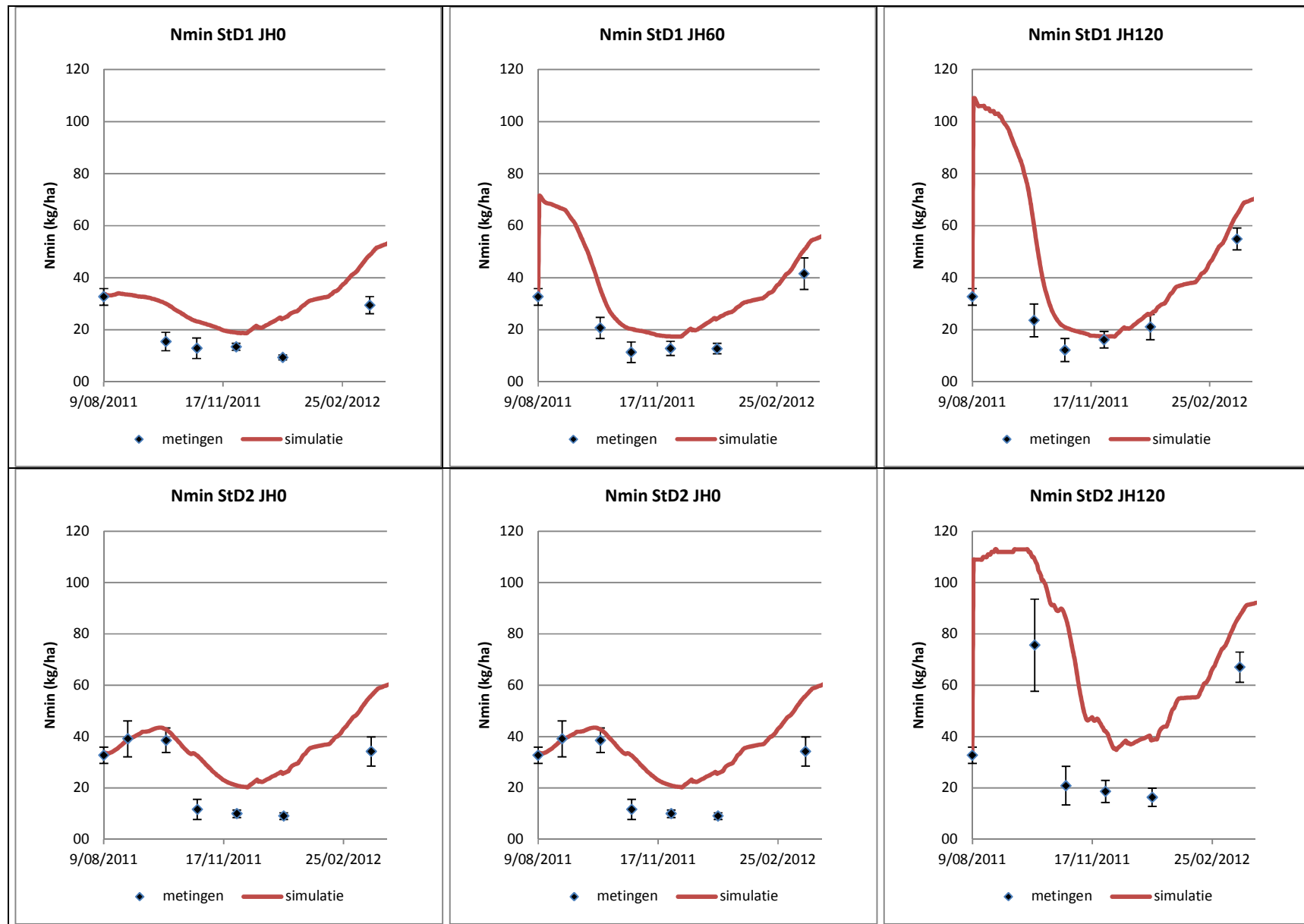
Bijlage 11: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)



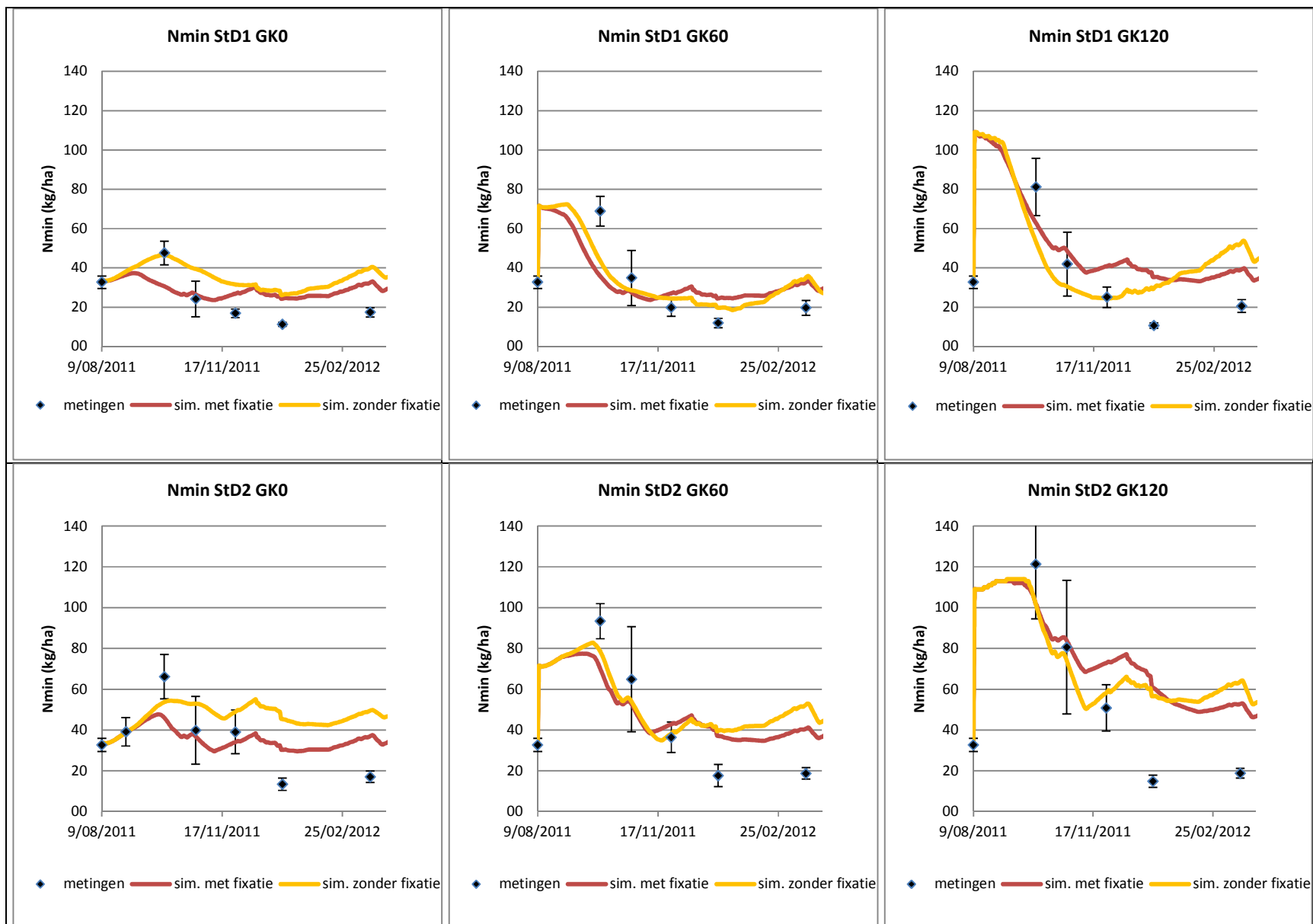
Bijlage 11: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)



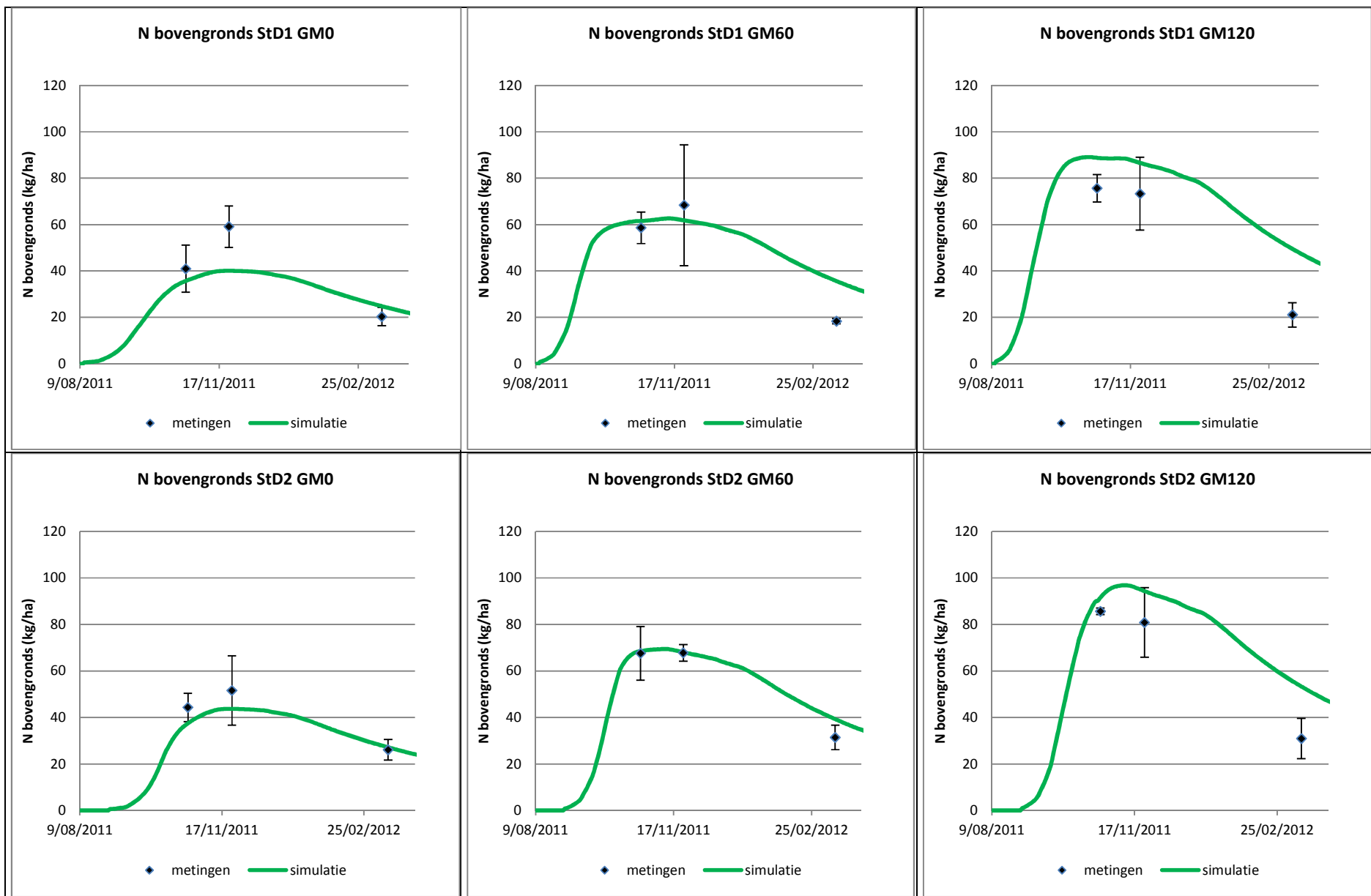
Bijlage 11: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)



Bijlage 11: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)

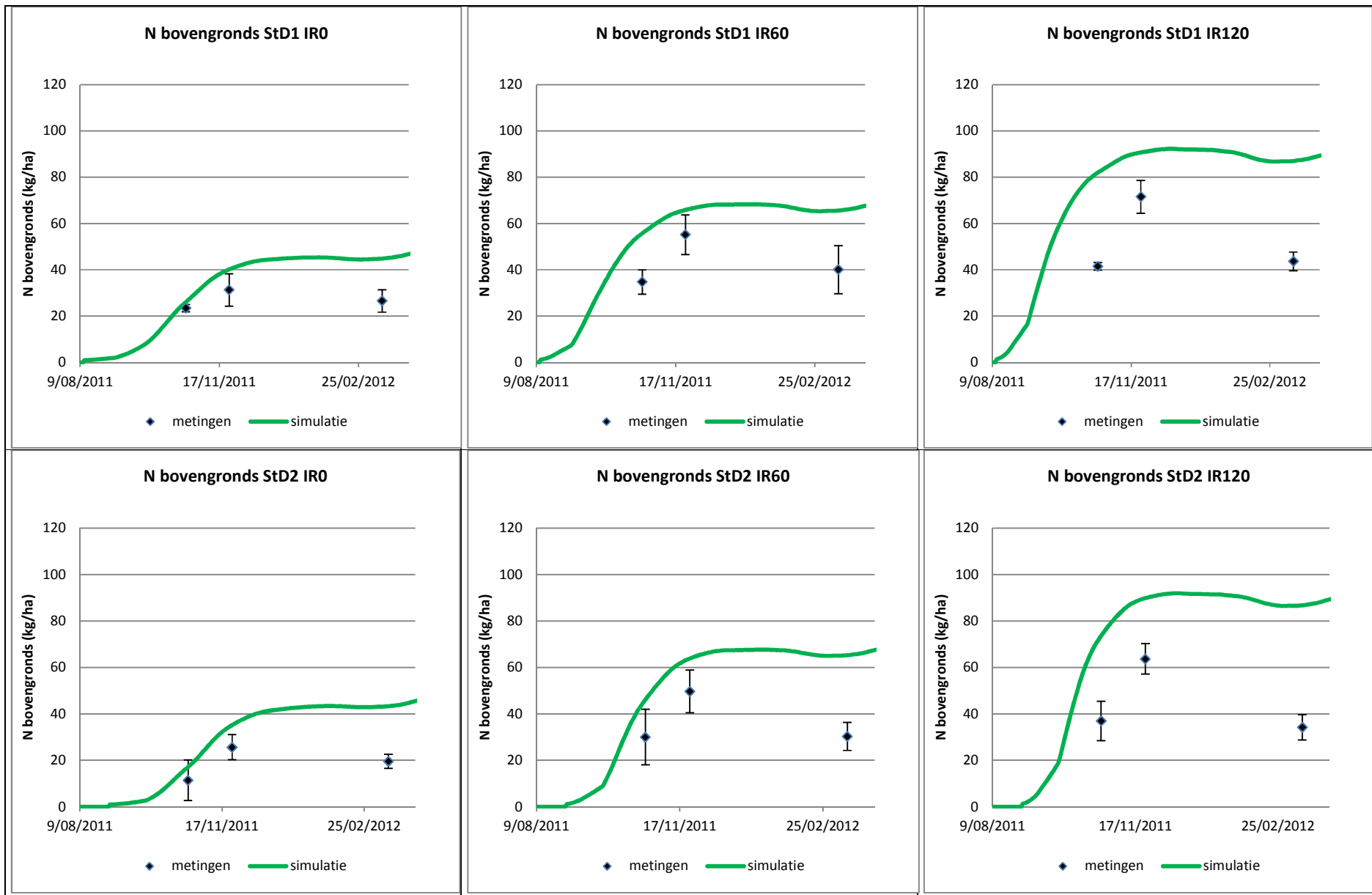


Bijlage 12: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)

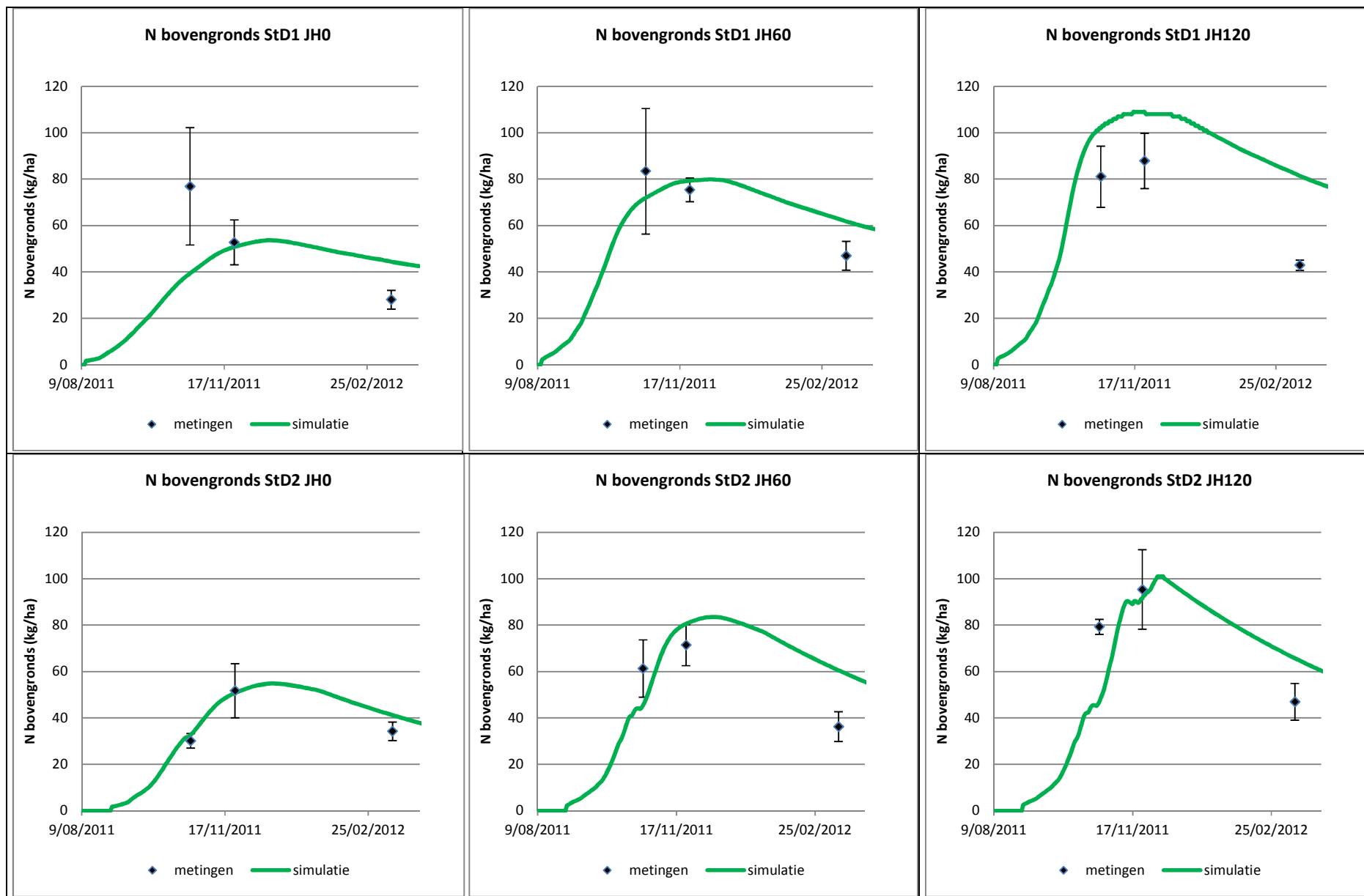




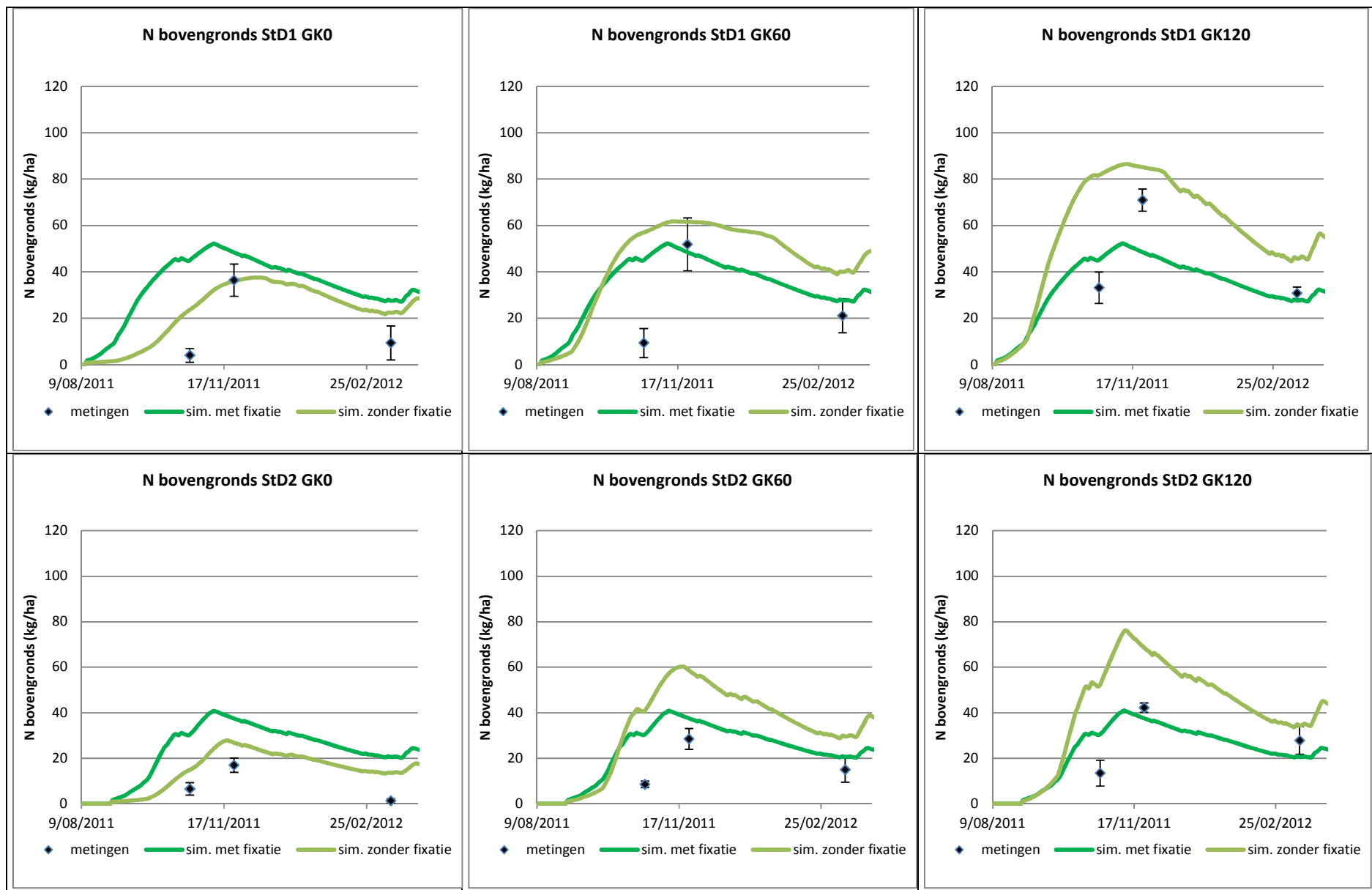
Bijlage 12: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)



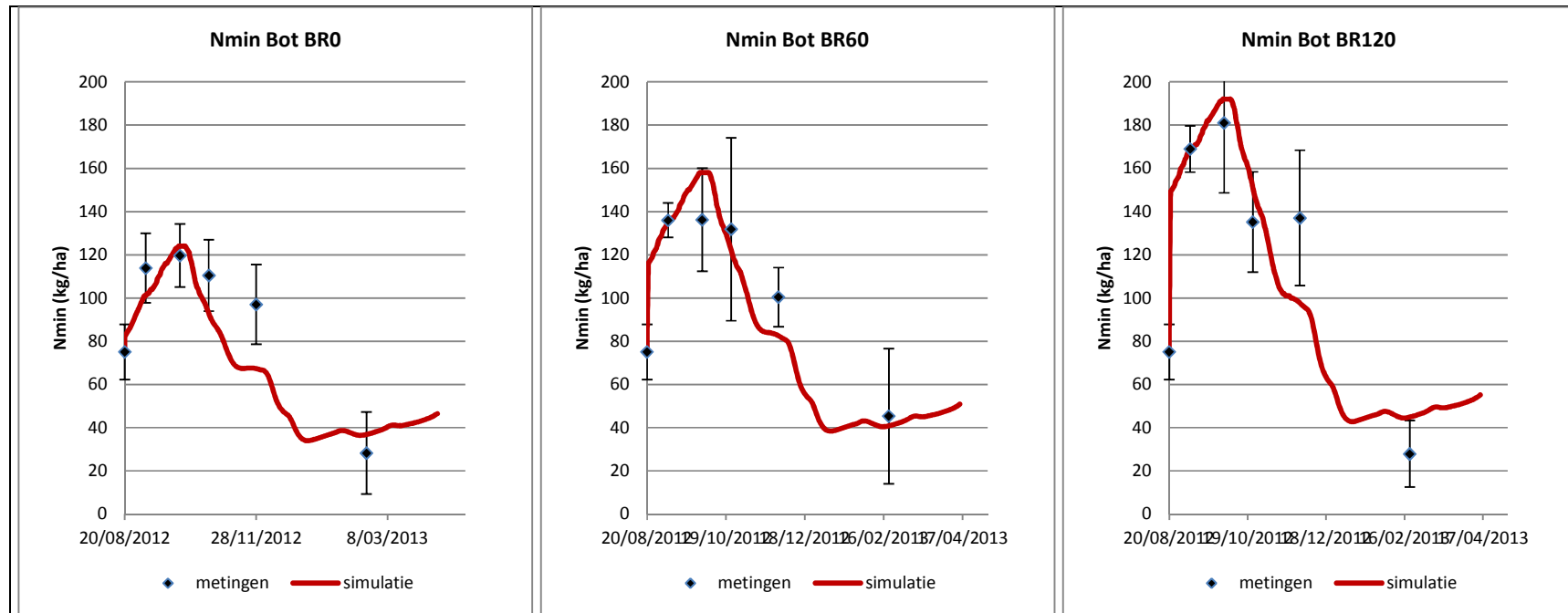
Bijlage 12: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)



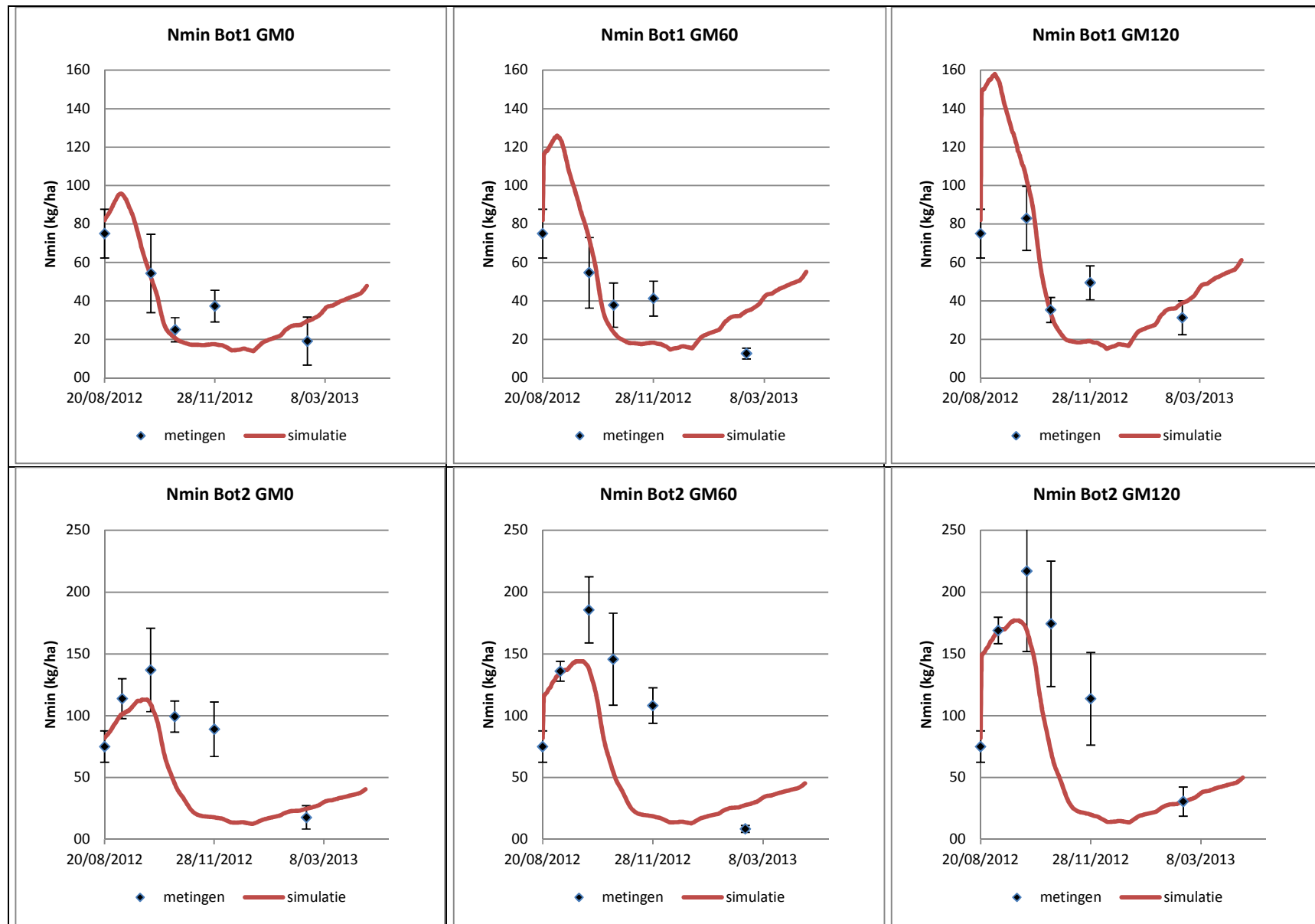
Bijlage 12: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Sint-Denijs (1e proefjaar)



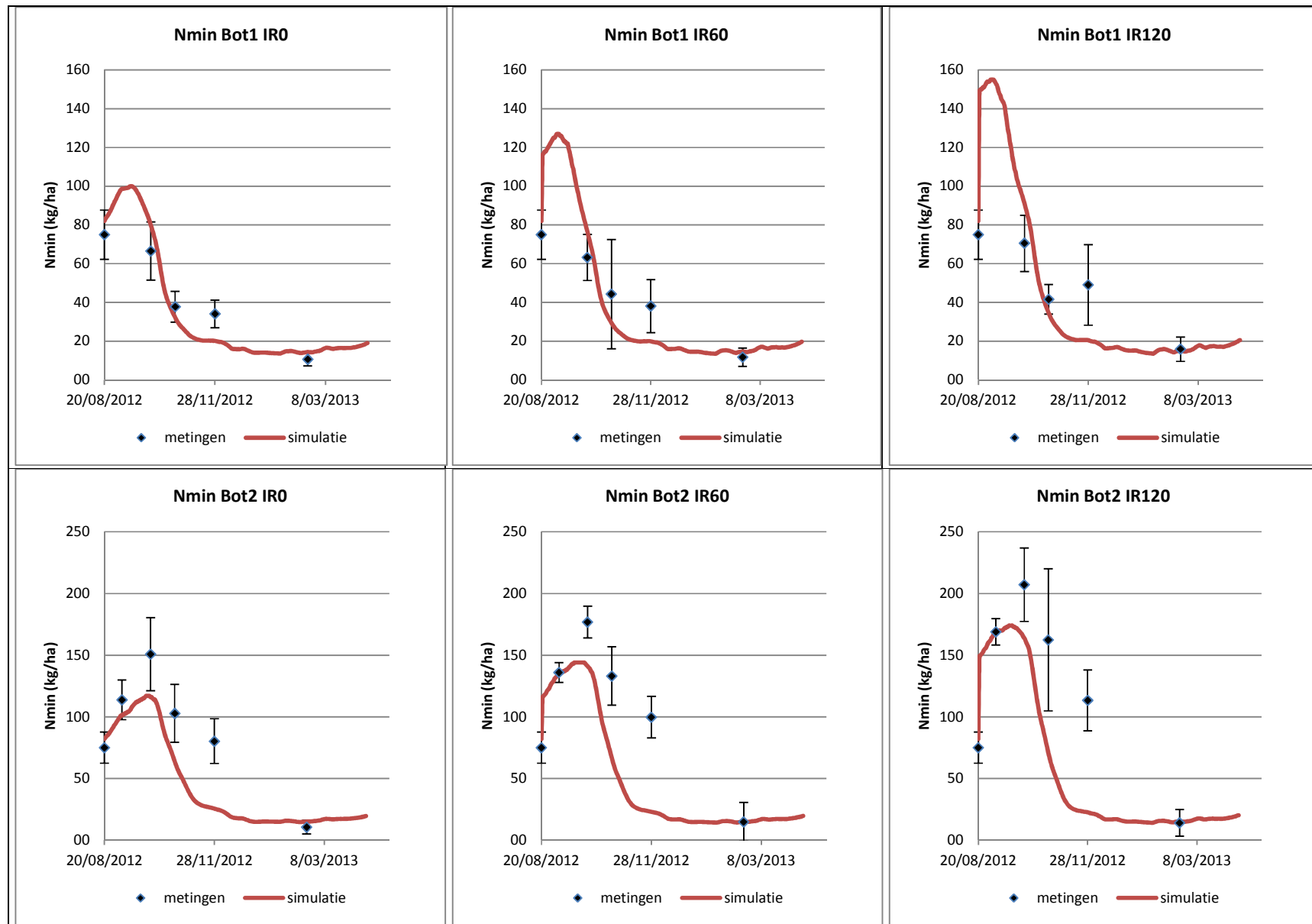
Bijlage 13: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)



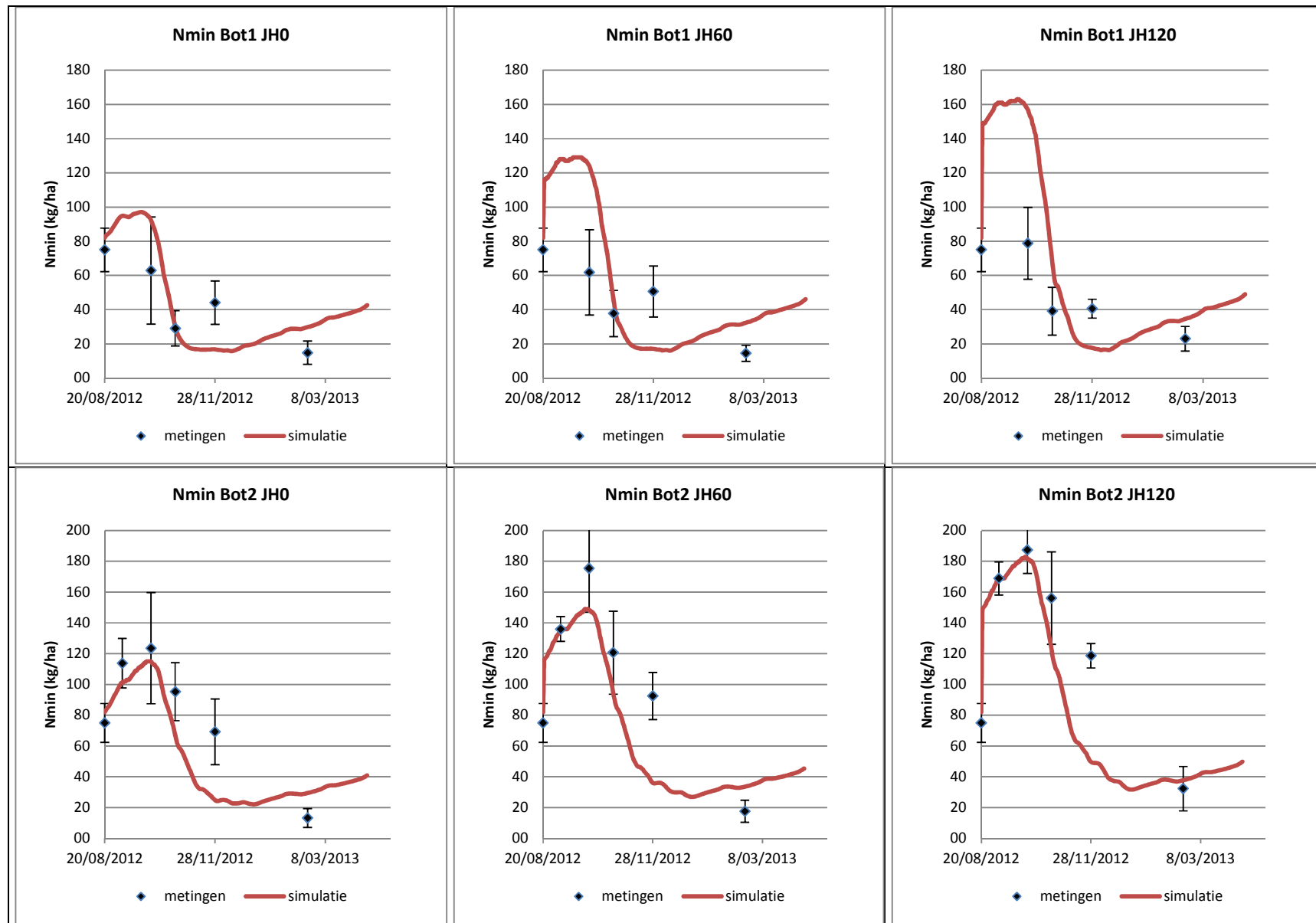
Bijlage 13: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)



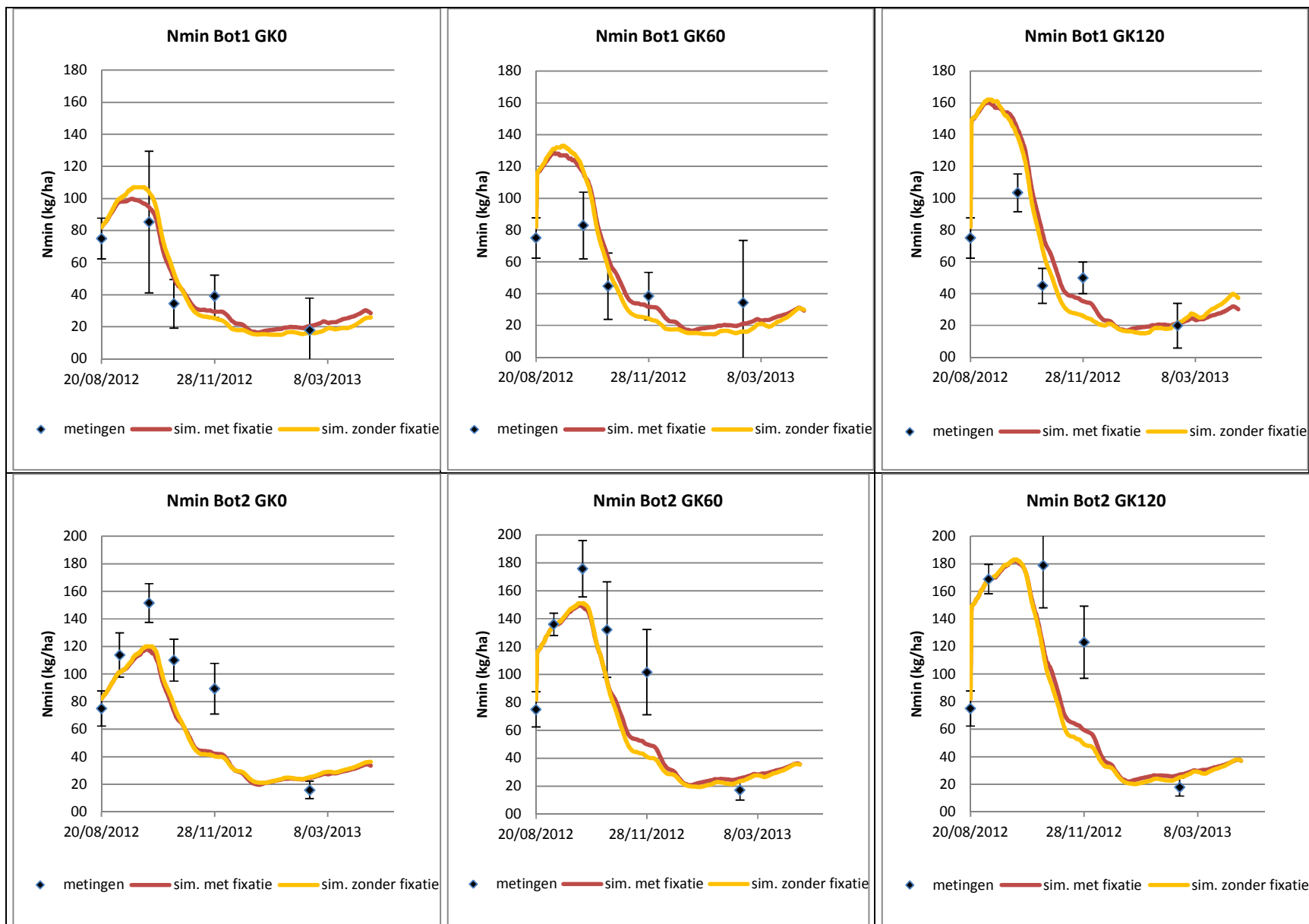
Bijlage 13: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)



Bijlage 13: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)

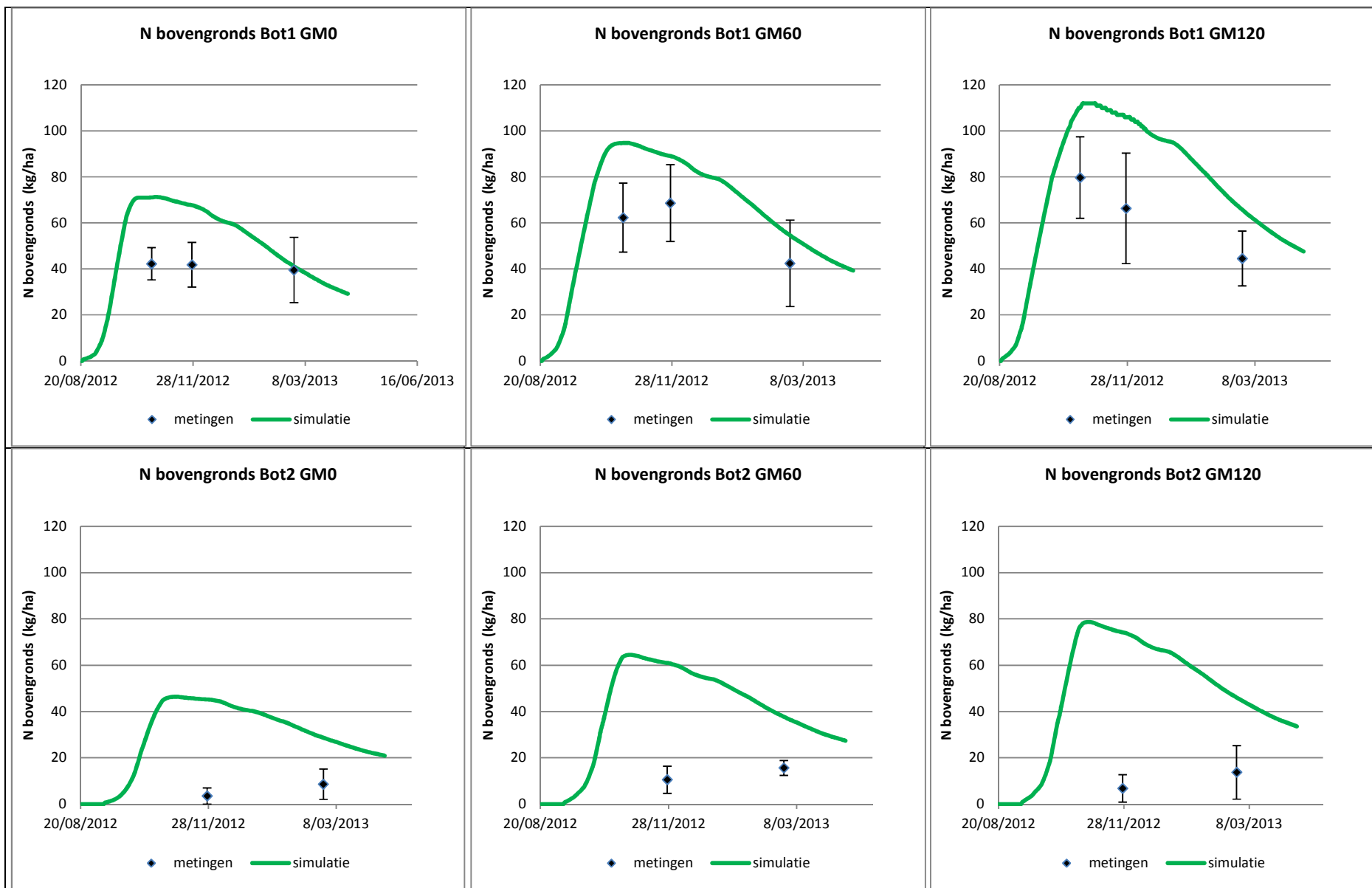


Bijlage 13: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)

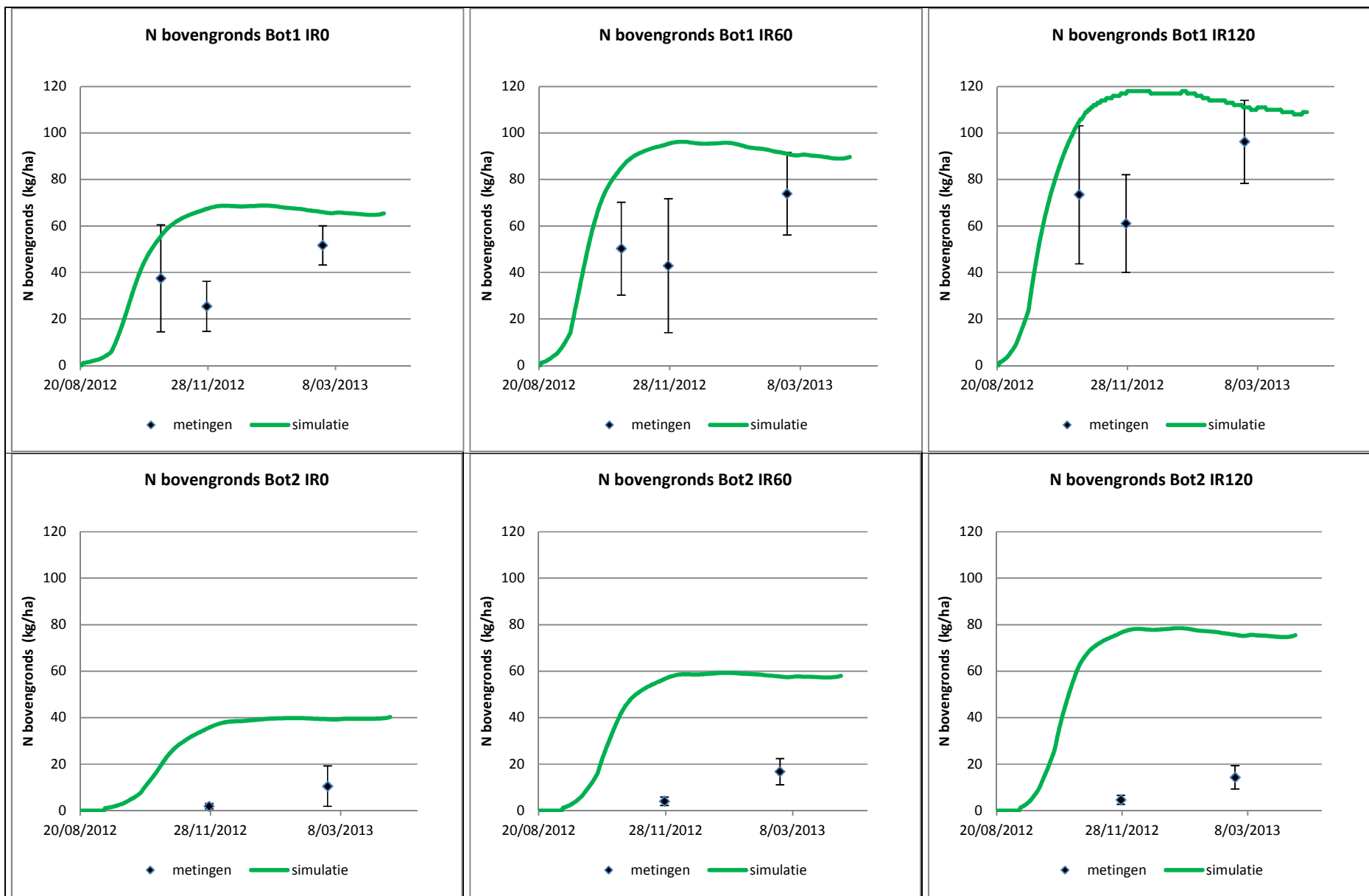




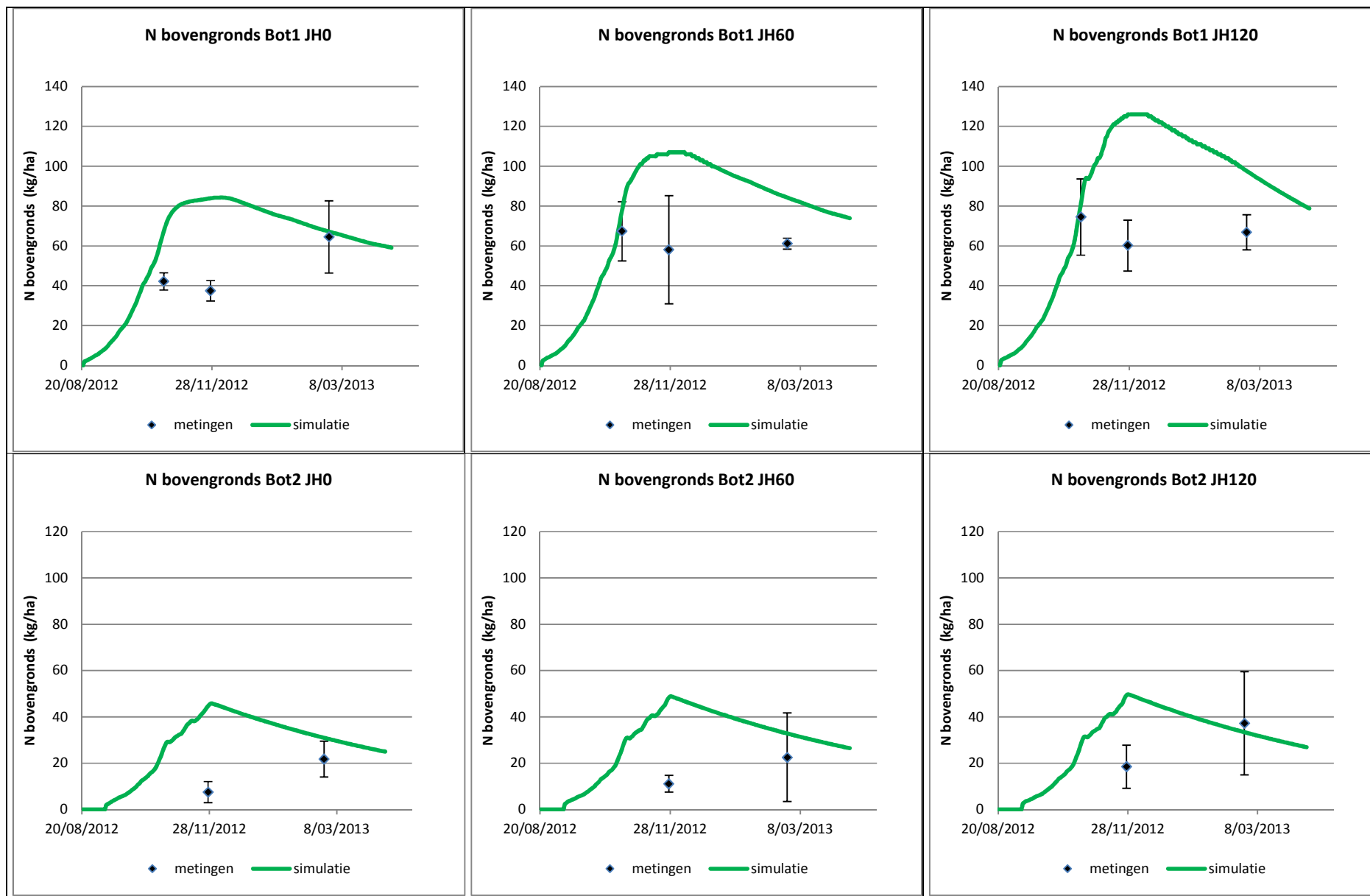
Bijlage 14: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)



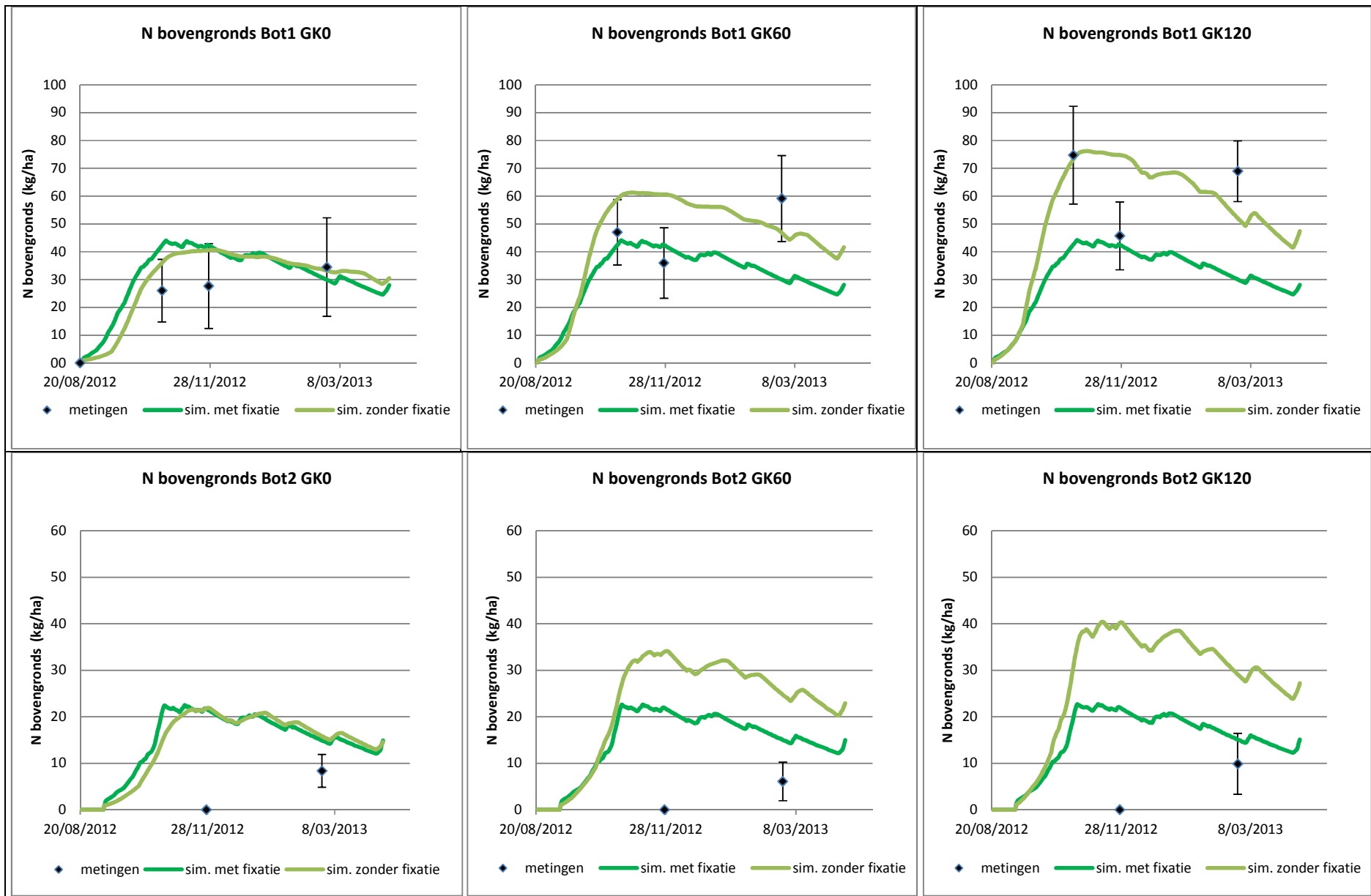
Bijlage 14: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)



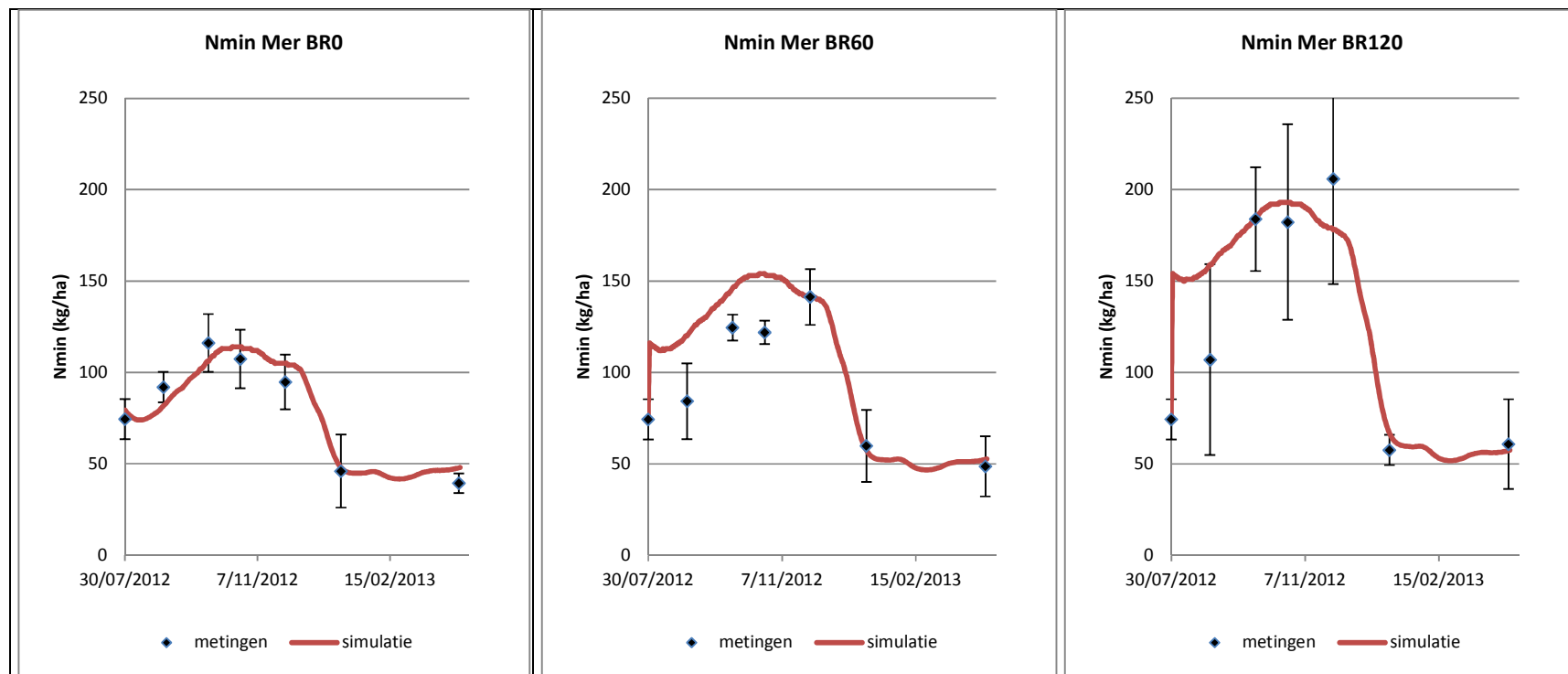
Bijlage 14: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)



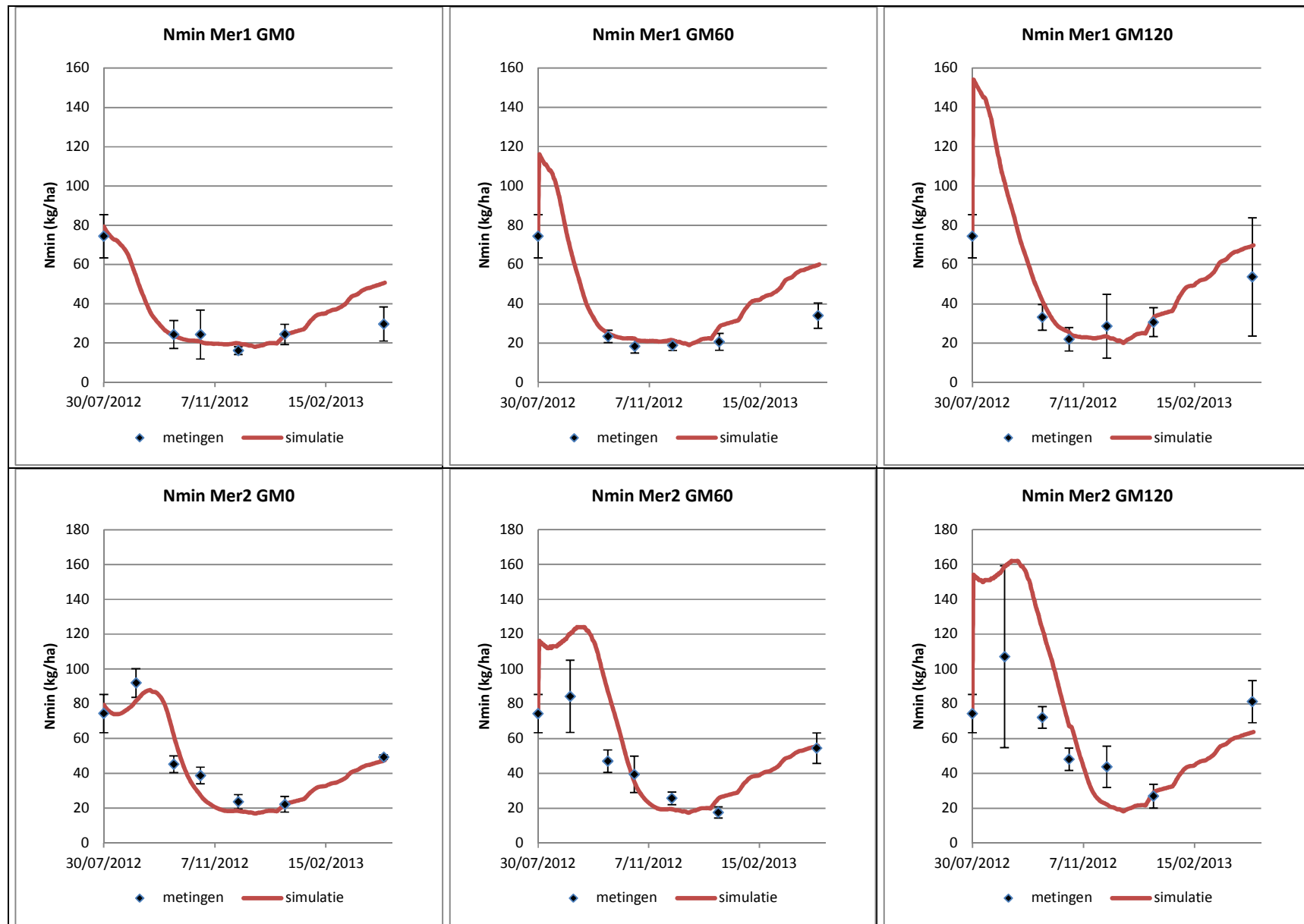
Bijlage 14: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Bottelare (2e proefjaar)



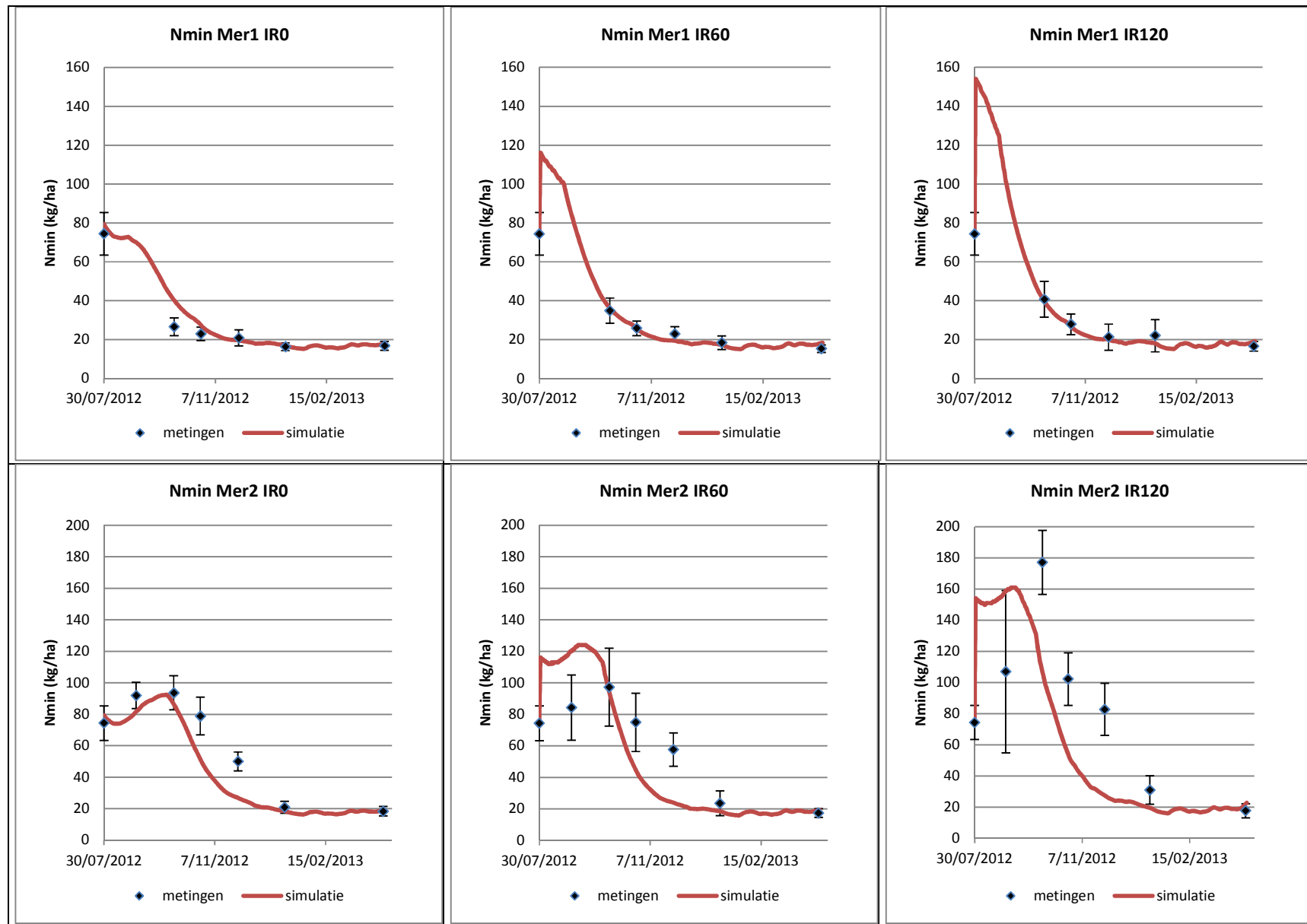
Bijlage 15: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)



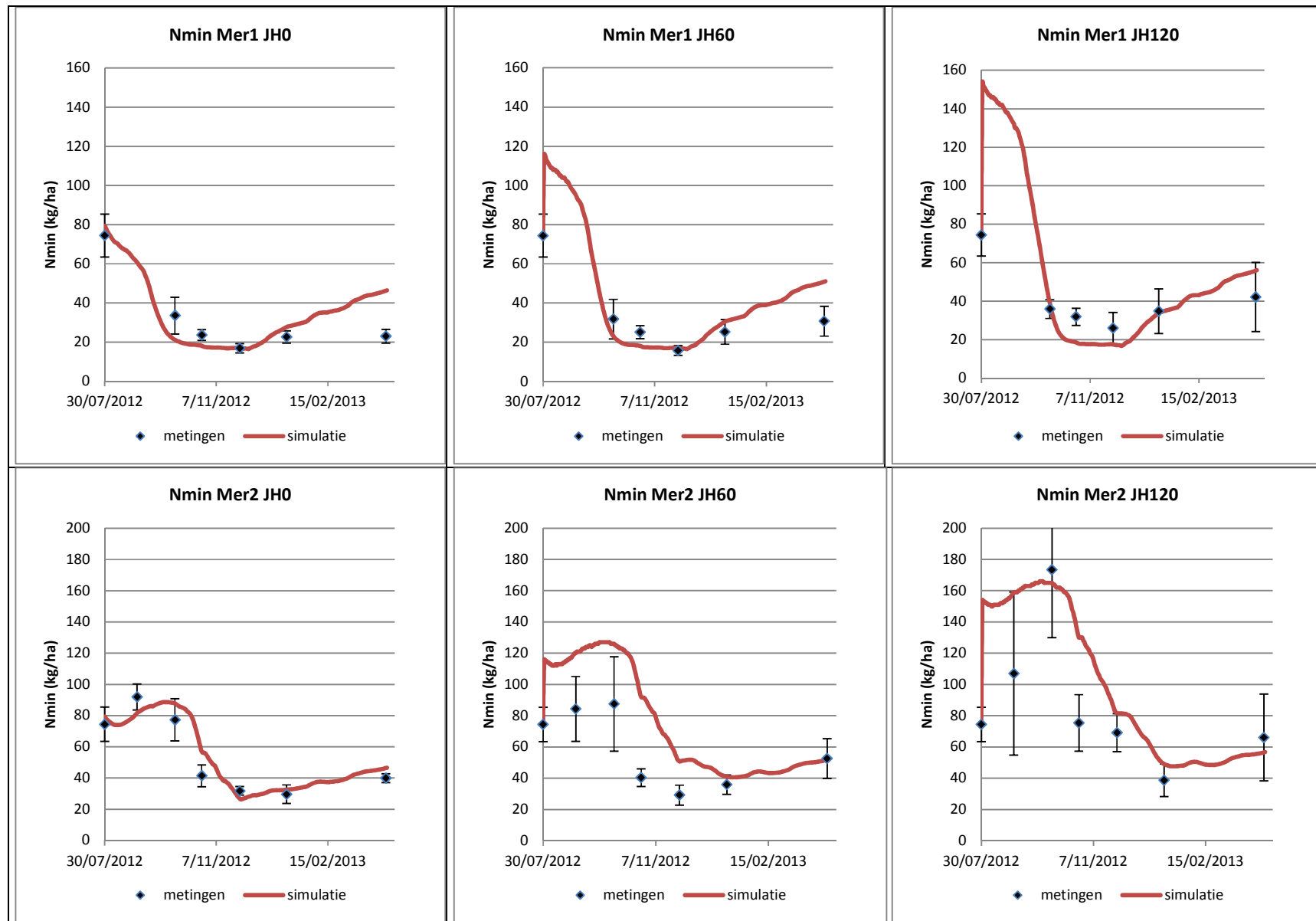
Bijlage 15: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)



Bijlage 15: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)

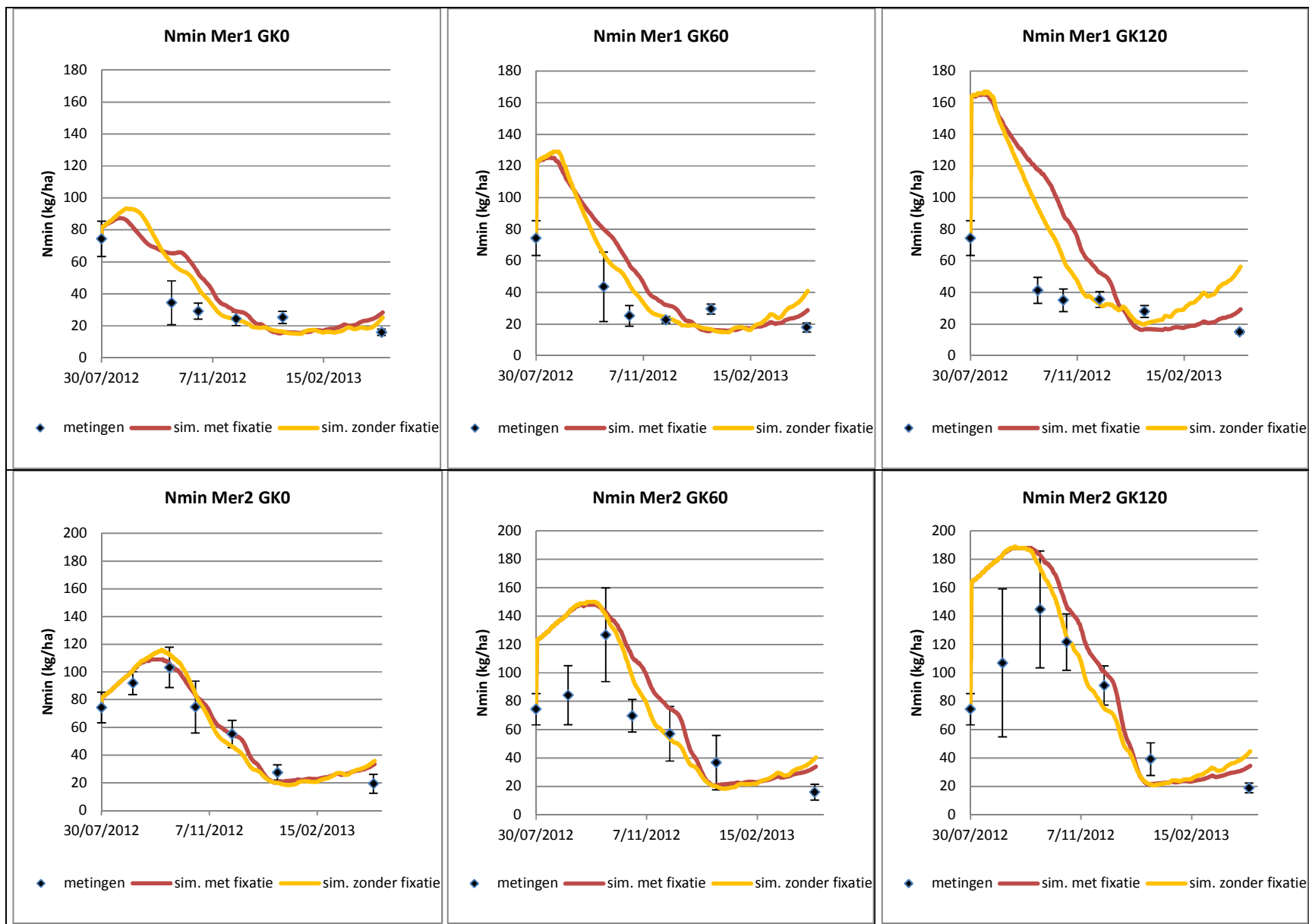


Bijlage 15: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)

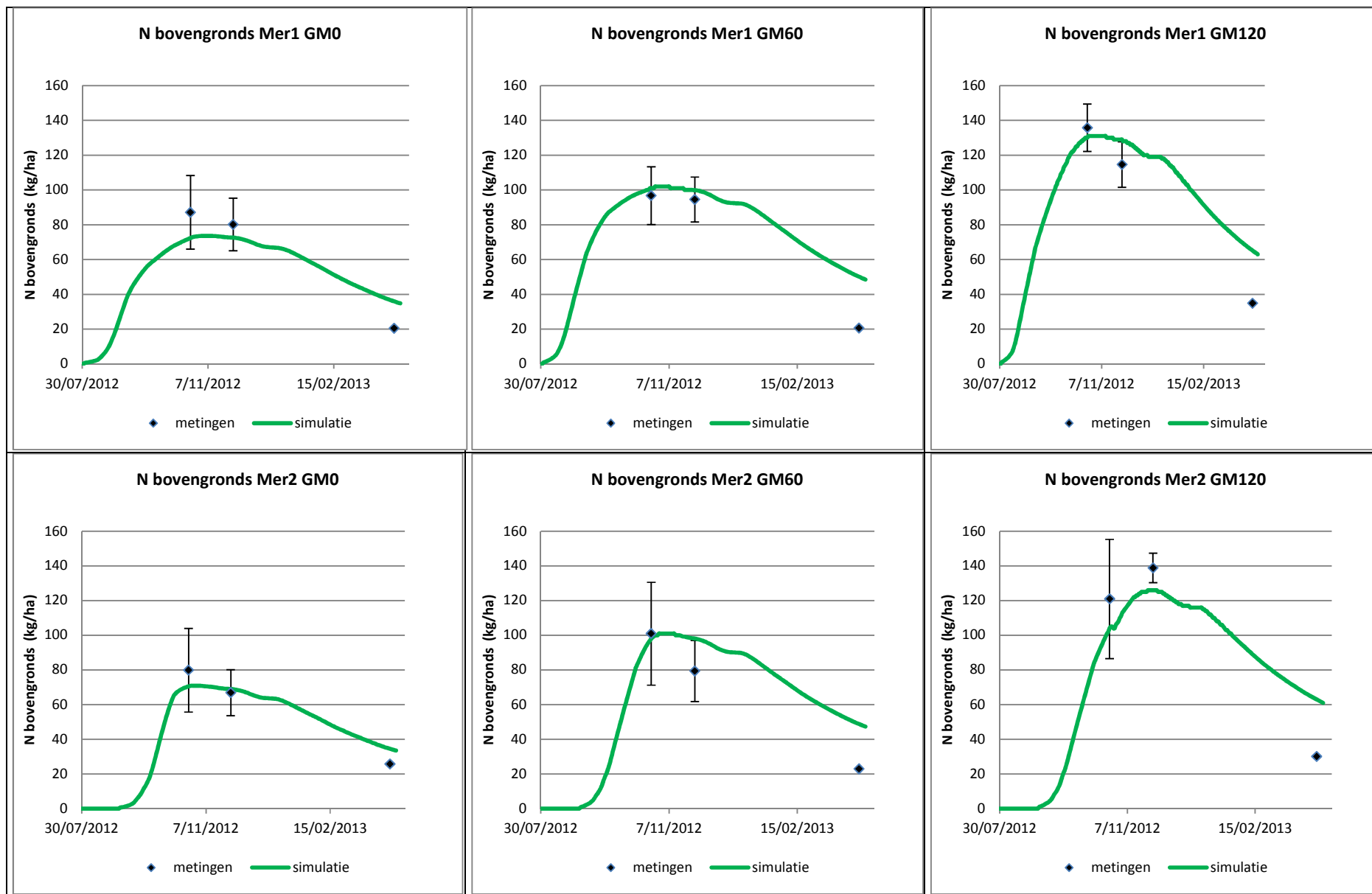




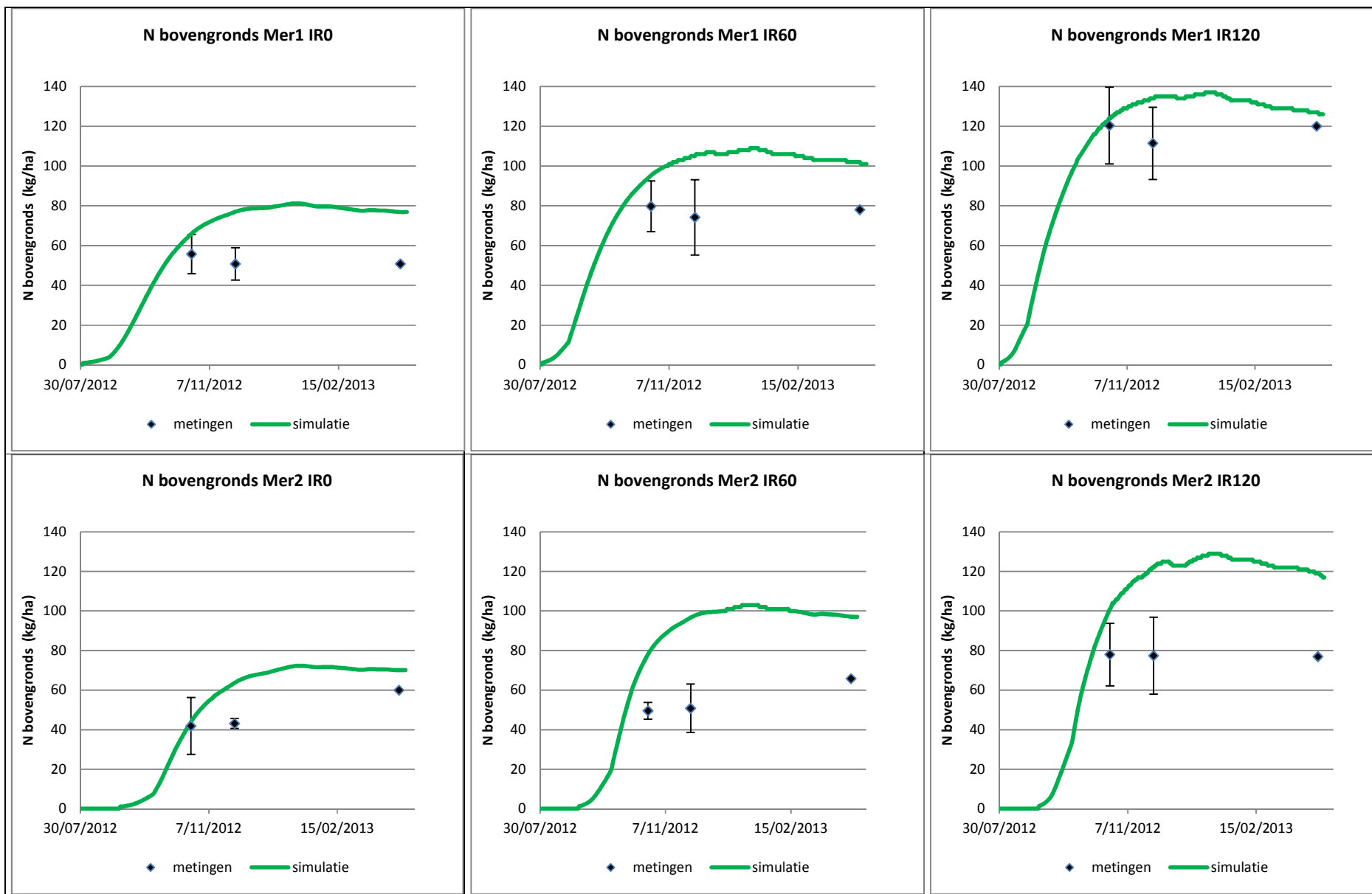
Bijlage 15: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)



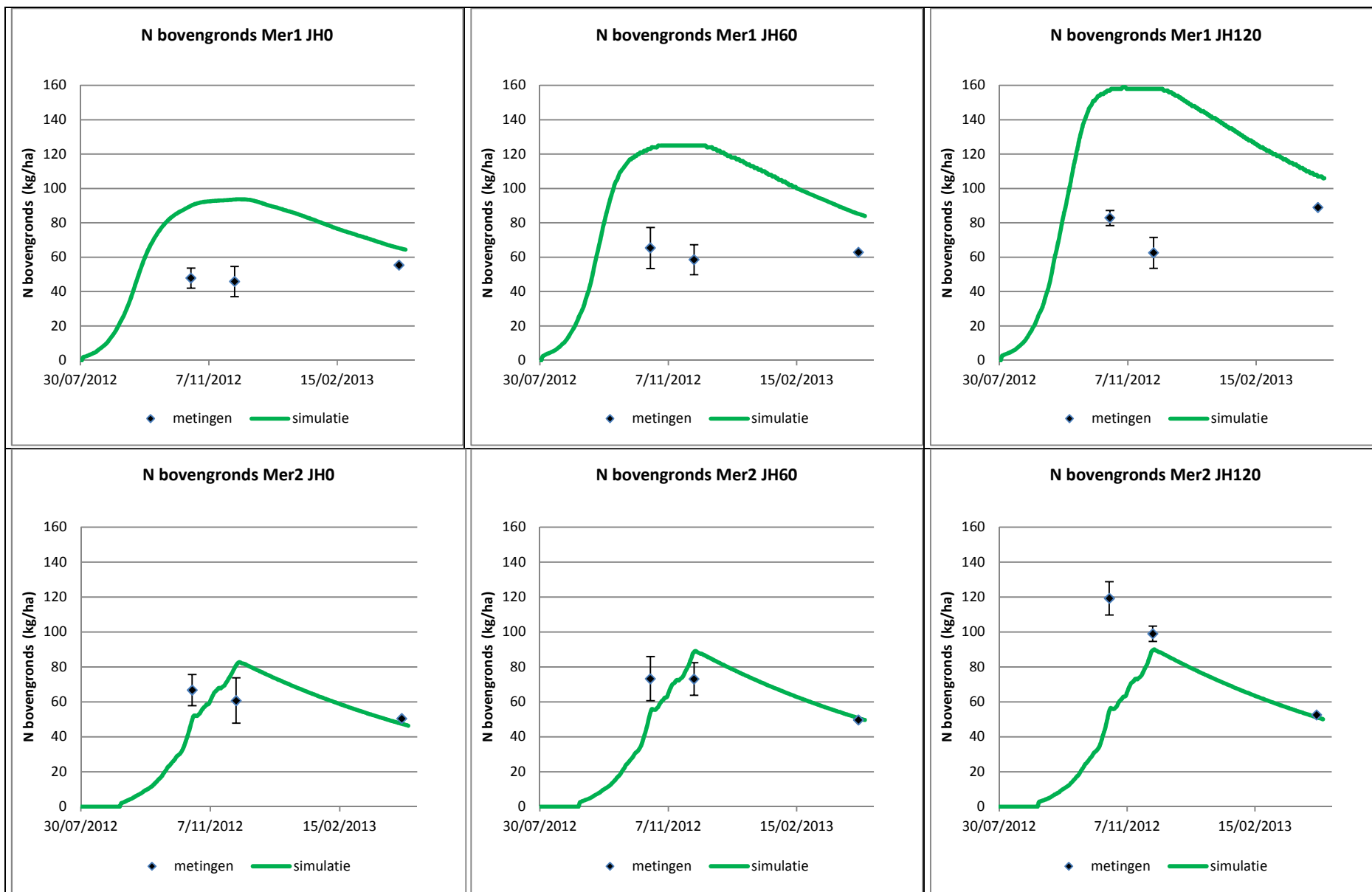
Bijlage 16: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)



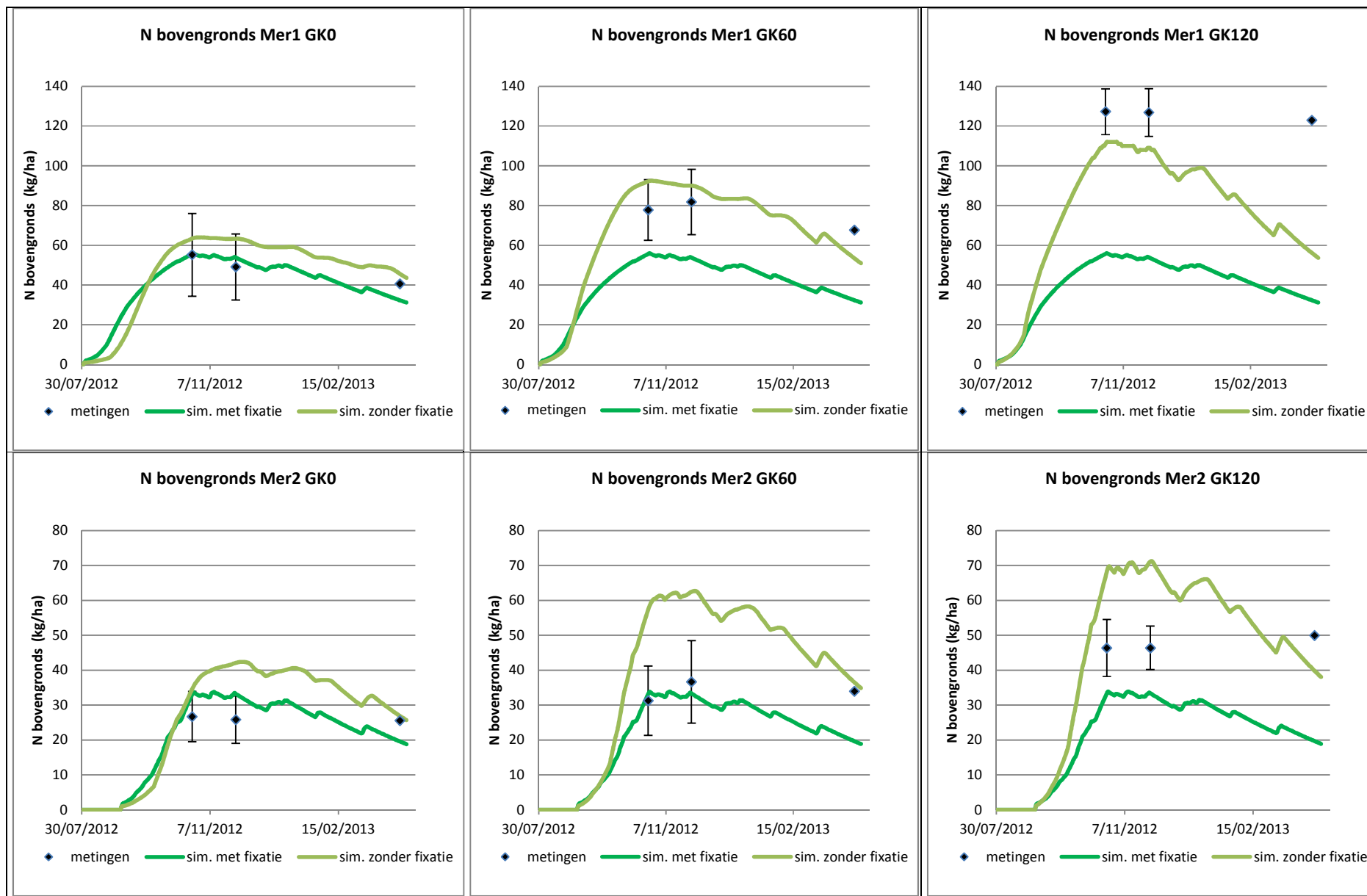
Bijlage 16: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)



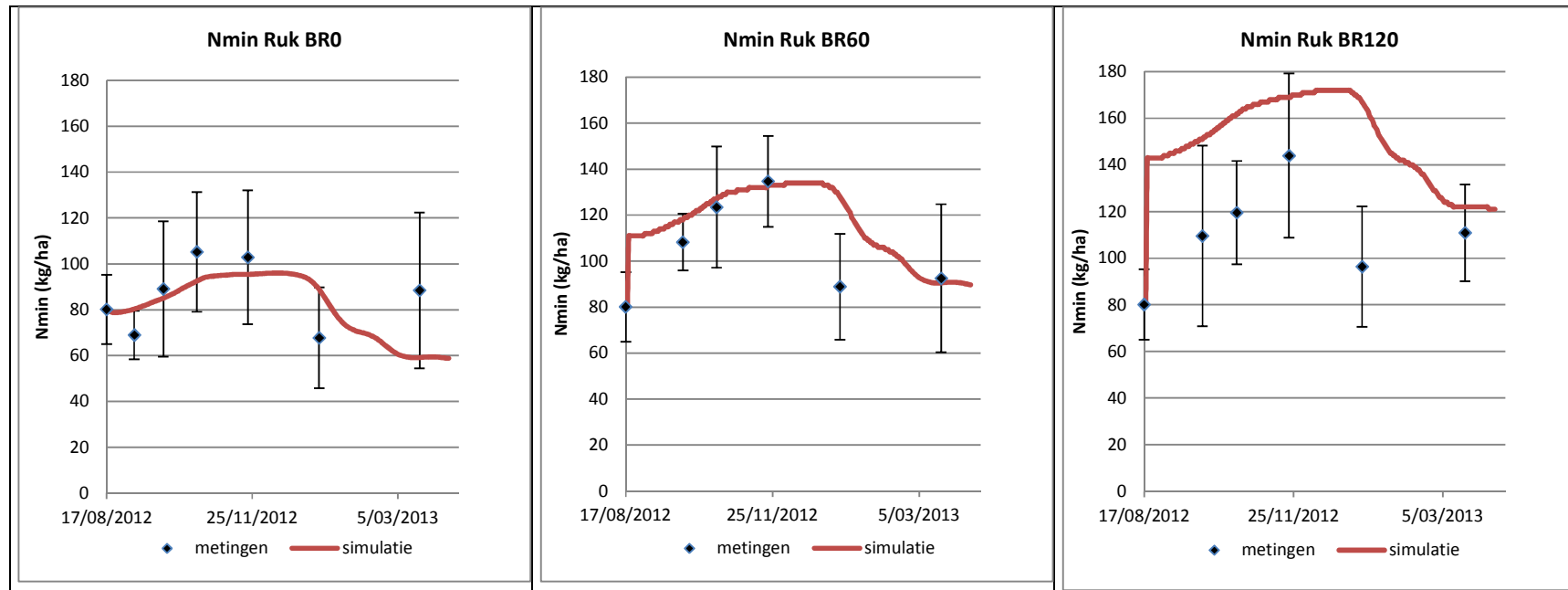
Bijlage 16: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)



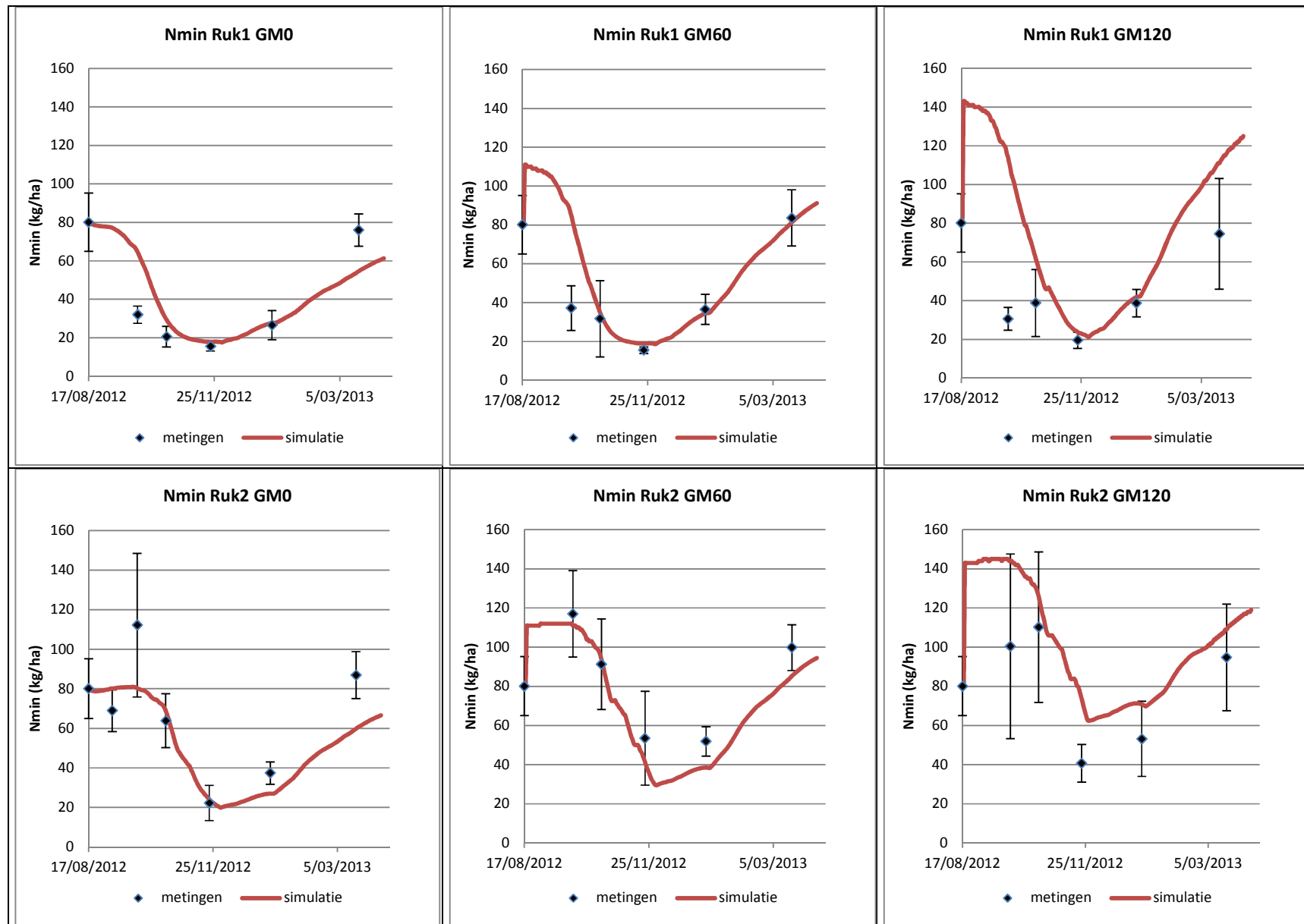
Bijlage 16: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Merelbeke (2e proefjaar)



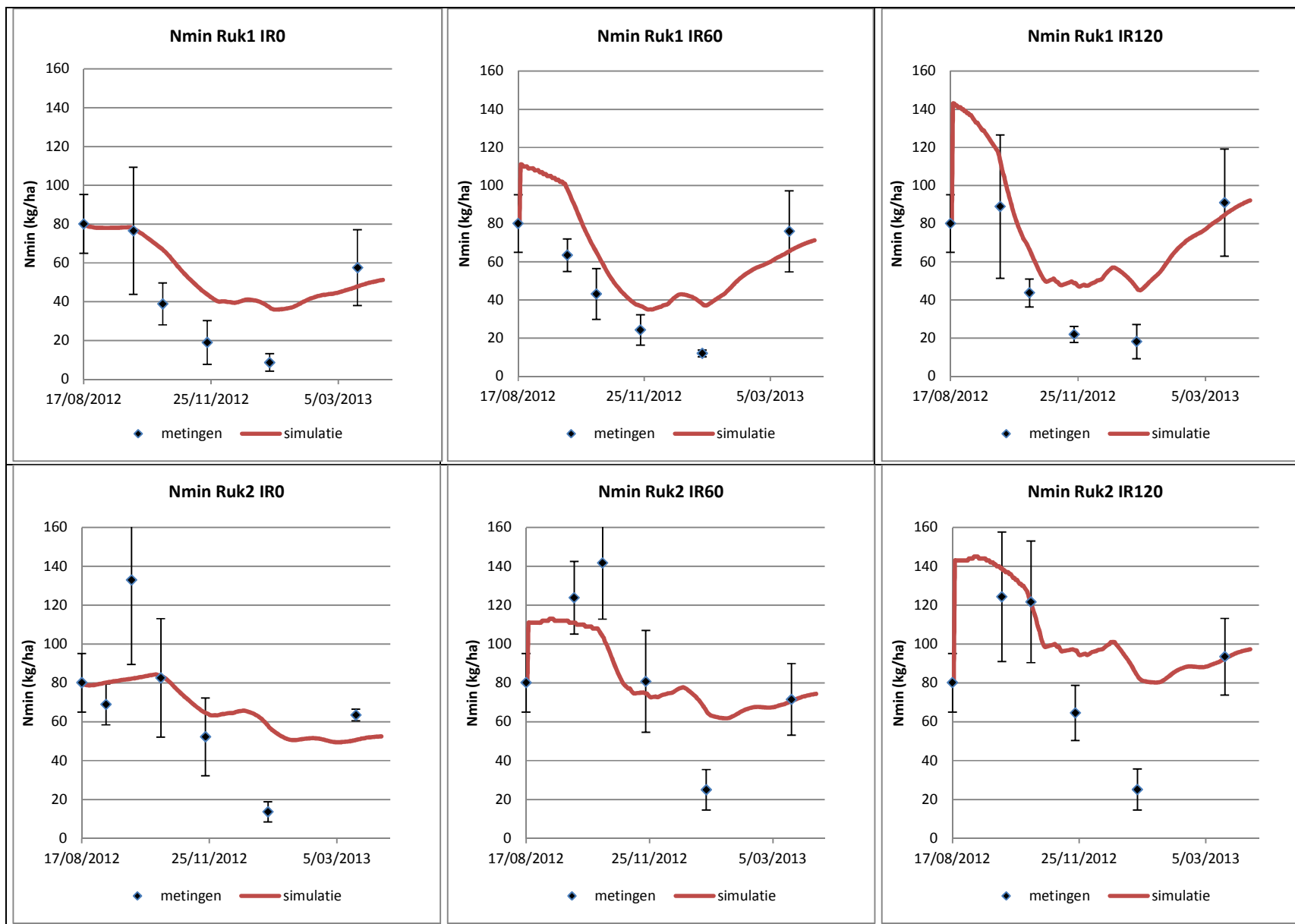
Bijlage 17: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)



Bijlage 17: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)

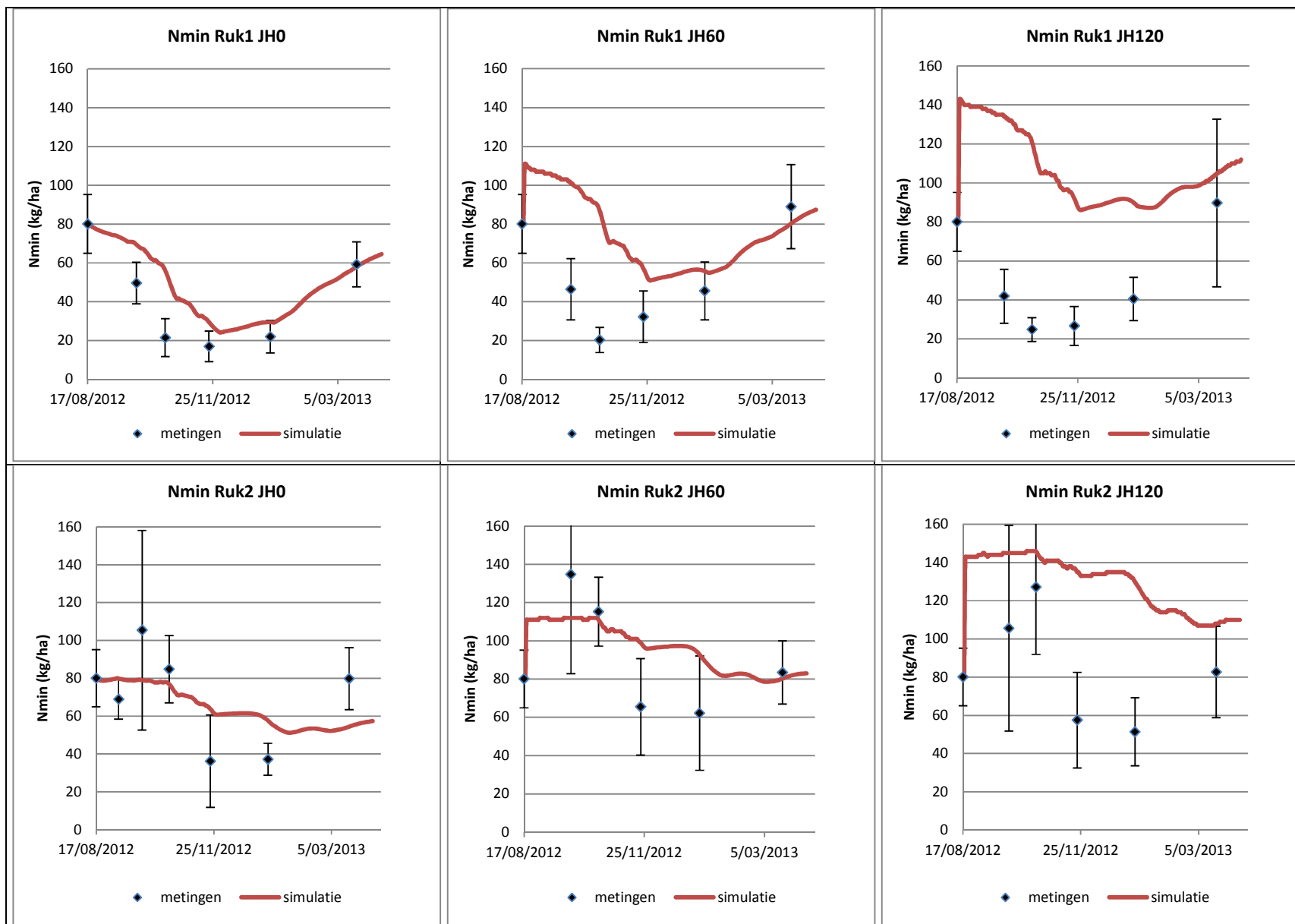


Bijlage 17: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)

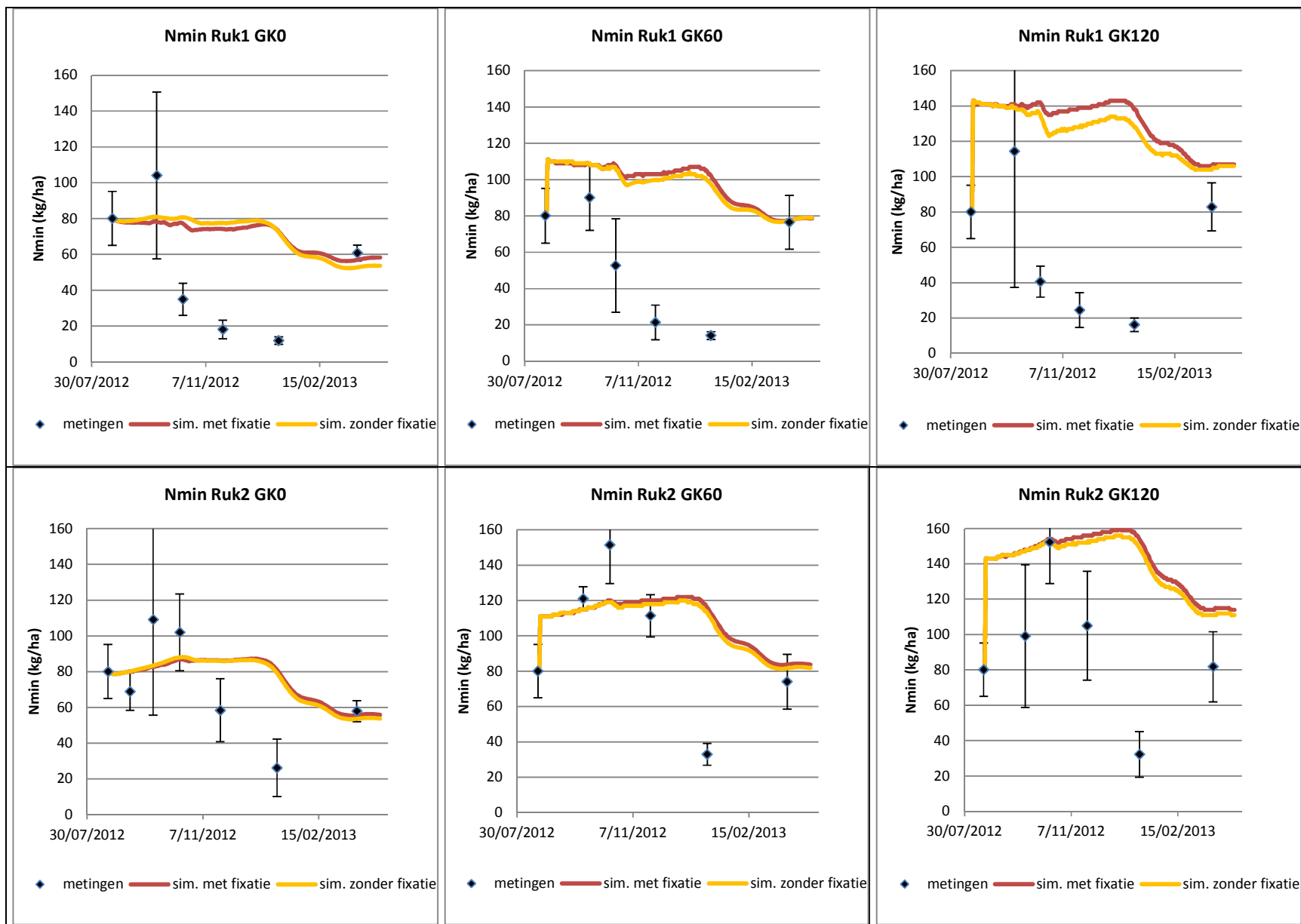




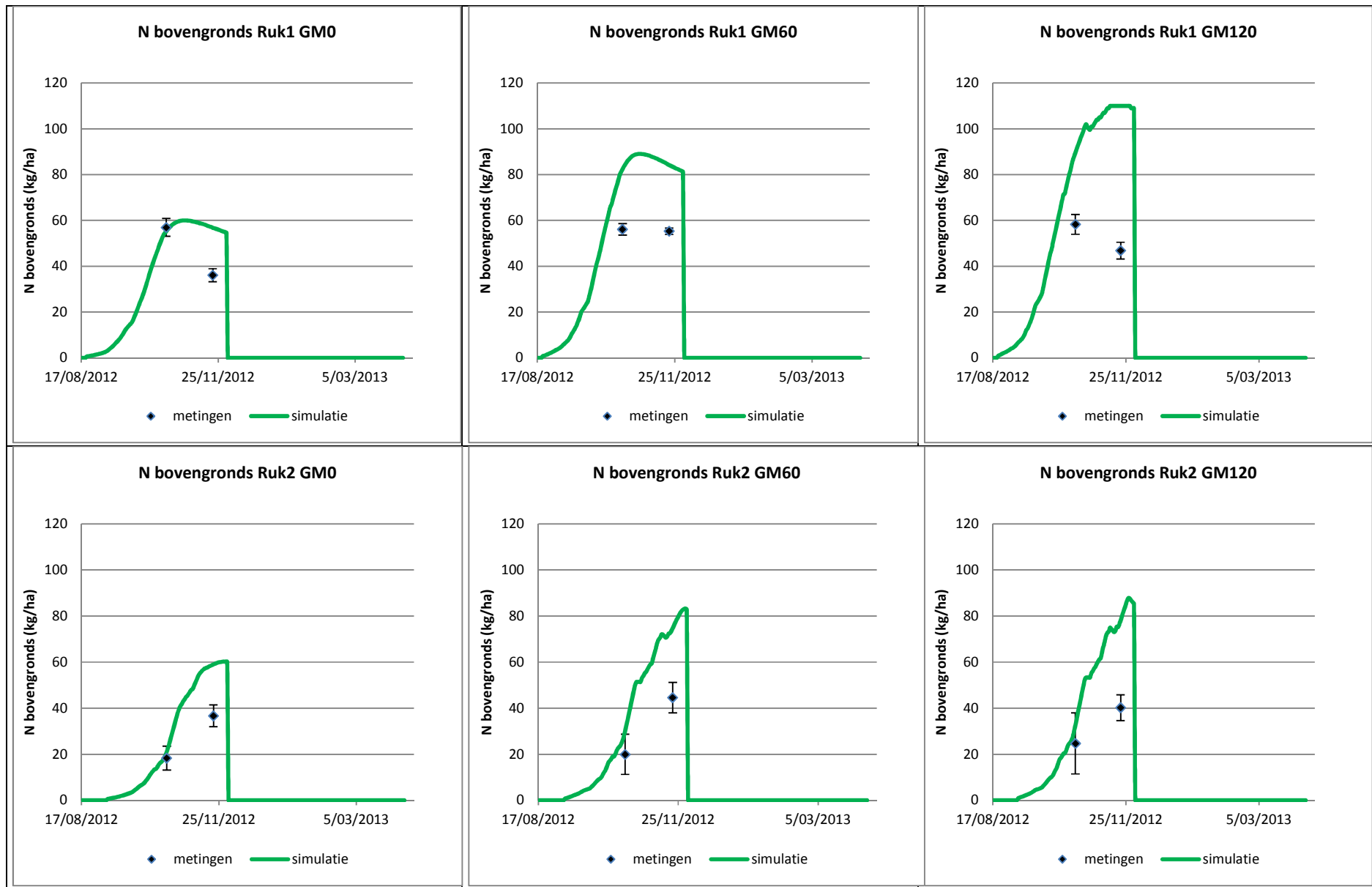
Bijlage 17: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)



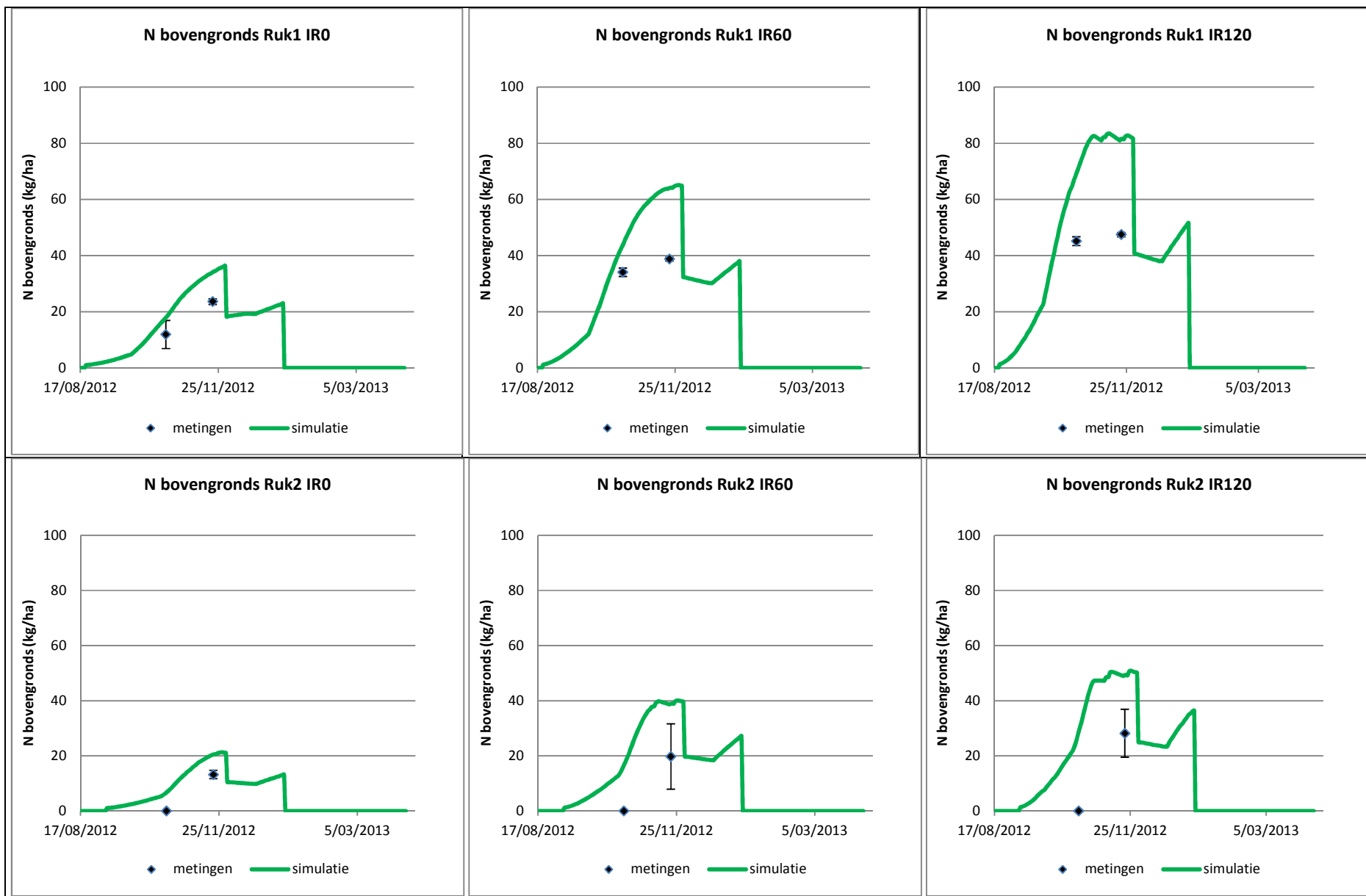
Bijlage 17: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)



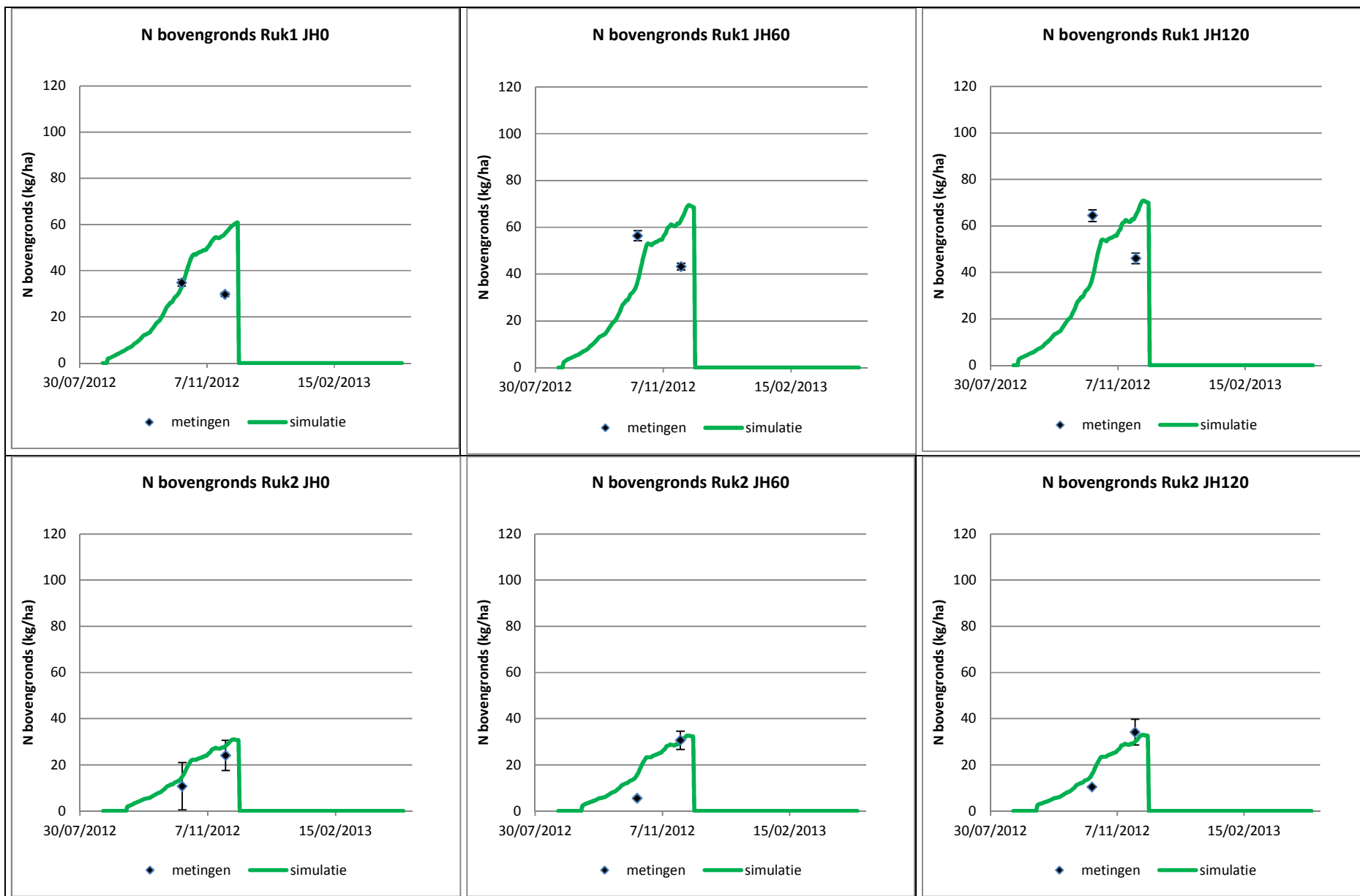
Bijlage 18: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)



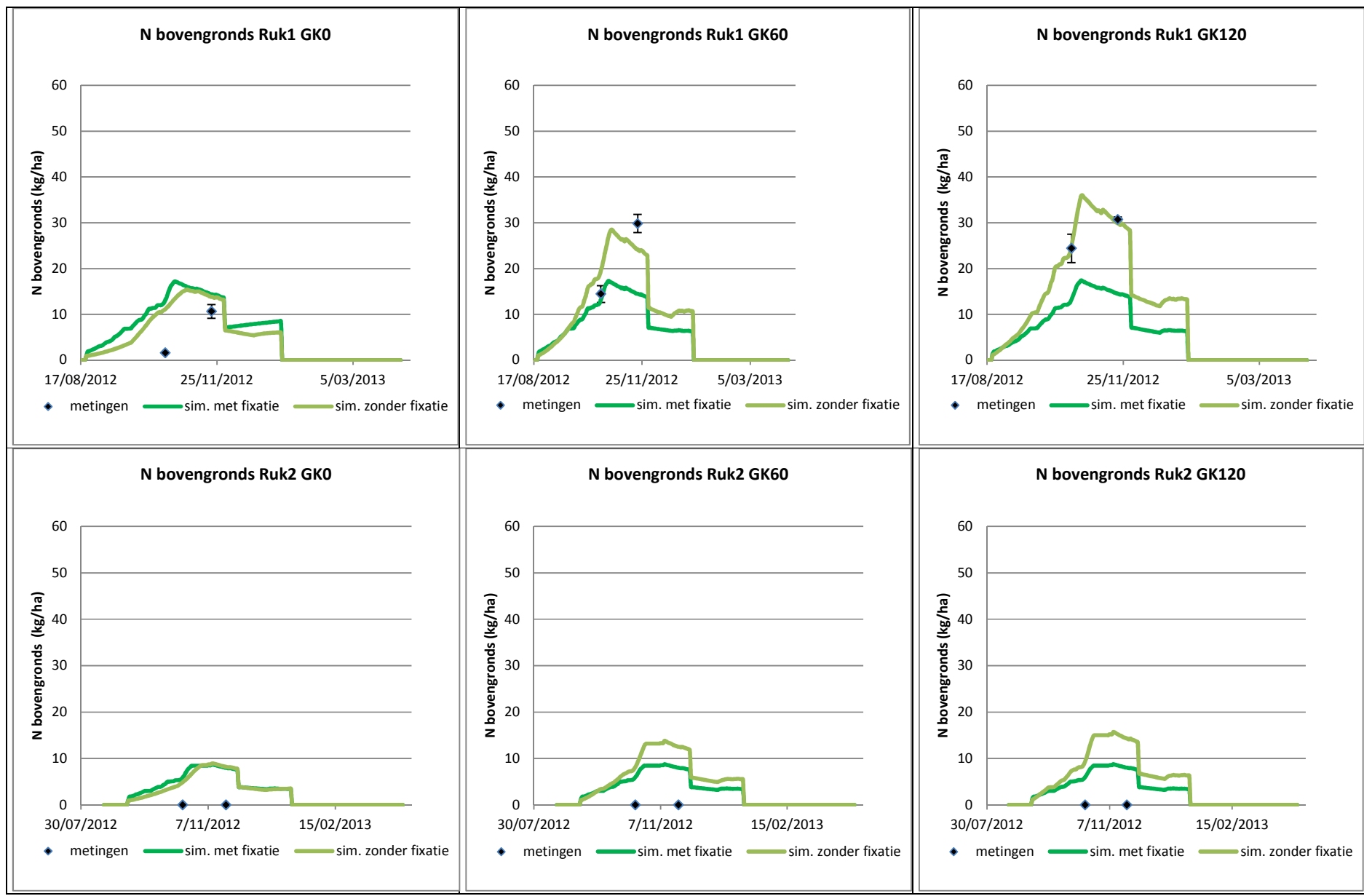
Bijlage 18: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)



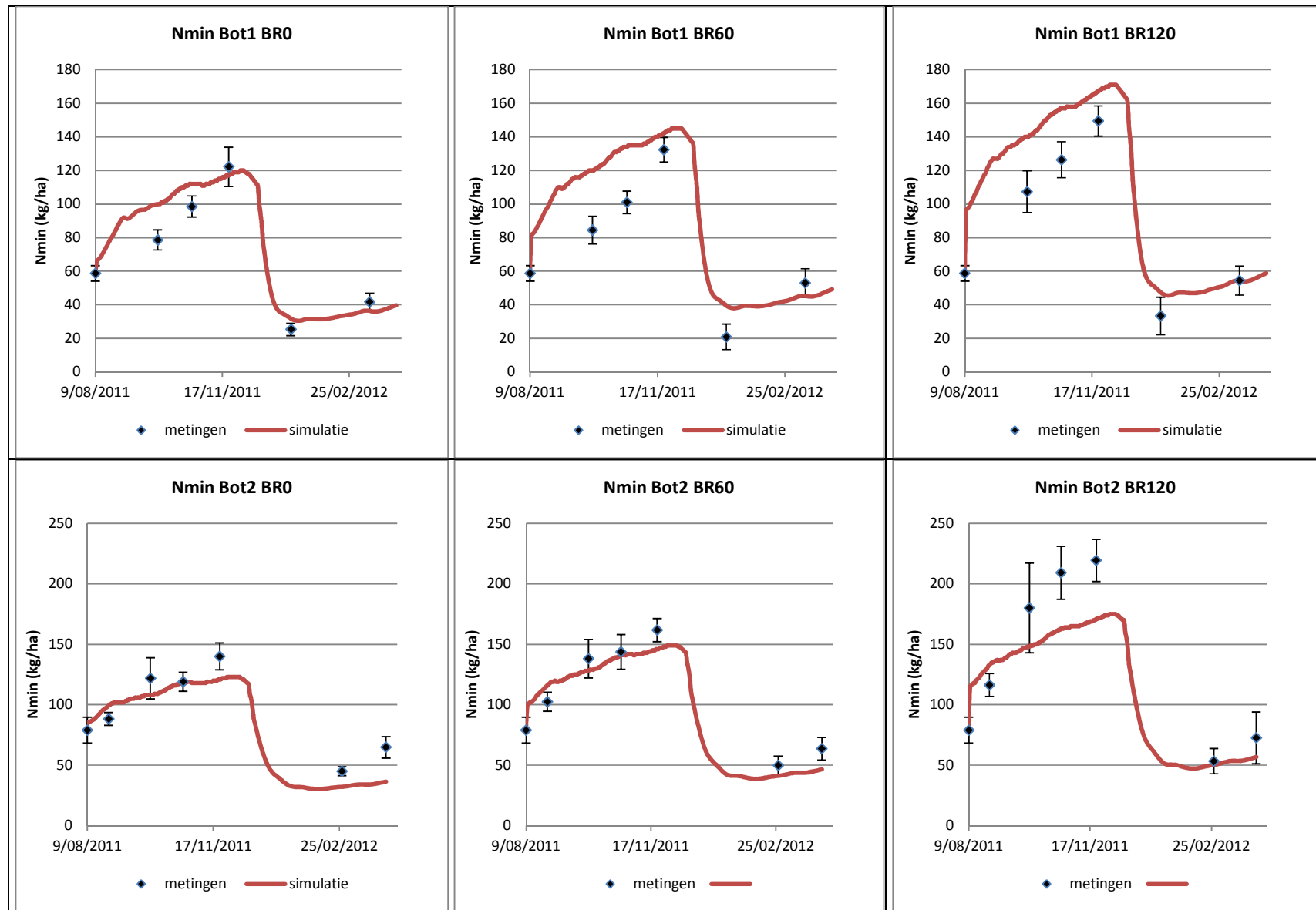
Bijlage 18: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)



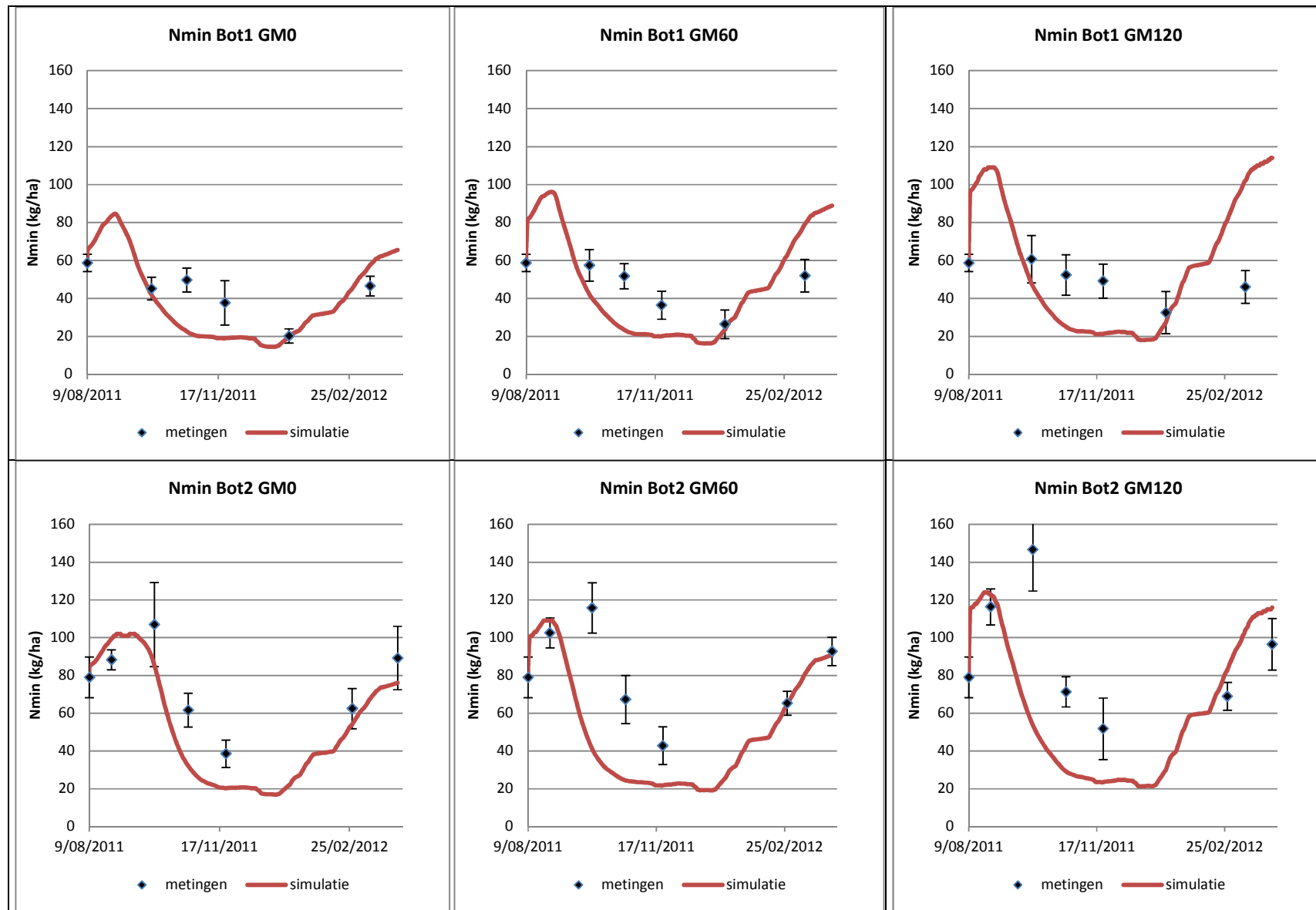
Bijlage 18: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Rukkelingen-Loon (2e proefjaar)



Bijlage 19: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (1e proefjaar)

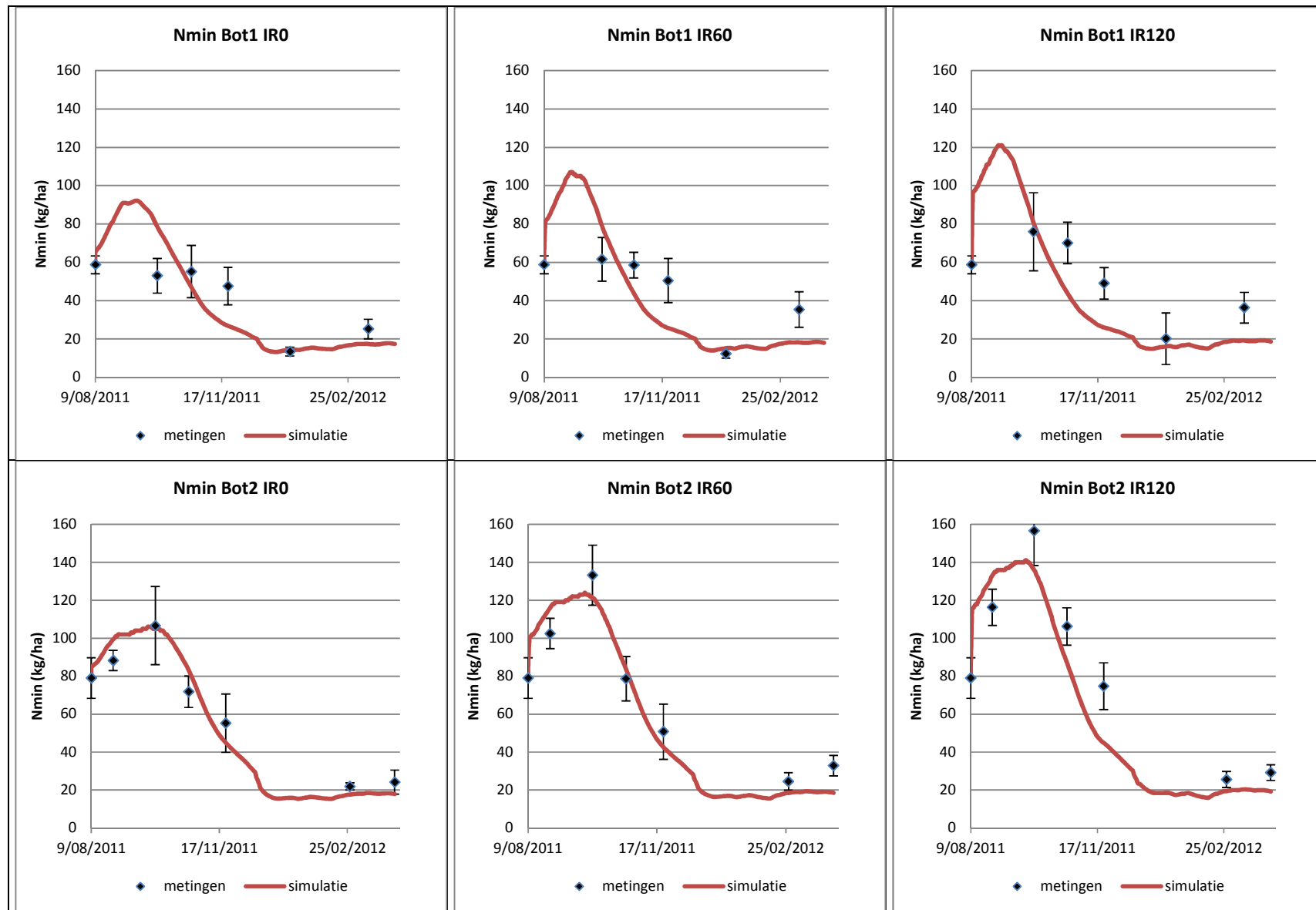


Bijlage 19: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (1e proefjaar)

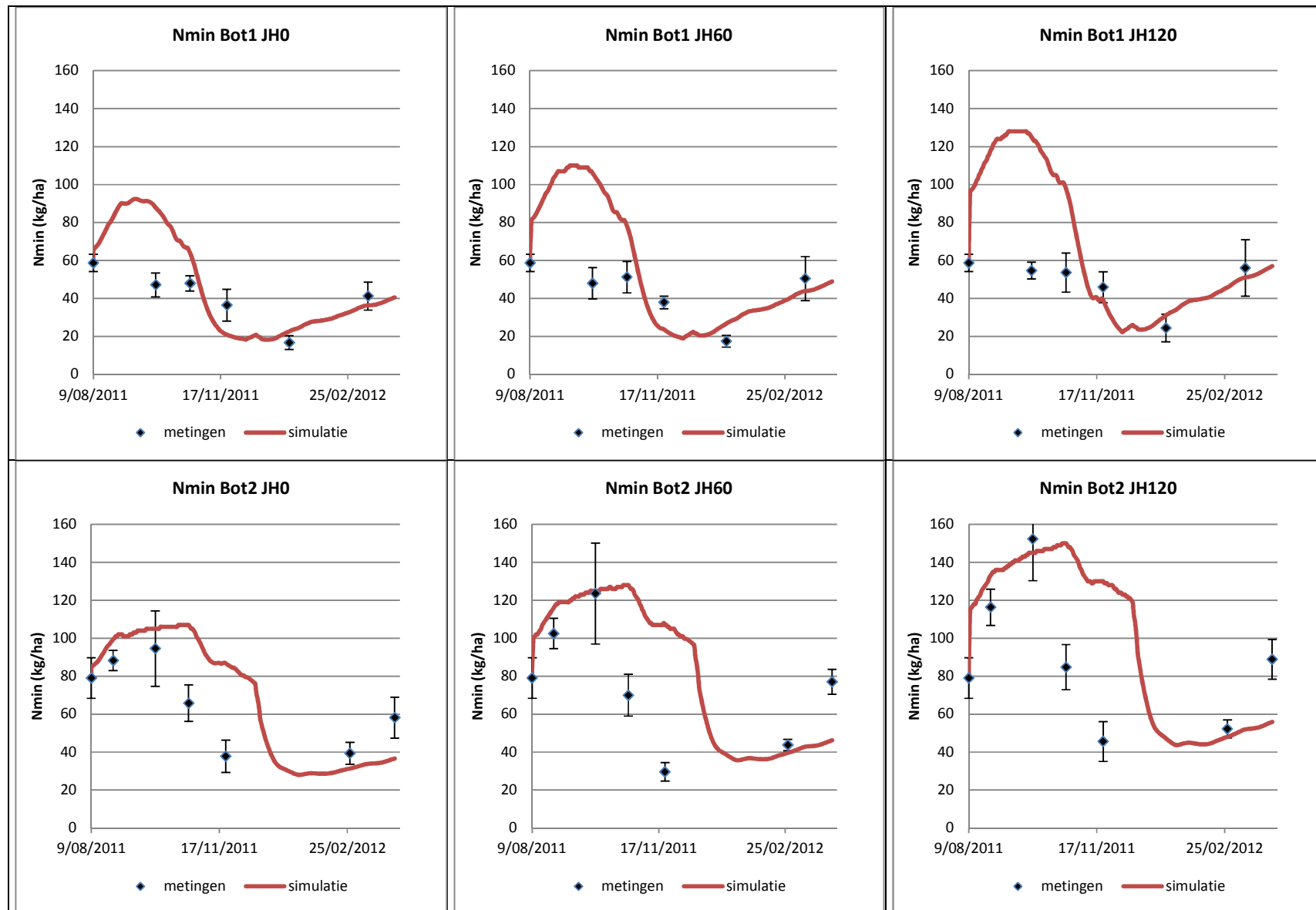




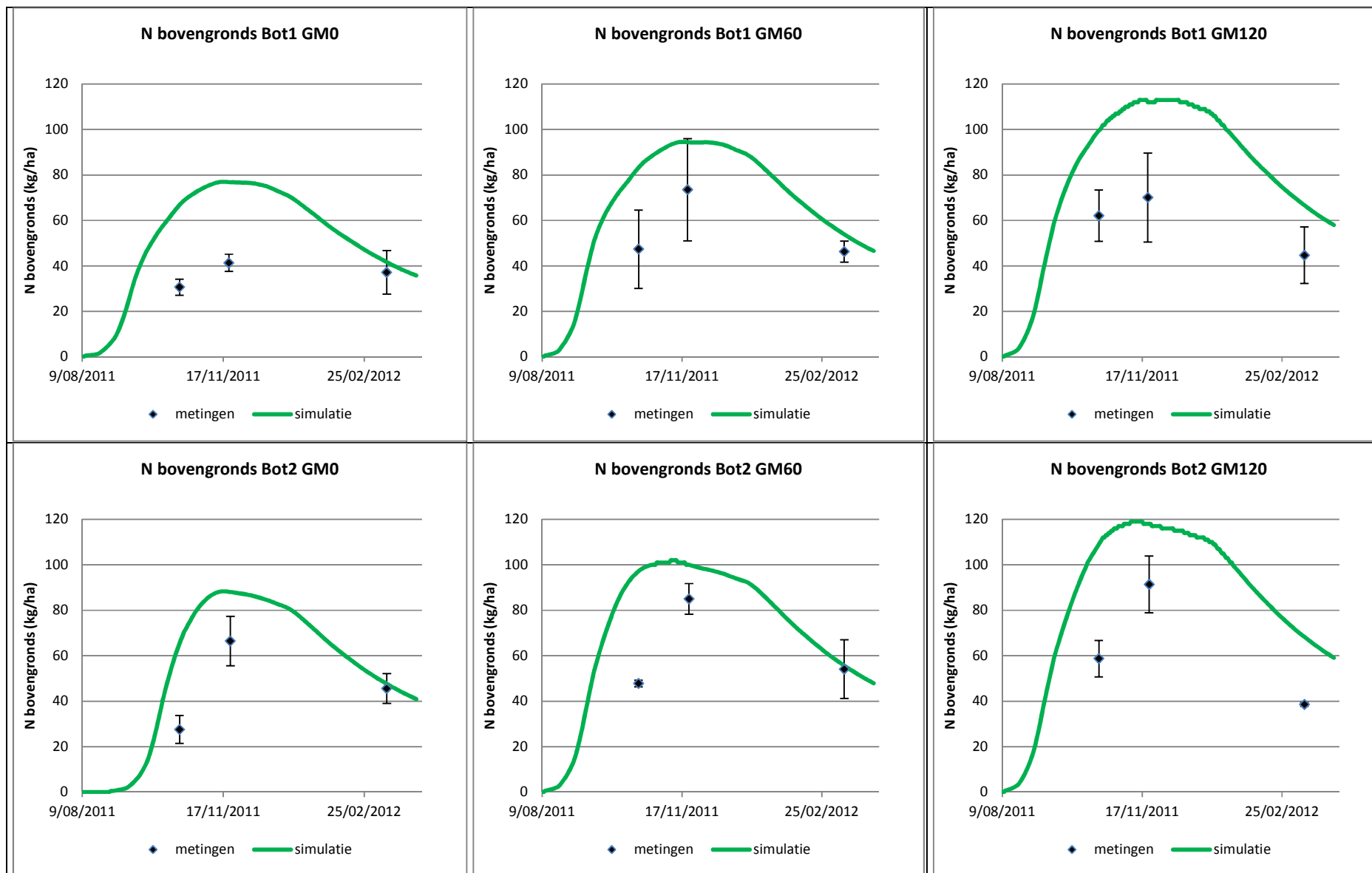
Bijlage 19: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (1e proefjaar)



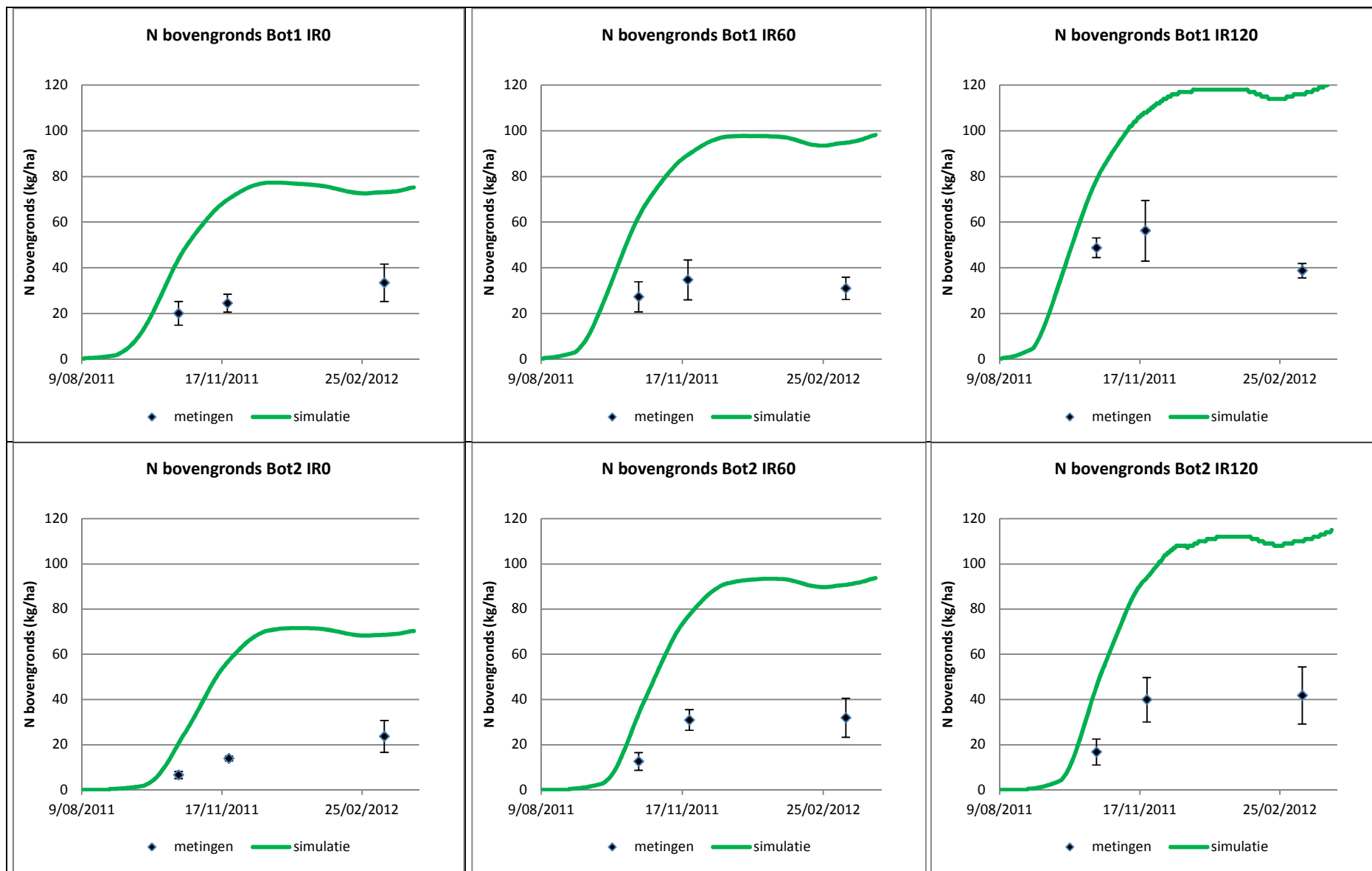
Bijlage 19: Gesimuleerde en gemeten minerale N op het proefperceel te Bottelare (1e proefjaar)



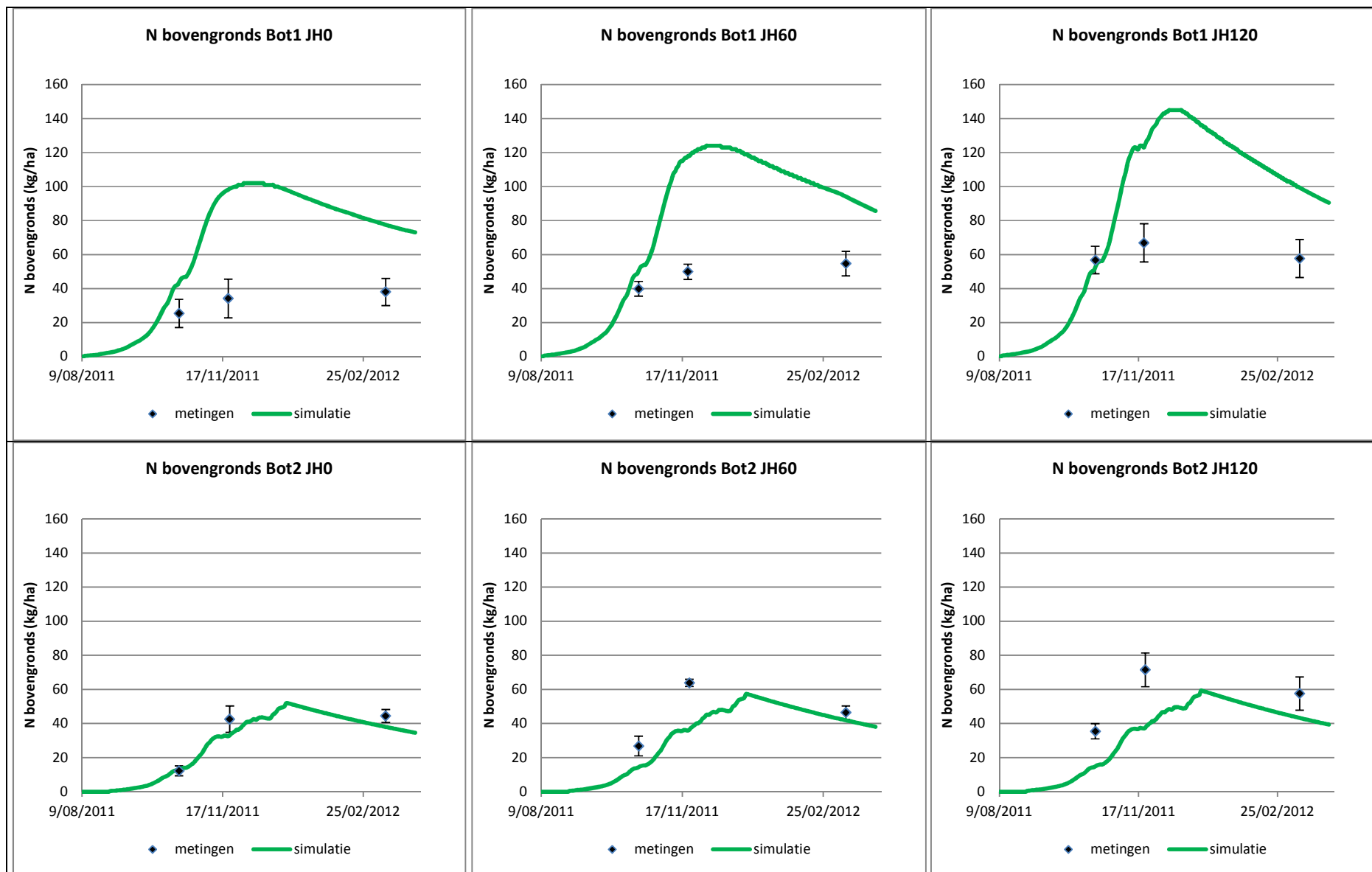
Bijlage 20: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Bottelare (1e proefjaar)



Bijlage 20: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Bottelare (1e proefjaar)



Bijlage 20: Gesimuleerde en gemeten bovengrondse N-opbrengsten op het proefperceel te Bottelare (1e proefjaar)



Bijlage 21: Analyse van de residuen

TABEL 1: GEMIDDELTE AFWIJING TUSSEN GESIMULEERDE N<sub>MIN</sub>-GEHALTEN EN METINGEN OP DE PROEFPERCELEN (IN KG N HA<sup>-1</sup>).

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
BR0	-7,4	7,0	-6,7	-6,7	6,2	-10,7	7,2	7,2	-3,5	-3,5	-9,4	-9,4	<b>-2,3</b>	<b>-2,7</b>
BR60	-8,6	6,1	8,2	8,2	17,8	-6,8	19,6	19,6	9,7	9,7	-2,3	-2,3	<b>7,4</b>	<b>5,8</b>
BR120	-11,5	-5,6	16,6	16,6	18,9	-21,5	10,0	10,0	38,2	38,2	0,7	0,7	<b>12,1</b>	<b>6,4</b>
BR	-9,2	2,5	6,0	6,0	14,3	-13,0	12,3	12,3	14,8	14,8	-3,6	-3,6	<b>5,8</b>	<b>3,2</b>
GM0	-4,2	0,7	-1,1	5,3	-7,7	-18,1	4,8	2,8	4,7	-12,5	-3,9	-36,6	<b>-1,2</b>	<b>-9,7</b>
GM60	-5,4	0,1	-1,2	2,4	-7,1	-28,3	10,2	14,1	10,0	-8,8	0,6	-52,3	<b>1,2</b>	<b>-12,1</b>
GM120	-4,2	-8,6	-0,6	1,9	-3,4	-25,9	11,6	14,6	30,1	24,8	-1,0	-61,3	<b>5,4</b>	<b>-9,1</b>
GM	-4,6	-2,6	-1,0	3,2	-6,1	-24,1	8,9	10,5	14,9	1,2	-1,4	-50,1	<b>1,8</b>	<b>-10,3</b>
IRO	-4,5	4,5	9,3	9,9	-2,0	-2,2	3,8	-11,8	14,6	-1,2	-0,5	-31,0	<b>3,4</b>	<b>-5,3</b>
IR60	-7,8	-0,8	2,4	2,7	-7,3	-7,1	0,4	-12,5	16,9	-3,4	-4,2	-44,8	<b>0,1</b>	<b>-11,0</b>
IR120	-12,2	-0,7	-0,3	0,1	-13,1	-17,1	1,7	-30,0	19,1	20,7	-3,9	-56,1	<b>-1,5</b>	<b>-13,9</b>
IR	-8,2	1,0	3,8	4,2	-7,5	-8,8	1,9	-18,1	16,9	5,4	-2,9	-43,9	<b>0,7</b>	<b>-10,0</b>
JH0	-2,5	-0,4	12,9	14,9	8,5	14,2	1,7	11,9	14,7	-2,3	4,6	-16,3	<b>6,6</b>	<b>3,7</b>
JH60	-2,7	-1,0	9,9	18,8	14,7	20,4	2,7	29,2	29,5	6,8	13,5	-23,6	<b>11,3</b>	<b>8,4</b>
JH120	-9,3	-11,5	12,1	32,9	21,9	21,1	1,6	17,1	63,7	47,9	24,0	-25,5	<b>19,0</b>	<b>13,7</b>
JH	-4,8	-4,3	11,7	22,2	15,0	18,6	2,0	19,4	35,9	17,5	14,0	-21,8	<b>12,3</b>	<b>8,6</b>
GK0 + fixatie	-3,0	0,3	4,7	1,7	-	-	12,4	3,5	26,0	7,8	4,6	-27,5	<b>8,9</b>	<b>-2,8</b>
GK60 + fixatie	-3,5	-2,0	-1,5	2,4	-	-	15,0	15,3	48,8	12,8	7,8	-26,8	<b>13,3</b>	<b>0,4</b>
GK120 + fixatie	-8,0	-9,3	9,5	17,1	-	-	30,1	14,2	77,5	51,1	15,0	-39,1	<b>24,8</b>	<b>6,8</b>
GK + fixatie	-4,8	-3,6	4,2	7,1	-	-	19,2	11,0	50,7	23,9	9,1	-31,1	<b>15,7</b>	<b>1,4</b>
GK0 - fixatie	1,3	4,4	13,3	14,9	-	-	7,8	3,8	27,0	7,3	5,7	-26,0	<b>11,0</b>	<b>0,9</b>
GK60 - fixatie	-1,8	-0,4	-0,8	6,3	-	-	10,2	9,0	47,0	11,2	3,5	-29,0	<b>11,6</b>	<b>-0,6</b>
GK120 - fixatie	-7,3	-9,1	2,3	13,6	-	-	21,6	4,7	71,1	48,3	9,3	-42,9	<b>19,4</b>	<b>2,9</b>
GK - fixatie	-2,6	-1,7	4,9	11,6	-	-	13,2	5,8	48,4	22,3	6,2	-32,6	<b>14,0</b>	<b>1,1</b>
<b>gemiddeld</b>	<b>-5,7</b>	<b>-1,5</b>	<b>4,9</b>	<b>9,1</b>	<b>4,0</b>	<b>-6,8</b>	<b>9,6</b>	<b>6,8</b>	<b>30,3</b>	<b>14,2</b>	<b>3,6</b>	<b>-30,5</b>	<b>7,8</b>	<b>-1,5</b>
<b>gemiddeld Z1+Z2</b>	<b>-3,6</b>		<b>7,0</b>		<b>-1,4</b>		<b>8,2</b>		<b>22,2</b>		<b>-13,5</b>		<b>3,2</b>	

Bijlage 21: Analyse van de residuen

TABEL 2: GEMIDDELTE ABSOLUTE AFWIJING TUSSEN GESIMULEERDE N<sub>MIN</sub>-GEHALTEN EN METINGEN OP DE PROEFPERCELEN (IN KG N HA<sup>-1</sup>).

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
BR0	8,3	9,9	7,6	7,6	10,3	14,4	9,7	9,7	14,4	14,4	14,6	14,6	<b>10,8</b>	<b>11,7</b>
BR60	8,9	6,4	8,2	8,2	20,9	11,3	27,8	27,8	11,2	11,2	11,0	11,0	<b>14,7</b>	<b>12,6</b>
BR120	11,5	11,1	20,4	20,4	19,0	27,0	29,7	29,7	38,2	38,2	16,8	16,8	<b>22,6</b>	<b>23,9</b>
BR	9,6	9,1	12,1	12,1	16,7	17,6	22,4	22,4	21,2	21,2	14,1	14,1	<b>16,0</b>	<b>16,1</b>
GM0	5,2	3,7	8,9	5,4	12,1	18,1	6,3	9,4	13,3	15,3	9,1	40,1	<b>9,2</b>	<b>15,3</b>
GM60	5,5	5,3	7,3	3,8	18,0	28,3	10,2	16,5	11,7	9,7	19,2	62,0	<b>12,0</b>	<b>20,9</b>
GM120	5,6	11,8	6,8	4,0	25,8	39,4	13,5	29,8	30,1	24,8	15,0	61,4	<b>16,1</b>	<b>28,5</b>
GM	5,4	7,0	7,7	4,4	18,6	28,6	10,0	18,6	18,4	16,6	14,4	54,5	<b>12,4</b>	<b>21,6</b>
IRO	5,8	4,7	9,9	9,9	12,6	6,8	4,7	13,1	18,5	24,3	9,2	33,3	<b>10,1</b>	<b>15,3</b>
IR60	7,8	3,9	6,9	5,1	15,4	9,1	2,8	16,1	21,1	19,6	12,4	44,8	<b>11,0</b>	<b>16,5</b>
IR120	12,2	8,4	7,5	4,0	15,0	17,1	4,4	31,2	21,6	21,4	14,2	56,6	<b>12,5</b>	<b>23,1</b>
IR	8,6	5,7	8,1	6,4	14,3	11,0	4,0	20,1	20,4	21,8	11,9	44,9	<b>11,2</b>	<b>18,3</b>
JH0	3,9	11,1	12,9	14,9	16,6	26,0	9,0	13,2	15,2	21,6	18,3	24,4	<b>12,6</b>	<b>18,5</b>
JH60	4,5	11,4	9,9	18,8	23,0	34,4	7,0	30,5	33,0	18,8	30,3	31,6	<b>17,9</b>	<b>24,3</b>
JH120	10,9	19,3	12,1	32,9	26,6	38,8	11,5	22,5	63,7	47,9	35,4	28,3	<b>26,7</b>	<b>31,6</b>
JH	6,4	13,9	11,7	22,2	22,1	33,1	9,1	22,1	37,3	29,4	28,0	28,1	<b>19,1</b>	<b>24,8</b>
GK0 + fixatie	3,5	7,3	11,5	13,0	-	-	16,1	6,5	37,8	25,3	9,5	31,9	<b>15,7</b>	<b>16,8</b>
GK60 + fixatie	3,9	6,1	14,6	16,7	-	-	20,5	21,7	48,8	27,7	17,7	31,0	<b>21,1</b>	<b>20,6</b>
GK120 + fixatie	8,0	9,6	16,8	24,9	-	-	34,6	21,2	77,5	51,1	22,3	43,6	<b>31,8</b>	<b>30,1</b>
GK + fixatie	5,1	7,7	14,3	18,2	-	-	23,7	16,5	54,7	34,7	16,5	35,5	<b>22,9</b>	<b>22,5</b>
GK0 - fixatie	4,5	7,1	13,7	20,0	-	-	11,5	10,3	39,4	24,9	13,4	30,6	<b>16,5</b>	<b>18,6</b>
GK60 - fixatie	5,2	3,4	11,9	16,6	-	-	15,4	17,1	47,0	26,5	19,5	32,2	<b>19,8</b>	<b>19,2</b>
GK120 - fixatie	7,3	9,2	18,3	24,0	-	-	25,9	18,3	71,1	48,3	21,2	46,5	<b>28,8</b>	<b>29,3</b>
GK - fixatie	5,6	6,6	14,6	20,2	-	-	17,6	15,3	52,5	33,3	18,0	36,4	<b>21,7</b>	<b>22,3</b>
<b>gemiddeld</b>	<b>6,8</b>	<b>8,3</b>	<b>11,4</b>	<b>13,9</b>	<b>18,0</b>	<b>22,6</b>	<b>14,5</b>	<b>19,2</b>	<b>34,1</b>	<b>26,2</b>	<b>17,2</b>	<b>35,6</b>	<b>17,0</b>	<b>20,9</b>
<b>gemiddeld Z1+Z2</b>	<b>7,6</b>		<b>12,7</b>		<b>20,3</b>		<b>16,8</b>		<b>30,1</b>		<b>26,4</b>		<b>19,0</b>	

Bijlage 21: Analyse van de residuen

TABEL 3: GEMIDDELTE AFWIJING TUSSEN GESIMULEERDE BOVENGRONDSE N-OPBRENGSTEN EN METINGEN OP DE PROEFPERCELEN (IN KG N HA<sup>-1</sup>).

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	-0,6	5,9	-6,6	-4,5	25,4	20,5	4,9	7,7	9,5	12,6	18,8	30,9	<b>8,6</b>	<b>12,2</b>
GM60	-1,9	2,4	4,6	3,0	21,5	22,0	21,6	18,4	27,6	20,2	21,7	36,3	<b>15,9</b>	<b>17,0</b>
GM120	-9,9	-0,8	18,3	13,9	33,8	35,6	21,0	3,2	47,2	22,9	30,4	49,9	<b>23,5</b>	<b>20,8</b>
GM	-4,1	2,5	5,4	4,1	26,9	26,0	15,8	9,7	28,1	18,6	23,7	39,0	<b>16,0</b>	<b>16,7</b>
IRO	3,8	10,4	10,0	13,0	36,3	34,0	28,0	20,1	8,2	7,3	24,8	31,3	<b>18,5</b>	<b>19,4</b>
IR60	-11,9	-3,2	19,1	21,8	51,2	42,1	31,7	43,9	17,5	19,2	34,8	46,7	<b>23,7</b>	<b>28,4</b>
IR120	-12,3	3,1	34,4	38,5	52,9	50,3	19,8	39,2	29,0	21,1	34,1	66,6	<b>26,3</b>	<b>36,5</b>
IR	-6,8	3,5	21,1	24,4	46,8	42,2	26,5	34,4	18,3	15,9	31,2	48,2	<b>22,9</b>	<b>28,1</b>
JH0	-3,5	11,2	-7,7	2,9	40,6	-5,0	39,4	2,8	12,3	4,2	24,8	23,2	<b>17,7</b>	<b>6,5</b>
JH60	-8,7	9,2	2,4	5,9	39,4	-14,8	56,9	-0,6	0,3	4,7	27,6	23,8	<b>19,6</b>	<b>4,7</b>
JH120	-8,6	-0,8	26,9	-5,8	31,2	-22,9	72,5	-25,0	-4,0	0,6	34,4	13,5	<b>25,4</b>	<b>-6,7</b>
JH	-6,9	6,5	7,2	1,0	37,1	-14,2	56,3	-7,6	2,9	3,1	28,9	20,1	<b>20,9</b>	<b>1,5</b>
GK0 + fixatie	5,0	11,9	23,7	21,2	-	-	10,2	5,9	7,6	-	8,8	6,5	<b>11,1</b>	<b>11,4</b>
GK60 + fixatie	-5,2	-2,0	13,0	12,2	-	-	31,3	23,4	-8,3	-	-9,1	8,9	<b>4,4</b>	<b>10,6</b>
GK120 + fixatie	-8,3	-7,9	-4,5	1,8	-	-	44,7	30,9	-13,7	-	-24,7	5,2	<b>-1,3</b>	<b>7,5</b>
GK + fixatie	-2,8	0,7	10,7	11,7	-	-	28,7	20,1	-4,8	-	-8,3	6,9	<b>4,7</b>	<b>9,8</b>
GK0 - fixatie	-0,7	14,5	10,8	10,2	-	-	9,2	8,5	6,3	-	7,2	7,4	<b>6,6</b>	<b>10,1</b>
GK60 - fixatie	-8,3	6,6	25,4	25,7	-	-	2,8	18,1	-0,3	-	8,1	18,6	<b>5,6</b>	<b>17,3</b>
GK120 - fixatie	-8,8	4,8	25,9	24,0	-	-	-33,6	12,1	-0,1	-	3,6	19,2	<b>-2,6</b>	<b>15,0</b>
GK - fixatie	-5,9	8,6	20,7	20,0	-	-	-7,2	12,9	2,0	-	6,3	15,1	<b>3,2</b>	<b>14,1</b>
<b>gemiddeld</b>	<b>-5,3</b>	<b>4,4</b>	<b>13,0</b>	<b>12,2</b>	<b>36,9</b>	<b>18,0</b>	<b>24,0</b>	<b>13,9</b>	<b>9,3</b>	<b>12,5</b>	<b>16,4</b>	<b>25,9</b>	<b>15,7</b>	<b>14,5</b>
<b>gemiddeld Z1+Z2</b>	<b>-0,5</b>		<b>12,6</b>		<b>27,4</b>		<b>19,0</b>		<b>10,9</b>		<b>21,1</b>		<b>15,1</b>	



Bijlage 21: Analyse van de residuen

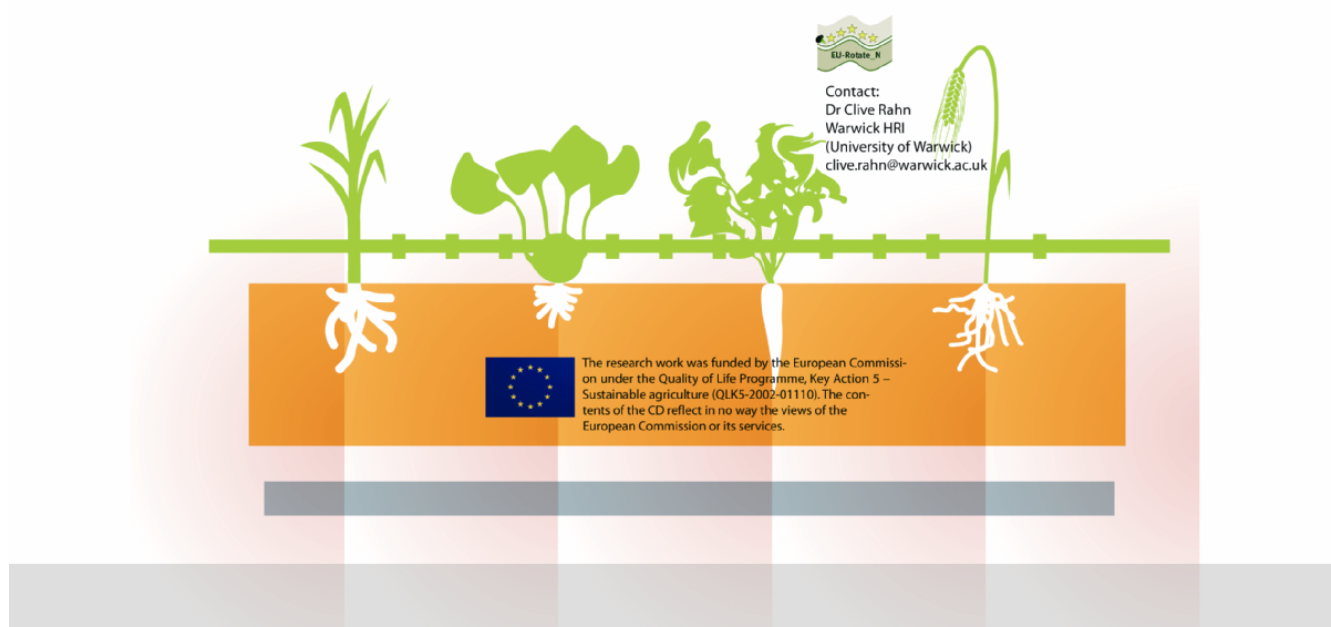
TABEL 4: GEMIDDELDE ABSOLUTE AFWIJKING TUSSEN GESIMULEERDE BOVENGRONDSE N-OPBRENGSTEN EN METINGEN OP DE PROEFPERCELEN (IN KG N HA<sup>-1</sup>).

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	9,1	5,9	9,6	5,3	25,4	20,5	7,4	7,7	11,2	12,6	18,8	30,9	<b>13,6</b>	<b>13,8</b>
GM60	4,0	5,3	8,9	3,0	21,5	22,0	21,6	18,4	27,6	20,2	21,7	36,3	<b>17,6</b>	<b>17,5</b>
GM120	9,9	7,8	18,3	13,9	33,8	35,6	21,0	19,6	47,2	22,9	30,4	49,9	<b>26,8</b>	<b>24,9</b>
GM	7,6	6,3	12,3	7,4	26,9	26,0	16,7	15,2	28,7	18,6	23,7	39,0	<b>19,3</b>	<b>18,8</b>
IR0	3,8	10,4	10,0	13,0	36,3	34,0	28,0	20,1	8,2	7,3	24,8	31,3	<b>18,5</b>	<b>19,4</b>
IR60	11,9	7,7	19,1	21,8	51,2	42,1	31,7	43,9	17,5	19,2	34,8	46,7	<b>27,7</b>	<b>30,2</b>
IR120	12,3	6,7	34,4	38,5	52,9	50,3	19,8	39,2	29,0	21,1	34,1	66,6	<b>30,4</b>	<b>37,1</b>
IR	9,3	8,3	21,1	24,4	46,8	42,2	26,5	34,4	18,3	15,9	31,2	48,2	<b>25,5</b>	<b>28,9</b>
JH0	4,7	11,2	18,6	3,5	40,6	5,6	39,4	13,3	14,0	4,2	24,8	23,2	<b>23,7</b>	<b>10,1</b>
JH60	8,7	9,2	10,1	16,4	39,4	14,8	56,9	12,0	19,7	5,5	27,6	23,8	<b>27,0</b>	<b>13,6</b>
JH120	9,7	1,4	26,9	18,3	34,0	22,9	72,5	25,0	22,6	4,8	34,4	17,3	<b>33,4</b>	<b>14,9</b>
JH	7,7	7,3	18,5	12,7	38,0	14,4	56,3	16,7	18,8	4,8	28,9	21,4	<b>28,0</b>	<b>12,9</b>
GK0 + fixatie	6,0	11,9	23,7	21,2	-	-	10,2	5,9	7,6	-	11,8	6,5	<b>11,9</b>	<b>11,4</b>
GK60 + fixatie	5,2	3,0	15,3	12,2	-	-	31,3	23,4	8,3	-	13,4	8,9	<b>14,7</b>	<b>11,9</b>
GK120 + fixatie	8,3	7,9	12,5	9,6	-	-	44,7	30,9	13,7	-	24,7	5,2	<b>20,8</b>	<b>13,4</b>
GK + fixatie	6,5	7,6	17,2	14,4	-	-	28,7	20,1	9,9	-	16,6	6,9	<b>15,8</b>	<b>12,2</b>
GK0 - fixatie	6,2	14,5	11,0	10,2	-	-	9,2	8,5	6,3	-	8,1	7,4	<b>8,2</b>	<b>10,1</b>
GK60 - fixatie	8,3	6,6	25,4	25,7	-	-	12,3	18,1	5,3	-	16,3	18,6	<b>13,5</b>	<b>17,3</b>
GK120 - fixatie	8,8	6,7	25,9	24,0	-	-	33,6	18,9	0,7	-	15,8	19,2	<b>17,0</b>	<b>17,2</b>
GK - fixatie	7,8	9,2	20,8	20,0	-	-	18,3	15,2	4,1	-	13,4	15,1	<b>12,9</b>	<b>14,9</b>
<b>gemiddeld</b>	<b>7,8</b>	<b>7,7</b>	<b>18,0</b>	<b>15,8</b>	<b>37,2</b>	<b>27,5</b>	<b>29,3</b>	<b>20,3</b>	<b>15,9</b>	<b>13,1</b>	<b>22,8</b>	<b>26,1</b>	<b>21,8</b>	<b>18,4</b>
<b>gemiddeld Z1+Z2</b>	<b>7,8</b>		<b>16,9</b>		<b>32,4</b>		<b>24,8</b>		<b>14,5</b>		<b>24,4</b>		<b>20,1</b>	

# BRIEF DESCRIPTION OF THE EU-ROTATE\_N MODEL

8/08/2007

## EU-Rotate\_N



EU-Rotate\_N is a four year project, funded by the European Commission within the Fifth Framework Programme, and is co-ordinated by Dr Clive Rahn at Warwick HRI. Partner organizations include HDRA UK, IGZ and BOLAP Germany , IVIA and CSIC Spain, Bioforsk Norway, DJF Denmark and ISOR Italy.

The developers can be contacted [eurotaten@warwick.ac.uk](mailto:eurotaten@warwick.ac.uk) or visit the Website at [www.warwick.ac.uk/go/eurotaten](http://www.warwick.ac.uk/go/eurotaten)

## **The Integrated Model - description of the model sub-routines.**

*Rahn CR, Zhang K, Lillywhite R, Ramos C, Doltra J, de Paz J M, Riley H, Fink M, Nendel C, Thorup Kristensen K, Piro F, Venezia A, Firth C, Schmutz U, Raynes F, Strohmeyer K.*

Where the model sub-routines are based on existing models or existing published algorithms these are referenced to the original source. Where new sub routines have been added which are based on new science such as the root routines these are described in more detail.

1 Model structure and timestep.....	2
2 Description of the soil.....	4
3 The water module .....	5
4 Mineralisation Module.....	6
5 Snow and Frost Module.....	7
6 Root Module .....	8
7 N uptake.....	10
8 Crop growth and critical N .....	11
9 Fertility Building Crops.....	12
10 Economics Module .....	13

### **1 Model structure and timestep**

The model consists of a number of subroutines to simulate the growth both below and above ground, nitrogen mineralisation from the soil and crop residues, subsequent N uptake and balance between supply and demand to regulate growth. These will all be regulated by weather factors such as rainfall, temperature and radiation. Routines simulate the flow of water and nitrogen into the plant, subsequent evapotranspiration or leaching.

The sub-routines operate in the following order, utilising data from soil properties, residues, fertiliser and weather data where appropriate.

1. The soil N mineralization: calculates soil N mineralization in the top 30cm soil depth from soil organic matter, crops residues and organic and inorganic N fertilisers;
2. The potential maximum increment in shoot dry weight: calculated on the assumption of no restriction from N-deficiency and water stress;
3. The potential maximum N-uptake: calculated from the product of potential maximum dry weight and the critical %N for a crop of that size;
4. The root distribution: calculates the rooting depth and width, and root length distribution in the root zone;

5. The actual N uptake: calculates the amount of N that the roots can take from the root zone;
6. The actual %N in the plant: calculated from the N uptake, the amount of N in the plant on the previous day, and the dry weight of the plant calculated for the previous day;
7. The snow dynamics and frost depth: calculates the snow depth, depths of frost and of any thawed layer above the frost layer, actual infiltration water for winter climate;
8. The surface runoff: calculates the surface runoff caused by heavy rain;
9. The potential transpiration and evaporation rate: calculated from the reference transpiration and a crop coefficient varying with crop development using a FAO approach;
10. The water drainage and redistribution: calculates soil water distribution in the entire soil domain from infiltration and soil properties;
11. The water removal: calculates the amounts of water that the roots can extract from the root zone and via evaporation;
12. The actual shoot dry weight increment: calculated from its current dry weight, the calculated %N and reduction in transpiration.
13. At harvest the amount of marketable crop and its gross margin is calculated using the Economics module.

Modules 1-12 are daily routines. Whether modules 7 & 8 are called is dependent on the information in the input file. During growth modules 1-12 are called on a daily basis, while modules 1, 7-11 are called when the model simulates fallow crops. At harvest module 13 is also called.

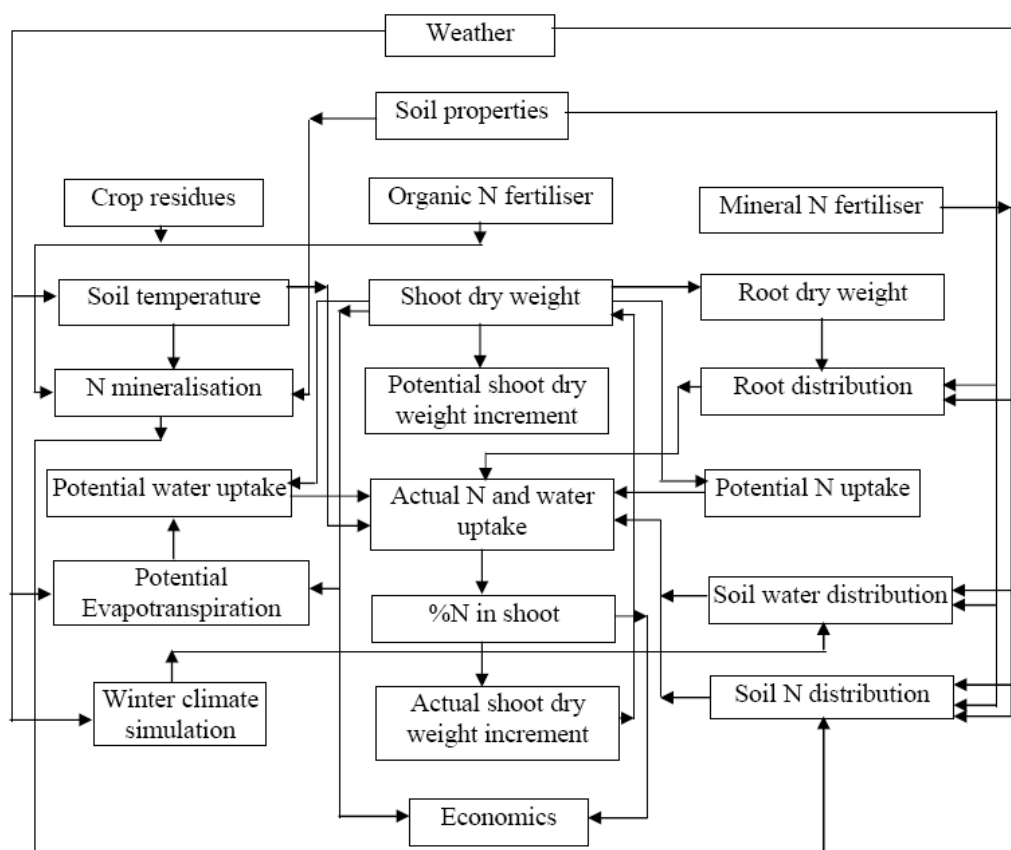


Figure 1: The organisation of the main model sub\_modules

## 2 Description of the soil

In the model the soil is divided into 40 5 cm thick vertical layers. After planting these layers are split horizontally into 5cm wide cells.. The number of cells horizontally depends on row width. As soon as the crop is harvested OR when the residues are incorporated the horizontal elements are merged into one unit until the next crop is planted. The description of the soil in this way allows for more accurate simulation of root growth than was possible in the original N\_ABLE model. While the crop is growing all the processes described below are all simulated at the element level.

The properties of the soil layers are provided by the user of the model and include the water content at permanent wilting point, field capacity and at the saturated level. These control water availability to the plant and allow calculation of drainage. Mineralisation and losses of nitrogen by denitrification is adjusted for water content. Other inputs include pH which allows for the simulation of N losses where urea fertilisers are used. The amount of organic matter levels affects the supply of N from mineralisation. Clay and sand contents are used to calculate urea solution and hydrolysis, ammonia volatilisation from top layer, decay rate coefficients, denitrification.

### 3 The water module

The water module has different parts that calculate basically the following:

- Crop evapotranspiration (soil evaporation and transpiration)
- Effective water infiltration (applied water minus runoff)
- Drainage
- Water redistribution in soil

Crop evapotranspiration is calculated using basically the FAO approach (Allen et al., 1998). The main parameters that enter in these calculations are those related to the evaporative demand of the atmosphere, summarized by the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and a crop coefficient that varies with crop development.

The effects of water stress on plant growth are considered assuming that the reduction in dry matter accumulation due to water deficit is proportional to the transpiration reduction (Hanks, 1983; Shani and Dudley, 2001).

Water infiltration and redistribution in soil follows a capacitance approach, similar to the one in the N\_ABLE model but that has been modified using a drainage coefficient that allows the water transfer between layers above field capacity to be done progressively (in more than one day) and more or less rapidly depending on soil type (Ritchie, 1998). Drainage at any depth is given as the water downward flow of the cell elements at this depth. The module also accounts for upward/downward capillary flow by adopting a soil water normalised diffusion approach (Rose, 1968 and Ritchie, 1998). The main parameters that define the hydraulic soil properties such as the water content at field capacity and wilting point, are input by the user for the different soil layers, although default values depending on soil texture are available.

Runoff is calculated using the approach by the U.S. National Resource Conservation Service (NRCS, formerly the Soil Conservation Service) based on studies of small (< 800 ha) agricultural watersheds across the United States.

#### *References*

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M.(1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper n° 56, FAO, Roma.
- Haan, C.T., B.J. Barfield and J.C. Hayes (1994) Design hydrology and sedimentation for small catchments, Academic Press, New York, 588p.
- Hanks R.J. 1983. Yield and water-use relationships: An overview. In H.M. Taylor et al. (ed.) Limitations to efficient water use in crop production. ASA, Madison, WI., pp. 393-411.
- Ritchie, J.T. (1998). Soil water balance and plant water stress. G.Y. Tsuji et al. (eds): Understanding options for agricultural production p. 41-54.
- Rose, D. (1968). Water movement in porous materials III. Evaporation of water from soil. Brit. J. Appl. Phys. ser 2(1): 1779-1791.
- Shani U. and L. M. Dudley. 2001. Field studies of crop response to water and salt stress. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1522–1528.

## 4 Mineralisation Module

Nitrogen (N) release from soil organic matter and from different kinds of N containing materials added to the soil for fertilising is calculated in a module that hosts the following routines:

- N mineralisation from both soil bound and freshly added organic matter
- N volatilisation from added manures and slurries
- Hydrolysis of urea and volatilisation of  $\text{NH}_3$

The concept of N mineralisation from organic matter is based on the routines used in the DAISY model (Hansen et al., 1990). Three pairs of conceptual pools (soil organic matter, soil microbial biomass added organic matter), each representing a rapidly decomposable and a slowly decomposable class of N containing organic substances, respectively, describe C dynamics in the soil. Decomposition rate coefficients are temperature and moisture dependent and reflect the environmental conditions of the simulated site. Decay and maintenance rates of soil microbial biomass are additionally influenced by soil clay content. Efficiency parameters determine the loss of  $\text{CO}_2$  during the single turn-over processes. N release as  $\text{NH}_4^+$  is a consequence of C lost as  $\text{CO}_2$  from the system that maintains fixed C to N ratios in the different pools. Processes of nitrification and denitrification are implemented to complete the turn-over model.

Residues of crops simulated with the crop growth model enter the mineralisation routine with a dynamic C to N ratio, which reflects the growth conditions of the crop during season with respect to N supply. The variable C to N ratio is assigned to the rapidly decomposing part of the material, while the remaining part is considered to decompose slowly, having a fixed C to N ratio. Decomposition rate coefficients of both pools are also fixed (Abrahamsen, 2000). C to N ratios and partitioning coefficients for crop residues are derived from stepwise chemical digestion experiments (Jensen et al. 2005). Manure and slurry properties are taken from DAISY parameterisations (Abrahamsen, 2000).

N volatilisation from soil applied manures and slurries are described using an empirical relation implemented in the ALFAM model (Søgaard et al., 2002). A soil pH dependency factor was introduced by fitting data from He et al. (1999) to Michaelis-Menten kinetics and subsequently normalising the relation between pH and volatilisation half life time to pH 7.0.

Hydrolysis of and gaseous N loss from applied urea fertiliser is calculated based on routines of the AMOVOL model (Sadeghi et al., 1988), taking into account the temperature dependent equilibrium between ammonium ions, solved and gaseous ammonia as well as the effect of soil organic matter, soil temperature and soil water potential on the hydrolysis process itself. An atmospheric resistance parameter finally governs the loss of gaseous ammonia from the top soil.

### *Literature*

Abrahamsen, P., Hansen, S., 2000. Daisy: an open soil-crop-atmosphere system model. *Environmental Modelling & Software* 15, 313-330.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., Svendsen, H., 1990. Daisy - A Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Research from the National Agency of Environmental Protection No. A 10. 272 pp.

He, Z.L., A.K. Alva, D.V. Calvert und D.J. Banks (1999): Ammonia volatilization from different fertilizer sources and effects of temperature and soil pH. *Soil Science*, 164 (10): 750-758.

Jensen, L.S., Salo, T., Palmason, F., Breland, T.A., Henriksen, T.M., Stenberg, B., Pedersen, A., Lundström, C., Esala, M., 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil* 273, 307-326.

Sadeghi, A.M., K.J. McInnes, D.E. Kissel, M.L. Cabrera, J.K. Koelliker und E.T. Kanemasu (1988): Mechanistic model for predicting ammonia volatilization from urea. In: B.R. Bock und D.E. Kissel (Hrsg.), *Ammonia volatilization from urea fertilizers*. National Fertilizer Development Centre, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, 67- 92.

Søgaard, H.T., S.G. Sommer, N.J. Hutchings, J.F.M. Huijsmans, D.W. Bussink und F. Nicholson (2002): Ammonia volatilization from field-applied animal slurry - the ALFAM model. *Atmospheric Environment*, 36 (20): 3309-3319

## 5 Snow and Frost Module

Routines have been developed that allow the calculation of snow depth and density, water storage in snow and water melting from the snow pack, using daily input of air temperature.

The original snow model was developed at the University of Helsinki by Vehviläinen & Lohvansuu (1991) for calculating water equivalent, but modified by Tuomo Karvonen (see internet reference) to calculate snow depth, which is important for determining soil freezing and thawing. We have further modified this model and have calibrated it by iterative simulation using a 10-year dataset from Norway, as described by Riley and Bonesmo (2005). The approach has later been validated with independent data.

The chosen soil frost model is based on two approaches, one for freezing and one for thawing. The approach for soil freezing was proposed by Olsen and Haugen (1997), at the Norwegian University of Life Sciences, Ås, assuming uniform thermal properties throughout the profile. Values for the latter properties are taken from the Swedish SOIL model (Jansson, 1991). The model requires input of surface temperature as modified by the snow pack. The approach used for thawing is that in the ECOMAG model developed at the University of Oslo (Molotov et al., 1999). We have validated both freezing and thawing processes for Norwegian conditions.

The snow and frost calculation procedures, including all parameters used, are described in detail in a programming note (Riley, 2004a). This note also describes how these processes interact with water infiltration and associated processes such as leaching. In brief, it is assumed that infiltration ceases when soil freezes. During snowmelt and soil thaw, an amount of water equal to the difference between field capacity and total porosity is stored for later infiltration, whilst the remainder passes



to surface runoff. An example of the interaction of frost with runoff appeared in an article in the second project newsletter (Riley, 1994b).

#### *Literature cited*

Jansson, P.E. 1991. Simulation modell for soil water and heat conditions. Report 165, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 72 pp.

Karvonen T. (internet publication). Model of snow accumulation and snowmelt.  
[www.water.hut.fi/wr/kurssit/Yhd-12.135/kirja/paa\\_e.htm](http://www.water.hut.fi/wr/kurssit/Yhd-12.135/kirja/paa_e.htm)

Motovilov, Y.G., L. Gottschalk, K. Engeland, & A. Belokurov, 1999. ECOMAG: Regional model of hydrological cycle. Application to the NOPEX region. Dept. Geophysics, University of Oslo, Report no. 1051, 88 pp.

Olsen, P.A. & L.E. Haugen, 1997. Jordas termiske egenskaper. Dept. Soil and Water Science, Agricultural University of Norway, Rapport nr. 8, 14 pp. (in Norwegian).

Riley, H. 2004a. Description of submodels on snow dynamics and frost depth. Programming note of 18th June 2004, 9 pp.

Riley, H. 2004b. New submodel: Snow and Frost Article intended in newsletter in June 2004,

Riley, H. and Bonesmo H. 2005. Modelling of snow and freeze-thaw cycles in the EU-rotate\_N decision support system. *Planteforsk Grønn Kunnskap (e)* vol. 9, no. 112, 8 pp.

Vehviläinen, B. & Lohvansuu, J. 1991. The effects of climate on water discharges and snow cover in Finland. *Hydrological Sciences* 36 (2): 109-121.

## **6 Root Module**

The root model calculation consists of three main parts: 1) first the physical extension of the root system is calculated, 2) then the total root length of the crop is calculated, and 3) finally the distribution of the root system depending on depth and distance from the crop row is calculated.

The depth development of the root system is calculated from the accumulated temperature sum from crop planting. After a lag period (ddglag) the rooting depth increases linearly with temperature sum. The length of the lag period and the rate of rooting depth development are controlled with crop specific parameter values. A crop specific base temperature (Tmin) for calculation of root growth is also used, and Tmax is then set to Tmin+20 °C. This approach to simulation of crop rooting depth is based on a number of studies showing good linear relationships between accumulated temperature sum and rooting depth (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004; Thorup-Kristensen, 2001; Thorup-Kristensen, 2006; Thorup-Kristensen, 1998; Thorup-Kristensen & Van den Boogaard, 1998; Thorup-Kristensen & Van den Boogaard, 1999; Kage et al., 2000).

$$rz=zstart+((cumuT-ddglag)*Krz) \quad (1)$$

Horizontal root extension is calculated in the same way, but for each soil layer the calculation starts when the roots reach this layer rather than when the crop is planted. In this way horizontal root growth starts progressively later at larger depths.

$$rx=xstart+((cumuT-ddglag)*Krx) \quad (2)$$

Crop root length is then calculated as a function of 1) crop biomass, 2) crop growth stage, and 3) the parameter value of root class “Rtclss”. The root biomass is calculated as a function of aboveground crop biomass, a fraction which declines with crop size, but increases with Rtclss ( $1 < 2 < 3$ ), to allow for crops with different root/shoot ratios. Total root length is then calculated from the simulated root biomass and a fixed specific root length which is used for all crops.

Root length is distributed spatially into a 2D array of soil units. Root models in crop/soil simulation models are mostly 1D; i.e. root density varies only with depth. However, most vegetable crops are grown as row crops, and the 2D approach was used to be able to simulate the effects of the row crop structure on crop rooting and uptake of water and nitrogen. Root distribution is calculated to a maximum depth of 2 m, and to a max width of half crop row distance. The soil units used in this array are 0.05 by 0.05 m.

The root length declines by a logarithmic function from the topsoil downwards, as originally proposed by Gerwitz and Page (1974), and from the crop row to the interrow soil. However, contrary to Gerwitz and Page (1974) we include a value for rooting depth, under which root density declines fast to zero. In the modified forms of the Gerwitz and Page equation used in other models, a rooting depth has also been included, but in these approaches the root density at maximum rooting depth has been constant, meaning that subsoil root density will always be low, and variation in root length will practically only be found in the topsoil. With our approach we allow higher root densities in the subsoil, but compared to the original equation from Gerwitz and Page (1974) our setup allows relatively high root density at the simulated rooting depth without leading to significant root density also in layers below that. In our approach the steepness of the logarithmic decline is controlled by one parameter for the vertical distribution (az) and another parameter for the horizontal distribution (ax).

$$\text{rootlength}(i,j)=(lz(i)*\exp(-ax*x)) \quad (3)$$

Ideally, the model should have been a 3D model, to simulate also the effect of plant distance within the crop row. At the early growth stages where root width is less than plant to plant distance within the row, an arbitrary function is used to reduce N uptake capacity accordingly.

#### *Reference List*

GERWITZ A, PAGE E.R. 1974 Empirical mathematical-model to describe plant root systems. J. Appl. Ecol. 11: 773-781

- KAGE,H., KOCHLER,M. & STUTZEL,H. 2000. Root growth of cauliflower (*Brassica oleracea* L. botrytis) under unstressed conditions: measurement and modelling. *Plant & Soil* 223, 131-145.
- KRISTENSEN,H.L. & THORUP-KRISTENSEN,K. 2004. Uptake of <sup>15</sup>N labeled nitrate by root systems of sweet corn, carrot and white cabbage from 0.2 to 2.5 m depth. *Plant & Soil* 265, 93-100.
- THORUP-KRISTENSEN,K. 1998. Root Growth of Green Pea (*Pisum sativum* L.) Genotypes. *Crop Sci.* 38, 1445-1451.
- THORUP-KRISTENSEN,K. 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant & Soil* 230, 185-195.
- THORUP-KRISTENSEN,K. 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil Use Man* 22, 29-38.
- THORUP-KRISTENSEN,K. & VAN DEN BOOGAARD,R. 1998. Temporal and spatial root development of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis L.). *Plant & Soil* 201, 37-47.
- THORUP-KRISTENSEN,K. & VAN DEN BOOGAARD,R. 1999. Vertical and horizontal development of the root system of carrots following green manure. *Plant & Soil* 212, 145-153.

## 7 N uptake

N uptake is calculated as a function of crop N demand on a specific day and the potential root N uptake on the same day. The simulated crop N demand is received from the crop growth part of the model. The potential supply from the soil is calculated as a function of the root length in each soil unit, the content of ammonium-N and nitrate-N in each soil unit and the value  $S_N$  read from the croptable parameter file, to control root N uptake efficiency. Diffusion terms are not included in the simulation, as with N uptake this is not assumed to be significant over the relevant time spans for the simulations. N in the form of nitrate is highly mobile in the soil, and diffusion processes will only limit uptake on the very short term even at low root density. Here the equation for potential ammonium-N uptake is shown; this calculation is made for each soil unit and summed for the whole soil volume. The value of  $S_1$  determines the minimum amount of ammonium-N which can be left in the soil:

$$N_{potnh4} = ((\text{rootlength} * S_N * (\text{nnh4} - S_1)) / (S_2 + \text{nnh4})) \quad (4)$$

A minimum level of N left in the soil is included for both ammonium-N and nitrate-N, as experimental data show, that even though crops with high N demand compared to the soil N supply may reduce soil N to very low levels, some soil N is always measured in the soil analyses, especially in the topsoil layers (e.g. Thorup-Kristensen, 2001, 2006).  $S_2$  reduces N uptake as these minimal values are reached.

A function is then used to balance actual N uptake according to crop N demand and potential root N uptake. When crop N demand and potential root N uptake are close to each other, the simulated N uptake will be below either value, but at very high or low

N supply relative to demand, the uptake will be fully controlled by crop N demand and potential root N supply respectively.

$$Nup = Ndemand * (1 - \exp(-1 * (Npot / Ndemand))) \quad (5)$$

Often, the calculated actual N uptake will be lower than the potential root N supply. When this is the case, the actual depletion of soil N will be reduced proportionally from the potential value in all soil units. At last, a specific calculation is made of N taken up from below 0.9 m in the soil. This is made as N leaching loss and other N balance figures are shown mainly from the 0-0.9 m soil layer in much of the model output, and it is therefore necessary also to have an output showing how much N is taken up from below this zone.

#### Reference List

THORUP-KRISTENSEN, K. 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant & Soil* 230, 185-195.

THORUP-KRISTENSEN, K. Effect of deep and shallow root systems on the dynamics of soil inorganic N during three year crop rotations. *Plant & Soil* 288, 233-248. 2006.

Ref Type: Journal (Full)

## 8 Crop growth and critical N

Each day the increment in plant dry matter is calculated from:

$$\Delta W = \frac{K_2 G_N G_T G_W W}{K_1 + W} \quad (6)$$

where  $W$  is the cumulative dry weight,  $K_2$  is calculated as described below.  $K_1 = 1 \text{ t ha}^{-1}$ .  $G_T$  is the effective day degree for the day divided by the average day degree throughout the entire growing period, where the effective day degree is the average temperature for the day less a base temperature, with the limitation that if the average temperature exceeds  $20^\circ\text{C}$  then it is set equal to  $20^\circ\text{C}$ .  $G_N$  and  $G_W$  are the growth coefficients dependent on crop %N and water supply.  $K_2$  is calculated from the integral of the above equation with  $G_N$ ,  $G_W$  and  $G_T$  set equal to 1. The equation is then

$$K_2 = \frac{K_1 \ln W_{\max} + W_{\max} - K_1 \ln W_P - W_P}{T_h - T_P} \quad (7)$$

where  $W_P$  is the dry weight at planting.  $T_h$  is the time of final harvest and  $T_P$  is the time of drilling or planting in days from Jan 1st.

We use a unified equation to define critical %N for different crops, i.e.

$$\%N_{\text{crit}} = a(1 + be^{-0.26W}) \quad (8)$$

where  $\%N_{crit}$  is the critical  $\%N$ , and  $a$  and  $b$  are the coefficients, varying from crops (see the crop table of the model).

Luxury N consumption is permitted to take place. It is calculated as follows:

$$\%N_{max} = R_{lux} \%N_{crit} \quad (9)$$

where  $\%N_{max}$  is the maximum possible crop  $\%N$ , and  $R_{lux} (\geq 1)$  is the coefficient for luxury N consumption (see the crop table).

For each day a growth coefficient  $G_N$  is calculated as:

$$G_N = \min\left(\frac{\%N}{\%N_{crit}}, 1.0\right) \quad (10)$$

where  $\%N$  is the actual  $\%N$  in the dry matter of the whole plant (excluding fibrous roots)

Similarly, a growth coefficient  $G_W$  is calculated as:

$$G_W = \frac{TR_{act}}{TR} \quad (11)$$

where  $TR$  and  $TR_{act}$  are the actual and potential transpiration rates.

## 9 Fertility Building Crops

As it is difficult to specify an appropriate target yield for a fertility building crop an alternative approach is used. The user specifies Good, Medium or Bad growth rather than a numerical value and the actual numbers for each crop are read from the crop table. The increment in plant dry matter on each day is calculated from:

$$\Delta W = \min(GG_N G_T W, \Delta W_{type}) \quad (12)$$

where  $W$  is the cumulative dry weight,  $G$  and  $\Delta W_{type}$  is set to one of three possible values (good, medium, bad) to define the growth rate and the dry weight increment,  $G_N$  and  $G_T$  are the growth coefficients dependent on the crop  $\%N$  and day degree. The calculation of the growth coefficient  $G_N$  is the same as that for a cash crop.

The growth coefficient  $G_T$  is calculated:

$$G_T = \begin{cases} 1.0 & \text{if day degree} > 10.0 \\ \frac{\text{day degree} - \text{base temperature}}{10.0 - \text{base temperature}} & \text{base temperature} \leq \text{day degree} \leq 10.0 \\ 0 & \text{day degree} < \text{base temperature} \end{cases}$$

(13)

Another crop parameter specifies the percentage of biomass which is returned to the upper layer of the soil each day; it is then mineralised as a crop residue. This is particularly significant for longer term leys. The user can specify dates at which the crop is mown – on these occasions 50% of the biomass is added to the soil.

Most fertility building crops are legumes and nitrogen fixation is the main source of nitrogen in organic cropping systems. A crop parameter specifies N fixation or not (this also applies to cash crops). The growth of N fixing crops is not limited by nitrogen in the soil as any more that they need is taken from the air.

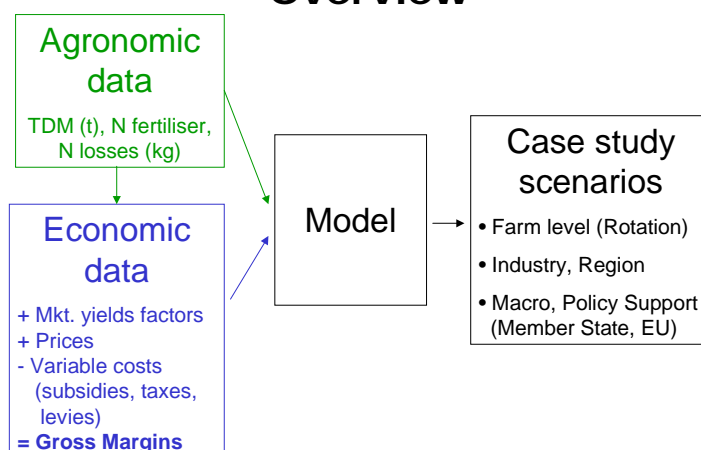
Annual crops are killed after an appropriate period of time (specified in the Crop Table) regardless of the ‘harvest date’ set by the user. Crops are also killed if the temperature drops below a specified value.

Modelling of the growth of undersown crops begins at the harvest of the overstory with an appropriate dry matter and nitrogen content as specified in the Crop Table; the user can choose between Good, Medium and Bad performance as an understory to give different starting conditions.

## **10 Economics Module**

At present soil- and plant, models rarely contain economic components, because natural and social sciences often use different approaches to modelling. In the EU-Rotate\_N model we did not attempt building a separate economic model, rather integrated the economics into a sub-model, so that EU-Rotate\_N can run with or without the economic part (Schmutz et. al. 2004). The main entry into the economic model is the total dry matter (TDM), which includes roots, and all above ground dry matter. TDM is an output of the current agronomic model. This parameter however, does not give an indication of the above ground dry matter or fresh matter, nor is there an indication of size or shape of the marketable vegetable parts. Therefore, one of the challenges was finding appropriate algorithms to calculate a marketable yield, which is a major input in any farm economic model. This gives also a figure for the dry matter removed, and the remaining residues (post-harvest) are used as an input for the mineralisation sub-model.

## Overview



*Simplified model overview and link to economic data*

### *Conversion of total dry matter in marketable yield*

Marketable yields are not fixed: the percentage of total yield marketable depends on “soft” or social factors. Among those are market channels, production systems (organic or conventional), eating cultures (e.g. some countries prefer small, other large vegetables, a full-flavoured taste in one may be considered bitter in another). Only a few “hard” figures can be used such as the EU trade classifications, which makes certain vegetables un-marketable if below or above the specifications. Considering these, two strategies were developed - one more empirical the other more theoretical.

(1) For the empirical conversion “Direct conversion” our own research, published and un-published field research data were collected, where both total dry matter and marketable yields were measured across Europe. From this an algorithm was derived converting total dry matter into marketable yield at any given N supply level considering the effects of both sub- and supra-optimal supply of N. A unified algorithm with different crop specific parameters is used for each annual vegetable with a single harvest. There are three main types of vegetable crops: some with a simple constant relationship at all available N levels, some with linear increasing or decreasing relationship depending on available N. Some are more complicated with a non-linear relationship. Other vegetable crops are perennial, like artichokes, or with multiple harvests and need different algorithms than annual, single harvest crops.

“Direct conversion” is a direct conversion of total dry matter (TDM) into marketable yield (MKTY) with one factor R, sourced from empirical data.

$$\text{MKTY} = \text{TDM} \times R \cdot f(N_{av}) \quad (14)$$

With:

- R the ratio of marketable yield to total dry matter for optimum nitrogen supply and spacing
- $N_{av}$  the available nitrogen (N)

The ratio R is individual for each crop and depends on the available N supply used for each crop. The formula for R is a linear or polynomial relationship of available nitrogen ( $N_{av}$ ).

$$R = r_0 + r_1 \times N_{av} + r_2 \times N_{av}^2 + r_3 \times N_{av}^3 + r_4 \times N_{av}^4 \quad (15)$$

The terms  $r_0$ ,  $r_1$  and  $r_2$  are empirically gained for individual crops. For a simple constant relationship:  $r_1 = 0$  and  $r_2 = 0$ . For a linear relationship:  $r_2 = 0$ . Otherwise, the relationship is non-linear. For some crops, more polynoms may be needed because of different behaviour in sub- and supra-optimum conditions and therefore  $r_3$ ,  $r_4$  ...  $r_x$  are added.

(2) In a second approach, the single plant fresh weight is calculated. This is done using the harvest index to calculate the dry weight of the harvested parts. Then, with the dry matter content and the plant population, an average single plant fresh weight is produced. Assuming a normal distribution of plant fresh weights and a coefficient of variation of e.g. 20% a lower and upper limit of marketable plant fresh weight can be set (e.g., the EU trade specifications). With this information, an average fresh weight of marketable plants within these specifications is calculated. Using the plant population again, the marketable yield and the residues left post-harvest are calculated.

$$\text{av. single plant fresh weight} = \text{TDM} \times \text{HI} \times \text{plant population}^{-1} \times \%dm^{-1} \quad (16)$$

A normal distribution with a given coefficient of variation is used to simulate the %-gradeout, then the marketable yield in tonnes is calculated. For each crop, a default model choice (approach 1 or 2) is stored in the crop table, but the experienced user can change this.

#### *Prices, variable costs and gross margin calculation*

With the marketable yield modelled, the calculation of the crop gross margin (GM) uses the standard equation:

$$GM = \text{MKTY} \times \text{Price} - VC_{ind} - VC_{dep} - VC_{N\ fert} \quad (17)$$

The variable costs independent ( $VC_{ind}$ ) of marketable yield are recorded per hectare and consist of seed and transplants costs, fertiliser costs excluding N fertiliser, fleece, irrigation, crop protection, weed control. Variable costs depending ( $VC_{dep}$ ) on the marketable yield are recorded per tonne marketed and multiplied by MKTY. They consist of packaging and drying, transport, harvest casual labour and market commission. The variable costs of inorganic and organic fertilisers ( $VC_{N\ fert}$ ) are calculated using the physical data generated by the model. The triggered amount of fertiliser and number of applications are multiplied by the cost of fertiliser and the cost per application as specified in the input file. Subsidies are not considered in the gross margin calculation. Rotational gross margin is cumulative gross margin of all



crops in the rotation (including the negative gross margin of cover crops) divided by the number of years simulated.

For the calculations, own figures or standardised figures stored in a separate economic data file can be used. In this database, the countries Norway, Denmark, Germany, UK, Italy and Spain are considered. The market channels considered are pre-pack for supermarket, wholesale, direct marketing and processing. The growing systems considered are conventional and organic. The database holds about 300 crop entries of all relevant horticultural crops, including fertility-building crops, across Europe. The data are current prices and standardised variable cost data published in each country for conventional and organic farming systems (e.g. Lampkin et al., 2004; Nix, 2004; Agro Business Consultants Ltd., 2005). The level of data availability and the depth of detail vary among countries.

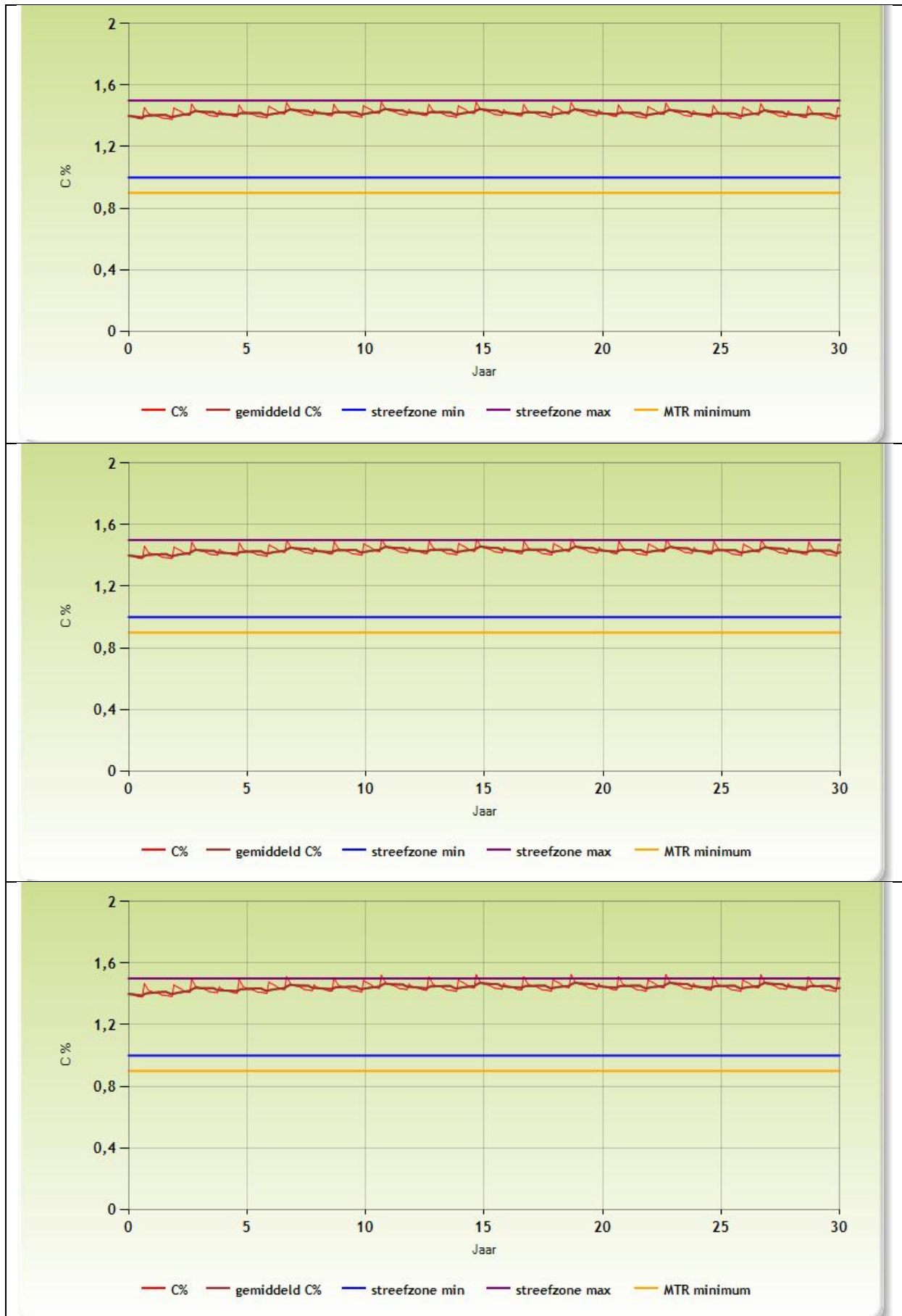
*Literature cited.*

Agro Business Consultants Ltd. (2005): The Agricultural Budgeting & Costing Book, Agro Business Consultants.

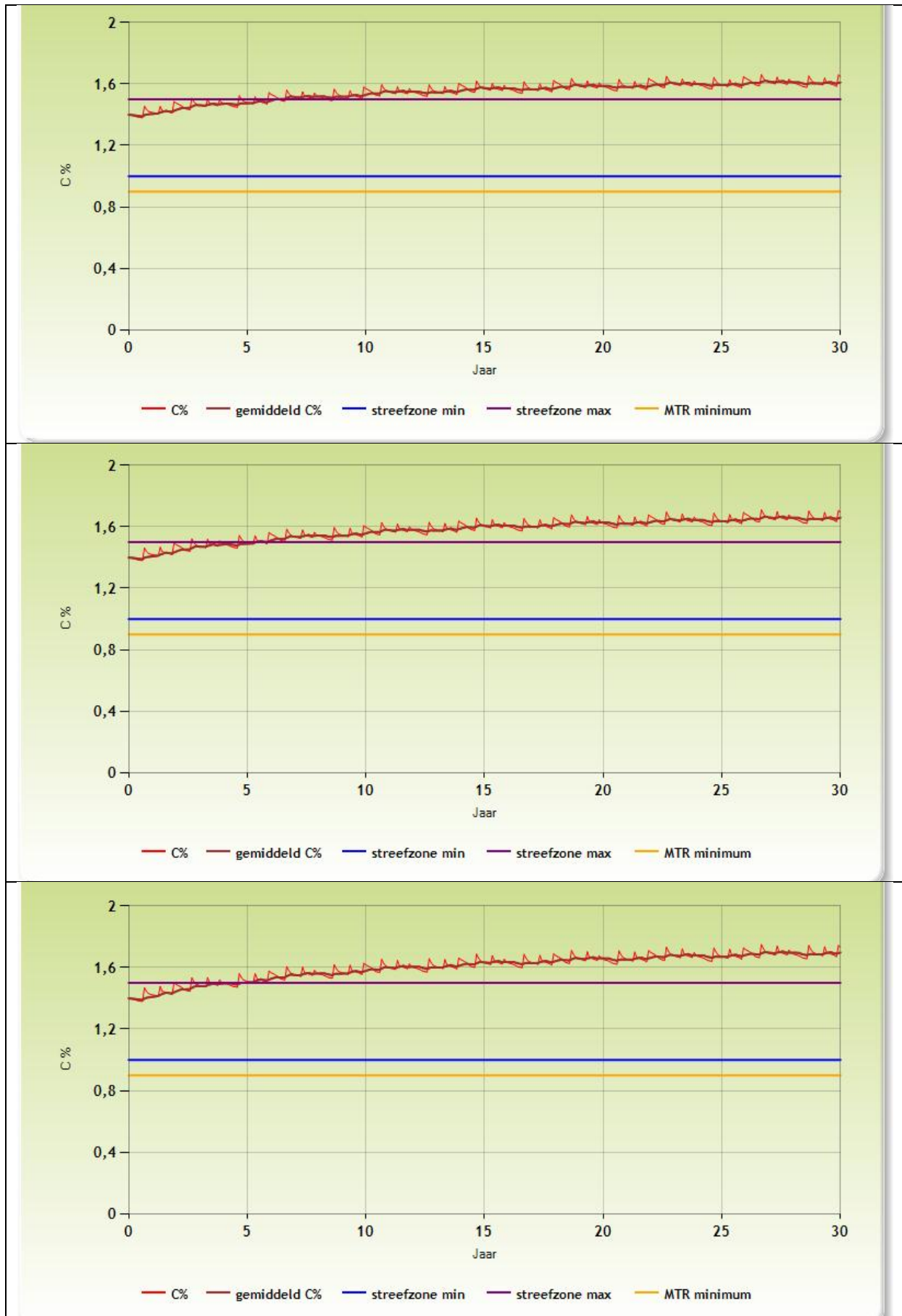
Lampkin, N., M. Measures, et al. (2004). 2004 Organic Farm Management Handbook. Aberystwyth, Newbury, Organic Farming Research Unit at Institute of Rural Sciences, University of Wales. Organic Advisory Service, Elm Farm Research Centre. 226.

Nix, J. (2004). Farm Management Pocketbook 2005. London, The Andersons Centre.

Schmutz, U., C. Firth, F. Rayns and C. Rahn (2004): Can N Use and Farm Income be Optimized for Organic Field Vegetable Rotations in Europe? In: Organic Farming Ed. A. Hopkins BGS Symposium No. 37: ISBN 0905944 844. p. 200-203



FIGUUR 1: EVOLUTIE VAN HET KOOLSTOFGEHALTE VAN DE BODEM VOOR DE BRAAKBEHANDELINGEN (0 – 60 – 120 KG N HA<sup>-1</sup>).



FIGUUR 2: EVOLUTIE VAN HET KOOLSTOFGEHALTE VAN DE BODEM VOOR GELE MOSTERD BIJ VROEGE ZAAI (0 – 60 – 120 KG N HA<sup>-1</sup>).





Vlaamse Landmaatschappij  
SAMEN INVESTEREN IN DE OPEN RUIMTE

## *Onderzoeksopdracht*

Beste landbouwpraktijken van teelten in  
combinatie met nateelten/vanggewassen



## Literatuurstudie

2 oktober 2014

### **Consortium**

Universiteit Gent

ILVO Plant

Inagro

Bodemkundige Dienst van België

Hogeschool Gent

**Refereren naar deze literatuurstudie:**

De Waele, J., Odeurs, W., Elsen, A., Vandecasteele, B., De Vliegheer, A., Haesaert, G., Derycke, V., Verlinden, G., Bries, J., Wittouck, D., De Neve, S. (2014). Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/ vanggewassen. Literatuurstudie. 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. 91 p.

# INHOUDSOPGAVE

English summary.....	1
1 Inleiding.....	2
1.1 Onderzoeksopdracht.....	2
1.2 De rol van vanggewassen .....	2
2 Bemestingsnormen van granen in vlaanderen .....	4
2.1 Stikstofbehoefte wintertarwe.....	4
2.2 Evolutie bemestingsnormen voor wintertarwe .....	7
2.2.1 Mestactieplan 1, 2 en 3.....	7
2.2.2 MAP4.....	8
2.3 Evaluatie bemestingsnormen granen.....	9
2.4 Nitraat-N-residu na granen.....	10
2.4.1 Nitraat-N-residu referentieperiode.....	10
2.4.2 Nitraat-N-residu bij oogst.....	12
2.4.3 Stikstofmineralisatie najaar .....	13
2.4.4 Organische bemesting na de oogst van de hoofdteelt.....	15
2.4.5 Stikstofvrijstelling uit oogstresten .....	18
3 Soorten vanggewassen.....	19
3.1 Indeling van de vanggewassen .....	19
3.1.1 Bladrijke vanggewassen .....	19
3.1.2 Grasachtige vanggewassen.....	19
3.1.3 Vlinderbloemige vanggewassen .....	20
3.2 Factoren die de keuze van het vanggewas bepalen.....	20
3.2.1 Gewenste functie van het vanggewas.....	20
3.2.2 Plaats binnen de teeltrotatie .....	23
3.2.3 Zaaitijdstip .....	24
3.2.4 Kostprijs.....	24
3.2.5 Aanlegwijze.....	25
3.2.6 Vernietigingswijze .....	25
4 Stikstofopname door vanggewassen.....	27
4.1 Inleiding.....	27
4.2 Ontwikkeling van het vanggewas en zijn stikstofopname .....	29
4.3 Effect van de wortelontwikkeling op de stikstofopname .....	36
4.4 Effect van het zaaitijdstip op de stikstofopname .....	38
4.5 Effect van bemesting op de stikstofopname .....	41
5 Mineralisatie van vanggewassen na inwerken in de bodem .....	47

5.1	Afbraak van vanggewassen.....	47
5.2	Stikstofmineralisatie.....	47
5.3	Opbouw van organische koolstof.....	52
6	Uitspoeling en uitloging.....	56
6.1	Uitspoeling uit de bodem .....	56
6.2	Uitloging uit het strooisel van vanggewassen.....	59
7	Effect op het volggewas.....	61
8	Immobilisatie .....	63
9	Denitrificatie .....	65
10	Vanggewassen en N-fixatie in de biologische landbouw .....	73
11	Referenties.....	75
12	Bijlage 1: Vlaamse referentieprojecten .....	82
	ADLO-project “Beheersing van het nitraatresidu in de akkerbouw: een permanente uitdaging” .....	82
	Demonstratieproject “Beperken van nitraatresidu in de vollegrondsgroenteteelt via beredeneerde N-bodembalans” .....	82
	N-(eco) <sup>2</sup> -studie.....	82
	“Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresidu-norm” .....	83
	“Analyse van Nitraatstikstofresidumetingen in de tuinbouw” .....	83
	“N-monitoring in relatie tot de mineralisatie van diverse groenbemesters” .....	83
	“Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem” .....	84
13	Bijlage 2: Fiches van de meest voorkomende vanggewassen.....	85
	Gele mosterd ( <i>Sinapis alba</i> ).....	85
	Bladrammenas ( <i>Raphanus sativus</i> ).....	86
	Facelia ( <i>Phacelia tanacetfolia</i> ).....	87
	Italiaans raaigras ( <i>Lolium multiflorum</i> ).....	88
	Snijrogge ( <i>Secale cereale</i> ).....	89
	Japanse haver ( <i>Avena strigosa</i> ) .....	90
	Wikke ( <i>Vicia sativa</i> ).....	91



## ENGLISH SUMMARY

This literature review shows the fertilisation standards for cereals which became more and more limited during the sequence of action plans. The nitrate-N residue between the first of October and the 15th November after cereals responded positively on the restrictions set in the action plans and the more sustainable and more reasoned fertilisation. However this evolution of lower nitrate residues resulted in lower amounts of nitrate available for plant growth in spring which results in higher nitrogen fertilisation. Under the restricted fertilisation standard the higher advices cannot be accomplished anymore. If the amount of nitrogen supplied for a catch crop has to be taken into account in the standard for the cereal crop a profitable culture of cereals will not always be possible. An overview of Flemish and international studies on catch crops shows the capacity of different types of catch crops. The nitrate-N-residue was always lower when catch crops were cultivated and nitrate leaching during winter was reduced. N<sub>2</sub>O emissions decreased due to catch crop cultivation in winter, but increased after catch crop incorporation. N uptake in the above ground parts can be highly variable but N-uptake figures of 178 kg N/ha were measured in Belgian studies. Most studies resulted in N-uptake figures between 20 and 100 kg N/ha. N-uptake is shown to be function of N-availability, sowing date, crop type and weather conditions. Fertilisation of the catch crop resulted in higher N-uptake but the amount of N supplied by fertilisation was not always used for 100%. Both efficient and non-efficient use of N-fertilisation was shown. The moment of N-mineralisation of the catch crop depends on the moment of incorporation of the catch crop and the type of catch crop cultivated. N-mineralisation of the catch crop can reach from 9 kg N/ha for a poorly developed catch crop incorporated in autumn to 42 kg N/ha for a well-developed catch crop incorporated in spring. Catch crops in the crop rotation also help to maintain the level of organic matter in the soil. For this purpose grasses are the most appropriate. The amount of organic matter contributed by catch crops one year after incorporation can be estimated at 900 to 1100 kg/ha.

# 1 INLEIDING

## 1.1 ONDERZOEKSOPDRACHT

Deze literatuurstudie combineert resultaten uit internationaal en Vlaams onderzoek, respectievelijk samengesteld door de UGent en de Bodemkundige Dienst van België. Ze werd opgesteld in het kader van de onderzoeksopdracht '*Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten of vanggewassen*'. 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 overeenkomst voor het uitvoeren van de opdracht 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 uitvoering van de opdracht ging van start op 1 oktober 2011.

## 1.2 DE ROL VAN VANGGEWASSEN

Minerale stikstof ( $N_{\min}$ ) is cruciaal voor de gewasgroei. Een teveel aan  $N_{\min}$  in de bodem zorgt voor verliezen die onder meerdere vormen – met uitzondering van  $N_2$  – schadelijk zijn voor het milieu. Nitraten kunnen bij een neerslagoverschot terechtkomen in het grondwater. Dit heeft 3 grote nadelige gevolgen:

1. Een verhoogd nitraatgehalte maakt het grondwater ongeschikt voor menselijke consumptie; nitraten worden in het menselijk lichaam omgezet tot nitrieten. In het bloed bindt nitriet met hemoglobine en vormt methemoglobine, waardoor zuurstoftekorten kunnen optreden. Bij kleine kinderen kan dit leiden tot het blauwe babysyndroom (Knobeloch et al., 2000). Nitrieten kunnen in de maag ook omgezet worden tot nitrosamines, die een carcinogene werking hebben op het gastro-intestinaal kanaal (Ward et al., 2005).
2. Via het verontreinigd grondwater komen de nitraten ook in het oppervlaktewater terecht, waar zij bijdragen tot de problematiek van eutrofiëring.

3. Het verlies van nitraten uit de bodem wordt in de conventionele landbouw gecompenseerd met de jaarlijkse toediening van kunstmest. Het aanmaken van kunstmest is een zeer kostelijk en energieverwendend proces.

Het telen van vanggewassen kan dan ook pas als een doeltreffende maatregel beschouwd worden als dit de vraag naar toediening van stikstof in het daaropvolgende jaar verkleint (Vos & van der Putten, 2001). Het verlies aan nitraten in de winter wordt immers omgebogen in een N-gift aan het volgende hoofdgewas.

De efficiëntie van vanggewassen hangt af van:

1. De stikstofopnamesnelheid van het vanggewas tijdens het najaar; deze hangt sterk af van het soort vanggewas, van het inzaaitijdstip, van de weersomstandigheden en van de concentratie en verdeling van  $N_{\min}$  in de bodem.
2. De retentie van stikstof in het vanggewas tot het moment van inwerken; dit hangt voornamelijk af van de winterhardheid van de soort. Die winterhardheid kan negatief beïnvloed worden door hogere beschikbaarheid van stikstof; voor winterrogge werd reeds aangetoond dat 's winters het N-verlies uit het plantenweefsel groter is bij bemesting en vroege inzaai (Vos & van der Putten, 2001).
3. Het mineralisatiepatroon van stikstof uit het vanggewas in relatie tot de evolutie van de stikstofvraag van het volggewas; dit hangt af van het tijdstip van inwerken, de C:N-verhouding en alle andere factoren die de afbraak- en mineralisatiesnelheid beïnvloeden. Idealiter is de mineralisatiesnelheid het hoogst op het moment dat de stikstofvraag van het volggewas het grootst is.

De waarde van vanggewassen ligt echter niet enkel in de beperking van de N-uitspoeling; ze kunnen bij correct gebruik in een rotatie ook een positief effect hebben op de bestrijding van plagen, ziekten en onkruiden (Abawi & Widmer, 2000), ze dragen bij tot de opbouw van bodemorganische stof, verbeteren de bodemstructuur, stimuleren het bodemleven en de biodiversiteit en beschermen de bodem tegen verslemping en erosie.

Vanggewassen kunnen tevens een belangrijke rol spelen in de nutriëntencycli. Planten stimuleren immers de afbraak van organische substraten door labiele C-vormen vrij te stellen voor de microbiële populatie in de wortelzone (Cheng et al., 2003). De afbraak- en N-mineralisatiesnelheid zijn afhankelijk van de plantensoort, de samenstelling van de microbiële gemeenschap en de nutriëntenbeschikbaarheid. De netto N-mineralisatie is niet enkel afhankelijk van de C:N-verhouding, maar wordt positief beïnvloed door de verschillen in stochiometrie tussen het eerste en tweede trofische niveau. De secundaire consumenten (protozoa, nematoden) leven van de primaire (bacteriën, schimmels) en stellen daarbij N vrij. Hieruit volgt dat de structuur van het voedselweb een significante regulator is voor de beschikbaarheid van nutriënten voor de primaire producenten (de planten). Er zijn steeds meer bewijzen voorhanden dat planten naargelang hun nutriëntenbehoefte dit mechanisme beïnvloeden door de hoeveelheid oplosbare C die ze vrijstellen via de wortels. Sommige planten creëren hun eigen microbiële gemeenschap in hun wortelzone en slagen er zo in de mineralisatie zowel ruimtelijk als temporeel af te stemmen op hun opname, waardoor de hoeveelheid  $N_{\min}$  in de bodem tot een minimum beperkt wordt. Door voor zulke planten te kiezen, kan het toedienen van oplosbare anorganische meststoffen beperkt worden tot het strikt noodzakelijke, en kan het risico op uitspoeling ook tijdens het groeiseizoen tot nul gereduceerd worden (Drinkwater & Snapp, 2007).

## 2 BEMESTINGSNORMEN VAN GRANEN IN VLAANDEREN

### 2.1 STIKSTOFBEHOEFTE WINTERTARWE

De bemesting van granen richt zich vooral op de stikstofbemesting. Een algemene goede vruchtbaarheidstoestand en pH-toestand van graanpercelen is uiteraard ook van belang maar hieraan wordt doorgaans gewerkt in rotatieverband. Een voldoende stikstofvoorziening is uitermate belangrijk voor de huidige hoogproductieve tarwevariëteiten. Voor een goede korrelopbrengst is behoorlijk wat stikstof nodig aangezien de tarwekorrels veel eiwitten bevatten. Een algemene stelregel in relatie tot de korrelopbrengst is een stikstofbehoefte van 25 kg N per ton korrels met een eiwitgehalte van 11 % (voedertarwe) tot 13 % (baktarwe). Van deze 25 kg N wordt 18 à 20 kg geïnvesteerd in de korrelgroei (Darwinkel, 1997). Ook in Nederland is men overtuigd van de hoge stikstofbehoefte van productieve wintertarwe met hoge eiwitgehalten. Voor een productie van 10 ton graan met een eiwitpercentage van 13 % op een kleigrond wordt de stikstofbehoefte begroot op 246 kg stikstof (Nutrinorm, 2012). De stikstofopname (kg N ha<sup>-1</sup>) in korrel en stro wordt ingeschat zoals weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1: STIKSTOFOPNAME (KG N HA<sup>-1</sup>) IN KORREL EN STRO IN FUNCTIE VAN GRAANOPBRENGST (TON HA<sup>-1</sup>) EN EIWITGEHALTE (%) (NUTRINORM, 2012).

Graanopbrengst (ton ha <sup>-1</sup> )	Eiwitgehalte		
	13%	12%	11%
8	197	181	164
9	221	203	185
10	246	226	205
11	270	248	226
12	295	271	247

De vermelde benodigde hoeveelheid stikstof dient uiteraard niet volledig aangevoerd te worden. Ook de minerale stikstof aanwezig in het profiel bij de aanvang van het groeiseizoen en de stikstof die door mineralisatie wordt vrijgezet gedurende het groeiseizoen van de granen kan worden aangesproken. Deze hoeveelheden kunnen gemeten en begroot worden en dienen niet meer mineraal of organisch aangevoerd te worden.

De nitraatvoorraden in het voorjaar zijn echter onderhevig aan weersinvloeden, zijn functie van de voorafgaande teelt en worden tevens beïnvloed door de geldende bemestingsnormen. Tussen de gemiddelde stikstofvoorraad in het voorjaar (1 januari tot 15 maart) in de periode 1989-1991 (Hendrickx et al., 1992) en de periode 2008-2011 (Maes et al., 2012) zijn grote verschillen (Tabel 2).

TABEL 2: GEMIDDELDE HOEVEELHEID NO<sub>3</sub>-N EN NH<sub>4</sub>-N (KG HA<sup>-1</sup>) IN DE BODEM (0-90 CM) VAN AKKERBOUWPERCELEN IN HET VOORJAAR VOOR VERSCHILLENDE PERIODEN EN TEELTEN (MAES ET AL., 2012).

Teelt	Periode	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N
Wintertarwe	1989-1991	140,7	14,6
	2008-2011	76,4	15,3
Suikerbieten	1989-1991	132,9	12,9
	2008-2011	74,5	14,4
Aardappelen	1989-1991	87,8	12,2
	2008-2011	46,8	11,9
Witloof	1989-1991	75,9	14,2
	2008-2011	46,8	13,8

Voor de teelt van winter tarwe zat er in de periode 1989-1991 gemiddeld 64,3 kg NO<sub>3</sub>-N meer in de bodemlaag van 0-90 cm in vergelijking met de situatie in de periode 2008-2011 (Tabel 2). De grote verschillen in nitraatstikstof tussen beide perioden zijn het gevolg van de verbeterde bemestingspraktijken, de steeds strengere bemestingsnormen en de strengere uitrijmaatregelen (Tits et al., 2010).

De kleiner wordende stikstofvoorraden in het voorjaar resulteren echter in gemiddeld hogere adviezen zoals blijkt uit Figuur 1 en Figuur 2. De evolutie van de stikstofadviezen in functie van een optimaal teeltrendement blijkt ook uit de statistieken van de stikstofbemestingsadviezen van de Bodemkundige Dienst van België (Tabel 3).

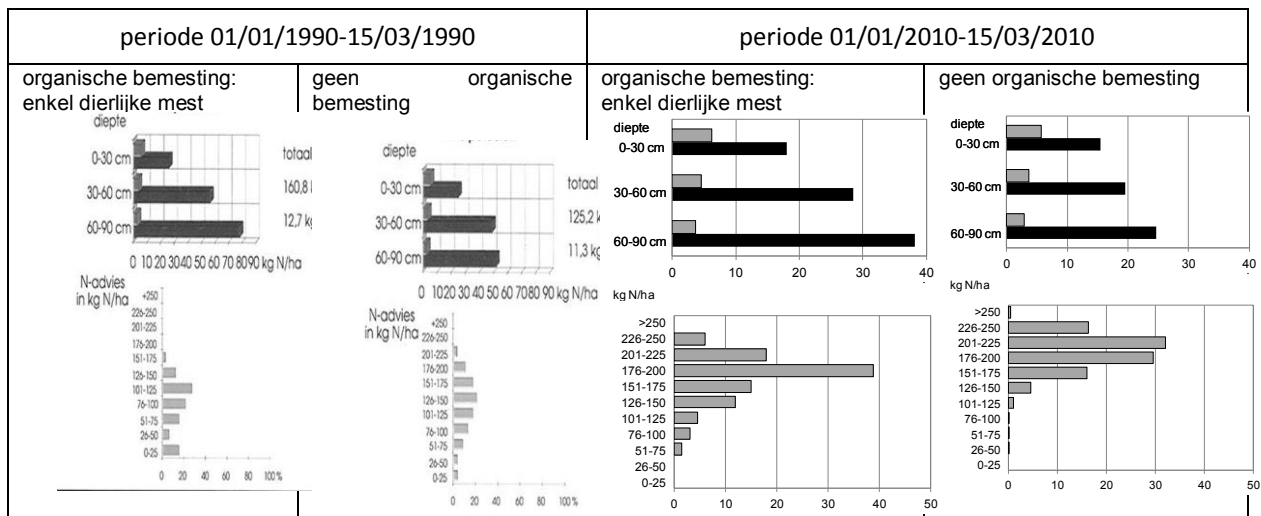
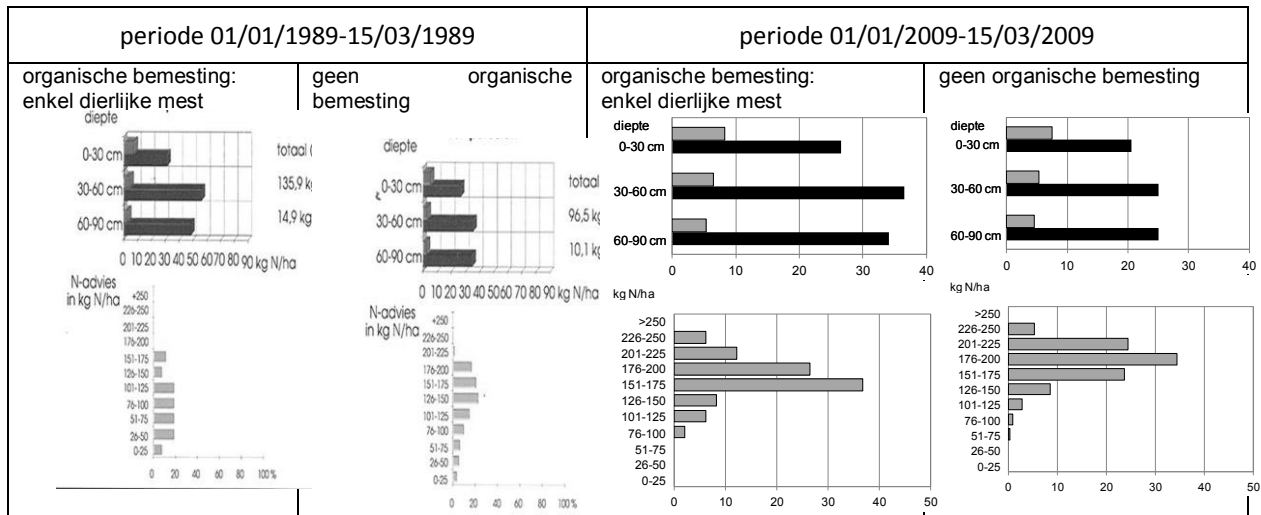
Deze stikstofbemestingsadviezen zoals geformuleerd door Bodemkundige Dienst van België zijn gebaseerd op de N-indexmethode die rekening houdt met de minerale stikstofvoorraad op het moment van staalname, de verwachte stikstofmineralisatie en eventuele verliezen. Echter niet enkel de totale stikstofgift is van belang maar ook de fractionering, die zorgt voor een betere benutting van de toegediende bemesting.

**TABEL 3: OVERZICHT GEMIDDELD STIKSTOFADVIES (KG N HA<sup>-1</sup>) VOOR DE TEELT VAN WINTERTARWE\* OP BASIS VAN DE N-INDEXMETHODE EN PERCENTAGE ADVIEZEN HOGER DAN 175 KG N HA<sup>-1</sup> (STATISTIEKEN BDB).**

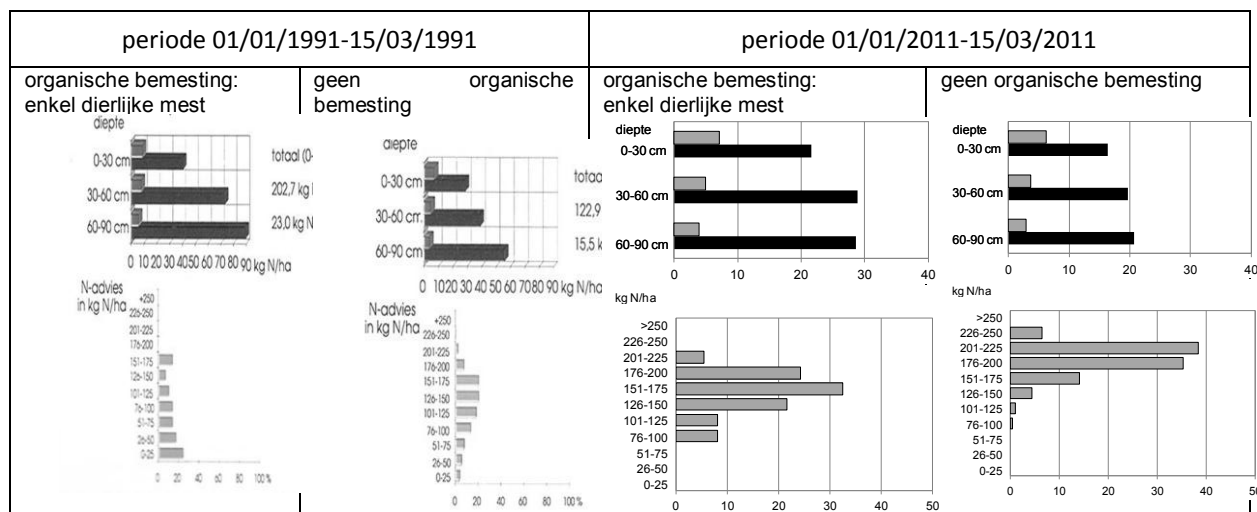
Jaar	Gemiddeld N-advies (kg N/ha)	% adviezen > 175 kg N/ha
2000	167	47
2001	184	65
2002	177	56
2003	185	66
2004	155	30
2005	141	26
2006	173	52
2007	190	71
2008	185	65
2009	183	63
2010	196	78
2011	193	78
2012	188	73
<b>Gemiddeld</b>	<b>178</b>	<b>59</b>

\*175 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> = norm winter tarwe zonder nateelt op niet-zandgrond (zie Tabel 5).

De gemiddelde stikstofadviezen in Tabel 3 worden geëvalueerd ten opzichte van de stikstofbemestingsnorm voor de teelt van winter tarwe (op niet zandgrond zonder nateelt) binnen MAPIV zonder bijkomendheden omtrent beheerovereenkomst of kwetsbaar gebied natuur. Binnen de verdere literatuurstudie zullen de bemestingsadviezen en de nitraat-N-residuen steeds geëvalueerd worden ten opzichte van normen geldend binnen MAP4.



FIGUUR 1: GEMIDDELDE RESERVE AAN MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM BIJ TOEPASSING VAN VERSCHILLENDE BEMESTINGSPRAKTIJEN EN PROCENTUELE VERDELINGEN VAN DE STIKSTOFADVIEZEN VOOR DE TEELT VAN WINTER TARWE; LINKS VOOR 1989-1990 EN RECHTS VOOR 2009-2010 VOOR DE PERIODE VAN 1 JANUARI TOT EN MET 15 MAART (HENDRICKX ET AL., 1992 EN MAES ET AL., 2012).



FIGUUR 2: GEMIDDELDE RESERVE AAN MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM BIJ TOEPASSING VAN VERSCHILLENDE BEMESTINGSPRAKTIJKEN EN PROCENTUELE VERDELINGEN VAN DE STIKSTOFADVIEZEN VOOR DE TEELT VAN WINTERTARWE; LINKS VOOR 1991 EN RECHTS VOOR 2011 VOOR DE PERIODE VAN 1 JANUARI TOT EN MET 15 MAART (HENDRICKX ET AL., 1992 EN MAES ET AL., 2012).

## 2.2 EVOLUTIE BEMESTINGSNORMEN VOOR WINTERTARWE

### 2.2.1 MESTACTIEPLAN 1, 2 EN 3

Een overzicht van de bemestingsnormen voor granen tijdens de eerste drie mestactieplannen wordt gegeven in Tabel 4. In 2001 werd de toegelaten hoeveelheid totale N voor het eerst verminderd. De toegelaten totale N-gift bedroeg niet langer  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  maar  $275 \text{ kg N ha}^{-1}$ . De N-gift uit kunstmest bleef ongewijzigd maar de N-aanvoer uit dierlijke mest of andere meststoffen moest beperkt worden. De beperking van de N-gift uit dierlijke mest werd verdergezet in 2003. De maximale N-aanvoer uit dierlijke mest of andere meststoffen bedroeg niet langer  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  maar  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

TABEL 4: OVERZICHT BEMESTINGSNORMEN VOOR WINTERTARWE BINNEN MAP1, 2 EN 3.

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )				
		Totale N		N dierlijk	N andere meststof	N kunstmest
		zand	niet zand			
Algemeen gebied	2000	130	300	300	300	200
	2001	110	275	275	225	200
	2002	110	275	275	225	200
	2003	100	275	275	200	200
	2004	100	275	275	200	200
	2005	100	275	275	200	200
	2006	100	275	275	200	200
Vlaanderen volledig kwetsbaar*						
Kwetsbaar gebied	2007	95	275	275	170	175
	2008	90	270	275	170	175
	2009	85	265	275	170	175
	2010	85	260	275	170	175

\*vóór 2007 was in het grootste deel van Vlaanderen de norm Algemeen gebied geldig; vanaf 2007 was heel Vlaanderen Kwetsbare zone Water

Het derde Vlaamse actieprogramma van 2007-2010 voerde verscherpte maatregelen in en het Vlaamse grondgebied werd volledig afgebakend als kwetsbaar gebied. De totale hoeveelheid toegelaten N bleef aanvankelijk ongewijzigd maar de toegelaten N-aanvoer uit dierlijke of andere mestsoorten werd beperkt tot  $170 \text{ kg N ha}^{-1}$  en de N-gift uit kunstmeststoffen werd beperkt tot  $175 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

N ha<sup>-1</sup>. Sinds 2008 werd voor de totale N-gift ook onderscheid gemaakt tussen zand- en niet zandgronden. Op de zandgronden werd de totale N-norm jaarlijks met 5 kg verminderd sinds 2007.

Binnen MAP3 werden niet alleen de normen strenger maar werd voor verschillende soorten meststoffen een uitrijregeling uitgewerkt die bepaalt in welke periode het verboden is de meststof nog toe te dienen.

## 2.2.2 MAP4

Het vierde actieprogramma, in voege sinds 2011, voert de maatregelen van het vorige programma verder uit maar voert tevens een aanzienlijke verscherping van de maatregelen door.

Tot 2011 gebruikte Vlaanderen een systeem van maximale bemestingsnormen uitgedrukt in totale N. Dit betekent dat de totale N-inhoud van dierlijke mest en andere organische meststoffen in rekening moet gebracht worden. Binnen MAP4 is aan de telers de mogelijkheid geboden om met het systeem van totale N verder te werken of te opteren voor het systeem van werkzame N. In het systeem van de werkzame N wordt rekening gehouden met de werkingscoëfficiënten van meststoffen en wordt gerekend met de teeltbeschikbare N. Dit systeem zou de landbouwers moeten stimuleren om organische meststoffen op de meest efficiënte manier toe te passen.

Een overzicht van de bemestingsnormen voor granen in het totale of werkzame N-systeem wordt gegeven in Tabel 5 en Tabel 6.

### 2.2.2.1 BEMESTINGSNORMEN IN HET SYSTEEM VAN TOTALE N (TOTALE N-SYSTEEM)

De N-bemestingsnormen voor dierlijke mest en andere meststoffen blijven onveranderd indien een nateelt na het graangewas wordt ingezaaid. Deze nateelt kan zowel een vanggewas als tijdelijk grasland of een wintergraan zijn. Dit betekent dat 170 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabel 5) uit dierlijke mest kan aangewend worden. In het nieuwe actieprogramma 2011-2014 zijn aanscherpingen voorzien voor granen niet gevolgd door een nateelt. De N-bemestingsnorm voor dierlijke en andere meststoffen bedraagt zonder nateelt nog slechts 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

TABEL 5: OVERZICHT BEMESTINGSNORMEN GRANEN IN HET TOTALE N-SYSTEEM BINNEN MAP4.

Gewas (combinatie)		N (kg ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )						
		Totale P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )	Totale N		N dierlijk	N andere meststoffen	N kunstmest	
			zand	niet zand			zand	niet zand
Wintertarwe/ triticale	Nateelt	75	250	265	170	170	80	95
	Geen nateelt	75	200	215	100	100	100	115
Wintergerst/ andere graangewassen	Nateelt	75	200	215	170	170	30	45
	Geen nateelt	75	150	165	100	100	50	65

De totale N-bemestingsnorm evolueerde verder in negatieve zin en in totaal mag 10 kg N ha<sup>-1</sup> minder worden aangevoerd dan binnen MAP3. Dit betekent dat op zand- en niet zandgronden respectievelijk 250 en 265 kg N ha<sup>-1</sup> in totaal mag aangebracht worden voor wintertarwe gevolgd door een nateelt. De minerale N-bemestingsnorm is drastisch gedaald in vergelijking met het vorige actieprogramma.

### 2.2.2.2 BEMESTINGSNORMEN IN HET SYSTEEM VAN WERKZAME N (WERKZAME N-SYSTEEM)

De N-bemestingsnormen voor dierlijke mest blijft onveranderd indien een nateelt na het graangewas wordt ingezaaid, namelijk 170 kg N totale N uit dierlijke mest (Tabel 6). De hoeveelheid andere organische meststoffen wordt bepaald door de werkzame N van de meststof en de werkzame N uit de dierlijke mest in rekening te brengen. De werkzame N wordt begroot met behulp van de werkingscoëfficiënten voorgesteld in Tabel 7.



TABEL 6: OVERZICHT BEMESTINGSNORMEN GRANEN IN HET WERKZAME N-SYSTEEM BINNEN MAP4.

Gewas (combinatie)		Totale P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )	Werkzame N (kg ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )		N dierlijk (kg ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )
			zand	niet zand	
Wintertarwe/ triticale	Nateelt	75	180	195	170
	Geen nateelt	75	160	175	100
Wintergerst/ andere graangewassen	Nateelt	75	130	145	170
	Geen nateelt	75	110	125	100

TABEL 7: OVERZICHT WERKINGSCOËFFICIËNTEN VAN VERSCHILLENDE MESTSTOFFEN (% VAN TOTALE N).

Meststoffen	Werkingscoëfficiënt
Mengmest runderen en varkens, dunne fractie na scheiding	60%
Andere organische meststoffen (behalve gecertificeerde GFT- en groencompost)	60%
Stalmest, champost, vaste dierlijke mest	30%
Begrazing	20%
Gecertificeerde GFT- en groencompost	15%
Effluent van biologie	100%
Kunstmest	100%

### 2.2.2.3 ORGANISCHE BEMESTING NA DE OOGST VAN WINTERGRANEN

Na de oogst van granen is het een frequent toegepaste praktijk om organische meststoffen toe te dienen op de graanstoppel. Vaak is de gebruikte organische mest vloeibaar zoals runder- of varkensmengmest. In MAP4 wordt het gebruik van vloeibare dierlijke mest op de graanstoppel beschouwd als zijnde geen goede landbouwkundige praktijk. Bij het aanscherpen van het mestbeleid in Vlaanderen in het vierde actieprogramma wordt bijgevolg het gebruik van vloeibare, dierlijke mest na de oogst verboden als hetzelfde jaar geen gewas meer ingezaaid wordt. Concreet betekent dit voor zware klei in de polders en niet-poldergronden het volgende:

- Op zware klei in de polders kunnen na de oogst van de hoofdteelt enkel nog vloeibare dierlijke mest, andere meststoffen of kunstmest toegediend worden bij inzaai van een vanggewas binnen de 15 dagen na bemesting of bij inzaai van een vanggewas of nateelt. Volgens de huidige regelgeving kan dierlijke mest worden toegediend tot en met 14 oktober, stalmest en champost tot en met 14 november, andere meststoffen en kunstmest tot en met 31 augustus. Indien geen vang- of volggewas wordt ingezaaid na de oogst zijn vloeibare mest, kunstmest en andere meststoffen met snel vrijkomende stikstof verboden.
- Op andere akkerlandgronden is, in het geval dat een vanggewas wordt ingezaaid vóór 1 september, een maximale totale hoeveelheid vloeibare dierlijke of andere mest van 60 kg N ha<sup>-1</sup> of maximaal 30 kg N ha<sup>-1</sup> uit kunstmest of effluënten van de mestverwerking toegelaten. Wanneer geen nateelt vóór 1 augustus noch vanggewas voorzien wordt is het gebruik van vloeibare mest na de oogst van het gewas eveneens verboden. Als het niet mogelijk is om het vanggewas te zaaien vóór 1 september wegens uitzonderlijke weersomstandigheden, kan de Vlaamse minister van Leefmilieu beslissen dat het vanggewas moet worden gezaaid vóór 10 september. Dierlijke mest, andere meststoffen en kunstmest kunnen slechts toegediend worden tot en met 31 augustus. Voor stalmest en champost geldt dezelfde periode van toediening als op de zware kleigronden.

## 2.3 EVALUATIE BEMESTINGSNORMEN GRANEN

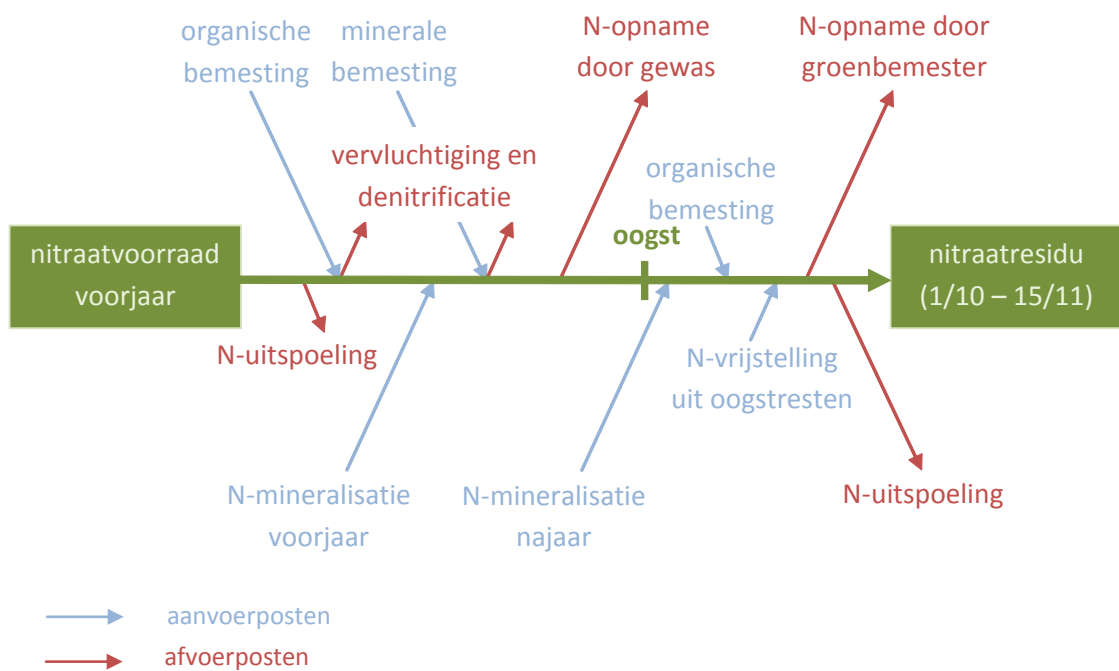
Vergelijking van de gemiddelden van de geformuleerde adviezen met de bemestingsnormen opgelegd door MAP4 voor de graanpercelen maakt duidelijk dat het gemiddelde advies zeer vaak de bemestingsnorm overschrijdt. Het stikstofadvies voor wintertarwe overschreed de laatste 13 jaren voor gemiddeld 59 % van de percelen de binnen MAP4 toegelaten stikstofgift (op niet zandgrond en

zonder vanggewas). Dit betekent dat onder de nieuwe normen opgelegd sinds 2011 op heel veel percelen het advies niet meer volledig kan ingevuld worden en bijgevolg theoretisch geen optimaal rendement kan gerealiseerd worden.

Wanneer daarenboven de bemesting op stoppel ook nog in de norm voor de teelt van de granen wordt meegerekend, wordt de ruimte voor bemesting in het voorjaar voor de tarweteelt op zich zeer beperkt.

## 2.4 NITRAAT-N-RESIDU NA GRANEN

Het nitraat-N-residu wordt gedefinieerd als de hoeveelheid nitraatstikstof aanwezig in het bodemprofiel tot 90 cm diep in de periode van 1 oktober tot en met 15 november. Deze hoeveelheid wordt beïnvloed door tal van factoren zoals aangegeven in Figuur 3.

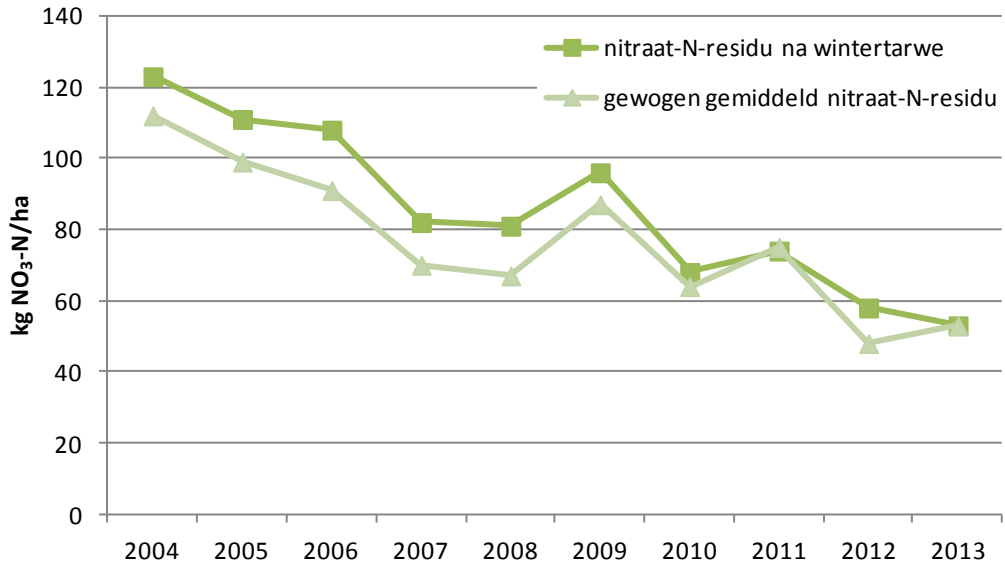


FIGUUR 3: FACTOREN DIE HET NITRAAT-N-RESIDU BEÏNVLIEDEN (HERMANS ET AL., 2010)

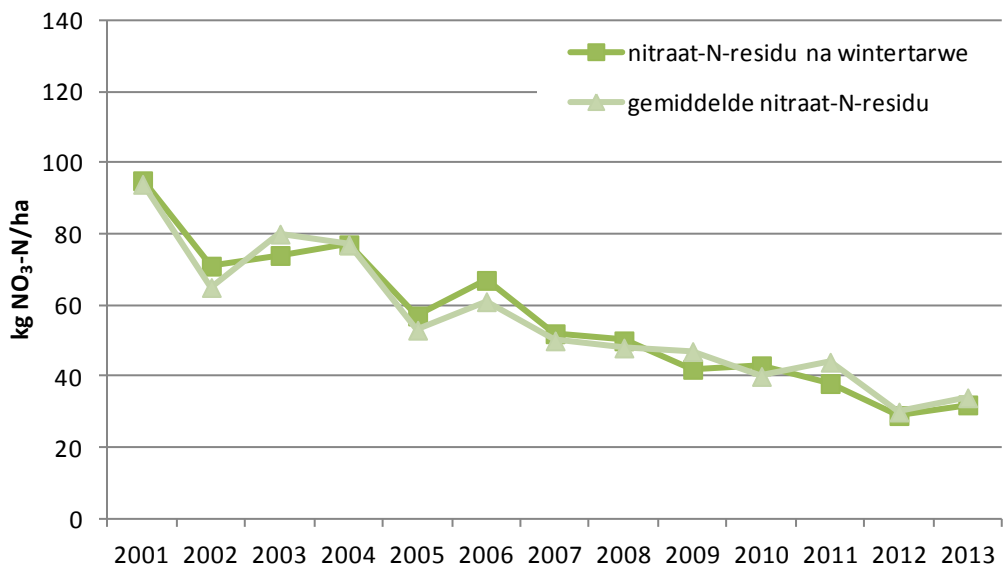
### 2.4.1 NITRAAT-N-RESIDU REFERENTIEPERIODE

Het nitraat-N-residu na de teelt van wintertarwe wordt net als het gemiddelde nitraat-N-residu steeds kleiner en evolueert in positieve zin. Deze evolutie wordt zowel zonder (Figuur 4) als met beheerovereenkomst (Figuur 5) waargenomen.

Ondanks de positieve evolutie van het nitraat-N-residu die blijkt uit de metingen in opdracht van de Mestbank, moet bij de interpretatie van deze gegevens rekening gehouden worden met de steekproefpopulatie. De nitraat-N-residumetingen in opdracht van de Mestbank worden voornamelijk (maar niet uitsluitend) vanuit controleoogpunt op de toepassing van derogatie en vanuit een bepaald risicoperspectief van landbouwbedrijven (d.w.z. op percelen gelegen in risicogebieden oppervlaktewater uitgevoerd). In een beperkt aantal gevallen zijn de metingen ook gedaan op percelen waar een overschrijding van de nitraat-N-residunorm verwacht werd. Deze dataset vormt daarom geen representatieve steekproef van de hele populatie Vlaamse landbouwers.



FIGUUR 4: EVOLUTIE GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU VAN ALLE TEELTEN (GEWOGEN GEMIDDELTE IN KG NO<sub>3</sub>-N HA<sup>-1</sup>) EN GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU NA DE TEELT VAN WINTERTARWE (VLM, 2014).



FIGUUR 5: EVOLUTIE GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU VAN ALLE TEELTEN (KG NO<sub>3</sub>-N HA<sup>-1</sup>) EN GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU NA DE TEELT VAN WINTERTARWE ONDER BEHEEROVEREENKOMST (VLM, 2014).

Deze cijfers dienen geëvalueerd te worden ten aanzien van de drempelwaarde, het maximale nitraat-N-residu dat in de bodem aanwezig mag zijn opdat uitspoeling van nitraat tot een minimum beperkt kan blijven. Uit de studie omtrent de procesfactor voor oppervlakte- en grondwater bleek dat de teelt en de bodemtextuur een belangrijke invloed hebben op het nitraat-N-residu. Daarom is de drempelwaarde in vergelijking met het vorige actieprogramma verder gedifferentieerd, namelijk in functie van de bodemtextuur en de teelt.

De toestand van de waterkwaliteit is echter niet overal in Vlaanderen gelijk, wat een gebiedsgerichte aanpak vraagt. Gebieden waar de doelstellingen omtrent waterkwaliteit nog niet gehaald worden, worden aangeduid als "focusgebieden". In deze focusgebieden gelden lagere nitraat-N-residudrempelwaarden voor de periode 2012-2014. In 2012 werd 283000 ha of 42% van het

landbouwareaal aangeduid als focusgebied. Een verdere differentiatie van de drempelwaarde gebeurt dan ook in functie van de ligging van het perceel, namelijk in focusgebied of niet-focusgebied.

Het vierde Vlaamse actieprogramma onderscheidt 4 niveaus van drempelwaarden om aan grotere overschrijdingen meer of zwaardere maatregelen te kunnen koppelen. Een overzicht van de eerste drempelwaarde geldend voor de graangewassen wordt in Tabel 8 gegeven.

**TABEL 8: OVERZICHT EERSTE DREMPELWAARDE VOOR DE GRAANTEELT IN FUNCTIE VAN HET BODEMTYPE, LIGGING EN REFERENTIEJAAR (VLM, 2012).**

Gewas	Bodemtextuur	Eerste drempelwaarde (kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N ha <sup>-1</sup> )		
		Niet-focusgebied vanaf 2012	Focusgebied 2012 en 2013	Focusgebied 2014
Overige landbouwgewassen	zand	88	75	70
	niet zand	90	80	80

Evaluatie van de gemiddelde nitraat-N-residuen na de teelt van wintertarwe ten opzichte van de minst strenge norm, namelijk 90 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> in niet-focusgebied, toont dat op de percelen niet onder beheerovereenkomst de drempelwaarde gemiddeld reeds 3 jaar op 7 gerespecteerd kon worden. Op de percelen wel onder beheerovereenkomst blijkt de norm 9 jaren op 10 gerespecteerd te zijn.

Evaluatie van de gemiddelde nitraat-N-residuen na de teelt van wintertarwe ten opzichte van de strengste norm, namelijk 70 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> op zandgrond in focusgebied in 2014, maakt duidelijk dat het halen van deze drempelwaarde moeilijk kan worden op percelen zonder beheerovereenkomst. Het gemiddelde nitraat-N-residu op deze percelen lag slechts 1 jaar op 7 onder deze strengere drempelwaarde. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het gemiddelde nitraat-N-residu de laatste jaren afneemt. Op percelen die wel onder beheerovereenkomst vallen lijkt het respecteren van de drempelwaarde van 70 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>, gemakkelijker. In 6 op de 10 jaren was het gemiddelde nitraat-N-residu op deze percelen kleiner.

Gezien de vroege oogst van graangewassen en de ruime tijdsperiode tot de referentieperiode, zijn de processen na de oogst van de granen nog zeer belangrijk voor het nitraat-N-residu, namelijk het al dan niet aanbrengen van nutriënten met organische mest, de najaarsstikstofmineralisatie, de mineralisatie van de oogstresten en eventuele stikstofopname door vanggewassen. Uiteraard speelt ook het aanvangspunt, namelijk de nitraatrest bij de oogst, een belangrijke rol (zie 2.4.2).

#### 2.4.2 NITRAAT-N-RESIDU BIJ OOGST

In het kader van het Landbouwcentrum Granen (LCG) werd gedurende 5 jaar (periode 2001 tem 2005) de evolutie van de nitraatstikstof in het bodemprofiel na de oogst opgevolgd. Op een 20- à 30-tal proefvelden met wintertarwe, wintergerst en triticale werd jaarlijks de hoeveelheid nitraatstikstof in het bodemprofiel 0-90 cm een eerste keer bepaald kort na de oogst en een tweede keer in de referentieperiode van 1 oktober tot en met 15 november. Kort na de oogst werden telkens belangrijke verschillen tussen de minimale en maximale hoeveelheid nitraatstikstof vastgesteld (Tabel 9). Algemeen wordt na de oogst van een graangewas een laag nitraatgehalte in de bodem gemeten. Het diepe en dichte wortelstelsel zorgt er immers voor dat granen de minerale stikstof, beschikbaar in het bodemprofiel, zeer efficiënt kunnen benutten. Maar wanneer het stikstofaanbod, bestaande uit de bodemvoorraad, de bemesting en de stikstofmineralisatie, de opnamecapaciteit van het gewas in grote mate overschrijdt, laten zelfs granen het teveel aan stikstof achter in het bodemprofiel.

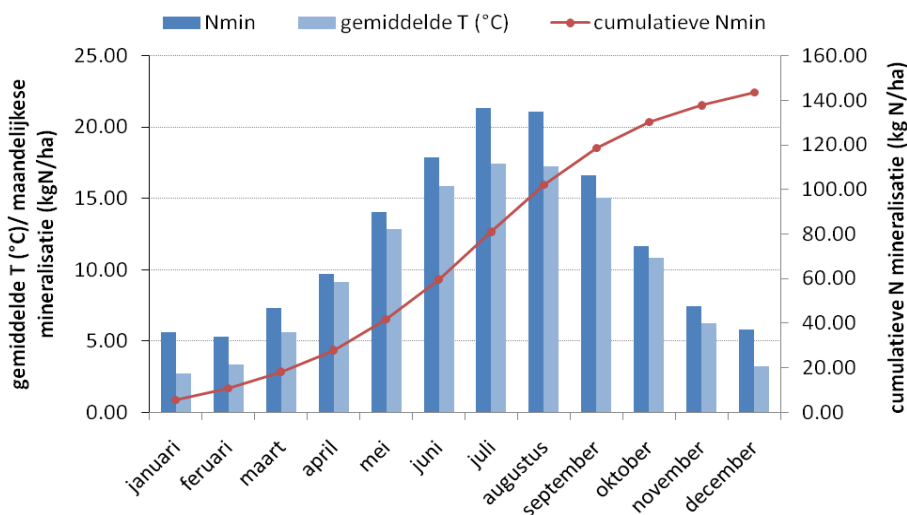
TABEL 9: OVERZICHT NITRAATRESTEN (KG NO<sub>3</sub>-N HA<sup>-1</sup>) BIJ DE OOGST OP PROEFVELDEN WINTERGRANEN IN HET KADER VAN HET LCG IN DE PERIODE 2001-2005 (VER ELST EN BRIES, 2002; VER ELST EN VOGELS, 2003, 2004, 2005; VER ELST, 2006).

	Nitraatrest bij oogst (kg NO <sub>3</sub> -N ha <sup>-1</sup> ; 0-90 cm)			
	min	max	gemiddeld	mediaan
2001	20	188	69	56
2002	27	200	85	80
2003	45	176	79	72
2004	33	154	82	84
2005	29	163	77	58

Ook Geypens en Honnay (1995) vonden in hun onderzoek beperkte hoeveelheden nitraatstikstof na de oogst van wintergerst. In de proefopzet werd 2 à 3 weken na de oogst van wintergerst tot op een diepte van 1,5 m 43 kg N ha<sup>-1</sup> gevonden in 1990, 25 kg N ha<sup>-1</sup> in 1991, 31 kg N ha<sup>-1</sup> in 1992 en 19 kg N ha<sup>-1</sup> in 1993.

#### 2.4.3 STIKSTOFMINERALISATIE NAJAAR

De stikstofvrijstelling uit de bodemhumus is een belangrijke bron van stikstof op een perceel. Het mineralisatieproces vindt gespreid over het hele jaar plaats, ook na de oogst van de hoofdteelt zoals Figuur 6 aangeeft. Vooral bij vroeg geoogste teelten zoals granen, vlas en erwten kan de najaarsvrijstelling belangrijk zijn en een beduidende bijdrage leveren aan het nitraat-N-residu. Uit Tabel 10 is af te leiden dat op een zandleemperceel met een koolstofpercentage van 1,1% C in de periode van midden augustus tot midden november een stikstofbijdrage van gemiddeld 47 kg nitraatstikstof door stikstofmineralisatie kan verwacht worden.



FIGUUR 6: GEMIDDELDE MAANDELIJKSE STIKSTOFVRIJSTELLING DOOR MINERALISATIE OP VLAAMSE BODEMS MET EEN NORMAAL HUMUSGEHALTE (HERELIXKA ET AL., 2002)

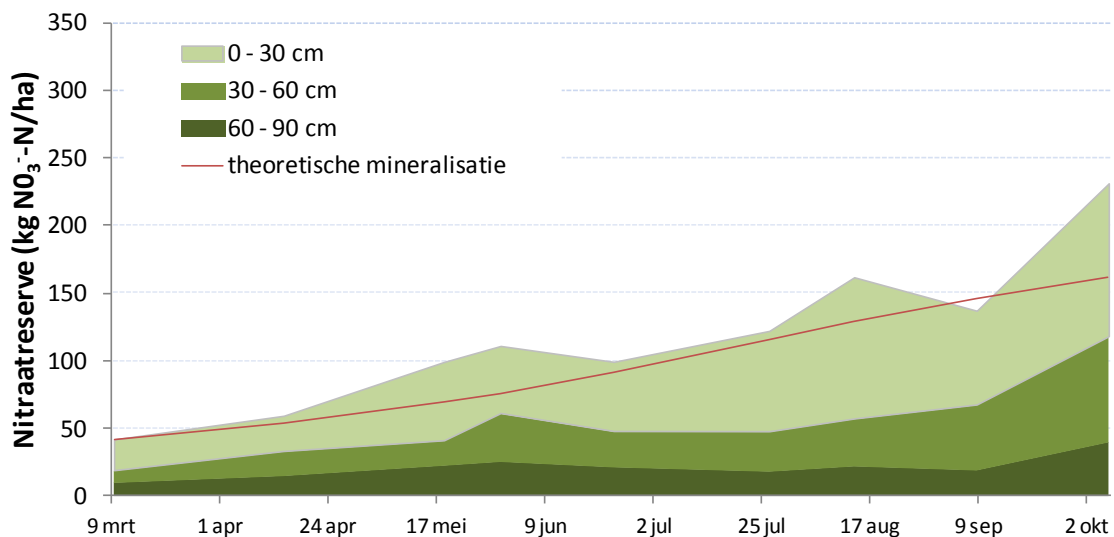
Figuur 6 en Tabel 10 zijn afgeleid uit de studie N-(eco)<sup>2</sup> (Herelixka et al., 2002). De cijfers moeten geïnterpreteerd worden bij normale vocht- en temperatuurwaardes en bij een constante aanvoer van organisch materiaal door de jaren heen. In het kader van het proefprogramma van het Landbouwcentrum Voedergewassen (LCV) werd de N-mineralisatie op maïspcelen opgevolgd gedurende drie jaar. Hieruit bleken nogmaals de weersinvloeden op de N-mineralisatie en het effect van de

weersomstandigheden op het al dan niet respecteren van de nitraat-N-residudrempelwaarde (Figuur 7).

TABEL 10: VERWACHTE MAANDELIJKE STIKSTOFMINERALISATIE (KG N HA<sup>-1</sup>) VAN BODEMORGANISCHE STOF IN FUNCTIE VAN HET ORGANISCHE STOFGEHALTE (%C) EN DE BODEMTEXTUUR (HERELIXKA ET AL., 2002).

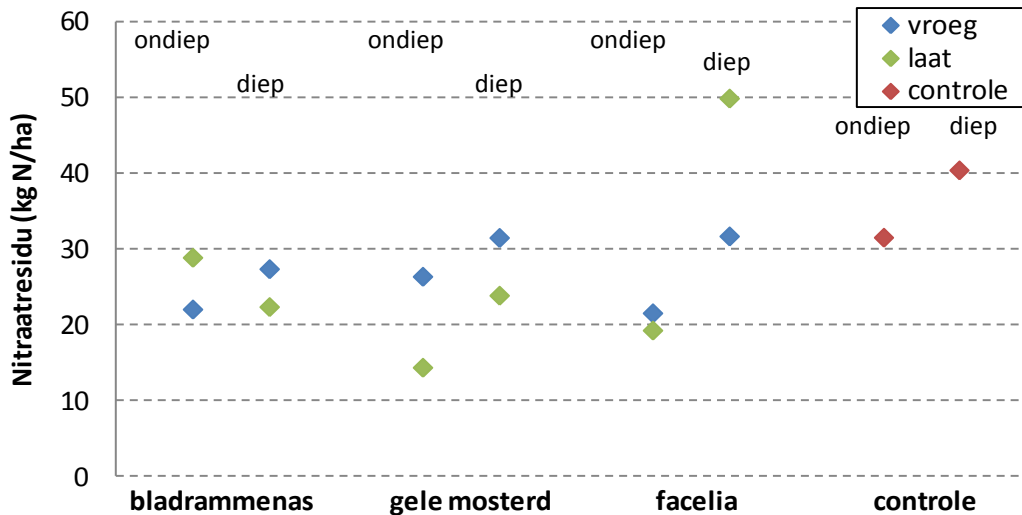
textuur	%C	jan	feb	maa	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	som
zand	2,3	11,5	11,5	16,6	19,7	26,9	33,5	36,6	36,0	31,4	20,9	15,8	12,5	273,0
	1,8	9,1	9,1	13,1	15,6	21,3	26,4	28,9	28,4	24,8	16,5	12,5	9,8	215,6
	1,3	6,9	6,9	9,9	11,8	16,1	20,0	21,9	21,5	18,8	12,5	9,4	7,4	163,1
zandleem	1,3	7,4	7,4	10,6	14,0	19,4	24,3	26,8	26,4	21,4	15,0	10,1	8,0	190,8
	1,1	6,4	6,4	9,2	12,2	16,8	21,0	23,2	22,8	18,5	13,0	8,8	6,9	165,3
	0,7	3,9	3,9	5,7	7,5	10,3	13,0	14,3	14,1	11,4	8,0	5,4	4,3	101,7
leem	1,4	6,5	6,5	9,4	12,4	17,2	21,5	23,7	23,3	18,9	13,3	9,0	7,1	169,0
	1,2	5,9	5,9	8,5	11,2	15,5	19,4	21,4	21,1	17,1	12,0	8,1	6,4	152,6
	0,9	4,4	4,4	6,3	8,3	11,5	14,4	15,9	15,6	12,7	8,9	6,0	4,7	113,2
klei	2,8	16,6	16,6	23,8	31,6	43,6	54,6	60,2	59,2	48,1	33,8	22,7	17,9	428,7
	1,2	5,5	5,5	7,9	10,5	14,5	18,1	20,0	19,7	16,0	11,2	7,5	6,0	142,4
	0,9	4,0	4,0	5,8	7,7	10,6	13,3	14,6	14,4	11,7	8,2	5,5	4,4	104,2

Uit Figuur 7 blijkt enigszins de invloed van de warme april- en meimaand in 2011 op de N-mineralisatie. Het meest duidelijk is het effect van de warme septembermaand van 2011 op de najaarsmineralisatie. Door de warmere temperaturen en de voldoende vochtige bodem werd veel meer stikstof vrijgesteld dan theoretisch verwacht.



FIGUUR 7: WERKELIJKE NITRAAT-N-RESERVE OP EEN PROEFPERCEEL TE LENNIK IN 2011 EN DE OP BASIS VAN DE THEORETISCHE N-MINERALISATIE VERWACHTE CUMULATIEVE NITRAAT-N-RESERVE (ODEURS EN BRIES, 2012).

Bodembewerkingen die voor een betere verluchting van de bodem zorgen en bijgevolg de mineralisatie stimuleren, betekenen een verhoogde vrijstelling van nitraat-N. Dit werd ook aangetoond door Hermans et al. (2010) door het nitraat-N-residu na een diepe en ondiepe grondbewerking te vergelijken. In het kader van het demonstratieproject “Beheersing van nitraatresidu in de akkerbouw: een permanente uitdaging” werden in 2008 en 2009 diverse vanggewassen vroeg of laat en na een diepe of ondiepe grondbewerking ingezaaid (Figuur 8).

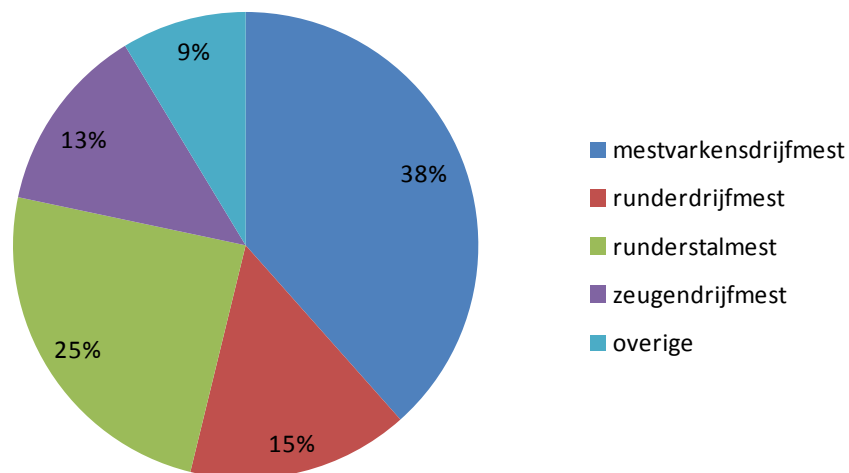


FIGUUR 8: NITRAAT-N-RESIDU (KG NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N HA<sup>-1</sup>; 0-90 CM) IN FUNCTIE VAN ZAAITIJDTIP, TYPE GRONDBEWERKING EN SOORT VANGGEWAS OP EEN DEMOPERCEEL GELEGEN TE TONGEREN OP EEN LEEMBODEM IN 2008 (HERMANS ET AL., 2010).

#### 2.4.4 ORGANISCHE BEMESTING NA DE OOGST VAN DE HOOFDTEELT

Op basis van de inlichtingen verzameld voor de N-adviezen geformuleerd door Bodemkundige Dienst van België na de hoofdteelt van wintergranen in de periode van 2006 tot en met 2012, is getracht een zicht te krijgen op het gebruik van dierlijke mest en/of vanggewassen na de teelt van wintergranen.

Uit een dataset van 21884 landbouwpercelen werden er 14576 organisch bemest, waarvan 775 na de oogst. Op deze 775 percelen werd het vaakst mestvarkensmest toegepast (Figuur 9). Tevens blijkt dat een vanggewas werd ingezaaid op 86% van de percelen die na de oogst werden bemest met dierlijke mest.



FIGUUR 9: PROCENTUELE VERDELING ORGANISCHE MESTSOORTEN TOEGEDIEND NA DE OOGST VAN WINTERGRANEN VÓÓR DE WINTER (STATISTIEKEN BDB).

TABEL 11: OVERZICHT ORGANISCHE BEMESTING IN ZOMER EN NAJAAR EN GEBRUIK VANGGEWAS OP WINTERGRAANPERCELEN.

Percelen	totaal aantal	aantal met vanggewas	% met vanggewas
organisch bemest in zomer en najaar	775	666	86
organisch bemest in zomer en najaar met:			
mestvarkensmengmest	298	260	87
rundermengmest	119	101	85
runderstalmest	190	166	87
zeugenmengmest	101	82	81
overige	67	57	85

Wanneer op de stoppel een organische bemesting wordt uitgevoerd, wordt zowel een hoeveelheid minerale stikstof toegediend als een deel organisch gebonden stikstof. Deze laatste stikstof komt deels nog vrij in het najaar en moet bijgeteld worden bij de stikstof die vrijkomt door mineralisatie in de bodem.

Globaal kan de totale stikstof die aanwezig is in dierlijke mest opgedeeld worden in drie groepen, namelijk de minerale of snelwerkende fractie, de traagwerkende fractie en de reststikstof.

1. De minerale fractie is de stikstof die voorkomt onder de vorm van ammonium of nitraat. Het aandeel nitraat in mest is meestal verwaarloosbaar dus het gaat hier in de eerste plaats om stikstof die voorkomt in de vorm van ammonium, die in de bodem snel wordt omgezet tot nitraat. Dit is de snelwerkende N-fractie in de mest. In mengmest is het aandeel minerale stikstof heel wat hoger dan in vaste mesten. In varkensmengmest bijvoorbeeld is al 60 % van de stikstof als ammonium aanwezig.
2. De traagwerkende fractie is dat deel van de stikstof dat onder organische vorm aanwezig is, maar relatief gemakkelijk wordt gemineraliseerd en vrijkomt als nitraatstikstof. Het is de stikstof die ingebouwd is in de gemakkelijk afbreekbare organische stof, die wordt gemineraliseerd in de periode tot één jaar na aanwending of tijdens de bewaring.
3. De restfractie is de stikstof die is ingebouwd in de moeilijk afbreekbare of effectieve organische stof en waarvan de afbraak pas begint een jaar na aanwending van de mest. Het aandeel restfractie in vaste mesten is ongeveer 50 % en voor mengmest ongeveer 20 %.

De hoeveelheid stikstof die ter beschikking komt in het najaar hangt dus onder andere af van:

- het aandeel minerale stikstof
- het aandeel organisch gebonden stikstof
- de wijze van toediening
- de grondsoort
- de weersomstandigheden na toediening

In Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de maandelijkse afbraak van organische stikstof in dierlijke mest per 10 m<sup>3</sup> gedurende de maanden september, oktober, november en december.



TABEL 12: MINERALISATIE VAN GEMAKKELIJK AFBREEKBARE ORGANISCHE STIKSTOF IN DIERLIJKE MEST\* (KG N/MAAND/10M<sup>3</sup>) I.F.V. HET TYPE MENGMEEST (HERELIXKA ET AL., 2002 NAAR LAMMERS, 1984, ZIE BIJLAGE 1).

Mestsoort	Toedienings-tijdstip	Maand			
		sept	okt	nov	dec
Rundermengmest	1 sept	2,2	1,2	0,7	0,5
Varkensmengmest	1 sept	4,6	2,4	1,3	0,9

\*in de veronderstelling dat rundermengmest en varkensmengmest respectievelijk 12 en 20 kg gemakkelijk afbreekbare N per 10 m<sup>3</sup> bevatten

De gemiddelde samenstelling van dierlijke mest varieert in belangrijke mate in functie van het type mest en de diersoort. De gemiddelde samenstelling van enkele vloeibare mesten zoals deze momenteel door Bodemkundige Dienst van België gehanteerd worden bij de beoordeling van individuele mestanalyses wordt weergegeven in Tabel 13.

TABEL 13: GEMIDDELDE SAMENSTELLING (KG/1000 KG) VOOR ENKELE VEEL VOORKOMENDE VLOEIBARE MESTEN ZOALS DEZE MOMENTEEL DOOR BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIË WORDEN GEHANTEERD BIJ DE BEOORDELING VAN INDIVIDUELE MESTANALYSES (BEMORGEX, BDB).

Mestsoort	Droge stof	Organische stof	Totale N	Minerale N
Rundermengmest	82	61	4,7	2,6
Kalvermengmest	21	11	2,8	2,0
Varkensmengmest	79	53	7,8	5,0
Varkensmengmest (brijvoeding)	90	61	9,0	5,7
Mengmest biggenopfok	60	41	5,5	3,2
Zeugenmengmest	49	33	4,5	2,9
Kippenmengmest	118	77	10,2	6,7

Wanneer de gemiddelde N-samenstelling van veel voorkomende vloeibare mesten en de beperking van 60 kg totale N ha<sup>-1</sup> op de graanstoppel bij de teelt van een volggewas naast elkaar gelegd worden, blijkt dat slechts kleine hoeveelheden kunnen toegediend worden. De dosis varieert van 6 tot 21 ton ha<sup>-1</sup> in functie van de mestsoort. De keuze van de mestsoort wordt echter beperkt omwille van de minimaal haalbare dosis die toegediend kan worden met de gangbare machines.

TABEL 14: OVERZICHT TOEGELATEN DOSIS VEEL VOORKOMENDE VLOEIBARE MESTEN OP GRAANSTOPPEL VÓÓR INZAAI VANGGEWAS (BRON: BDB).

Mestsoort	Totale N (kg/1000 kg)	Toegelaten dosis*(1000 kg ha <sup>-1</sup> )
Rundermengmest	4,7	13
Kalvermengmest	2,8	21
Varkensmengmest	7,8	8
Varkensmengmest (brijvoeding)	9,0	7
Mengmest biggenopfok	5,5	11
Zeugenmengmest	4,5	13
Kippenmengmest	10,2	6

\*Toegelaten dosis berekend op 60 kg totale N ha<sup>-1</sup> en gemiddelde totale N

## 2.4.5 STIKSTOFVRIJSTELLING UIT OOGSTRESTEN

Afhankelijk van de hoofdteelt kunnen bij de oogst aanzienlijke hoeveelheden oogstresten op het veld blijven. De N-mineralisatie van de oogstresten is afhankelijk van de aard of de C:N-verhouding van de oogstresten en de temperatuur (De Neve et al., 1996). Bij hoge C:N-verhoudingen (>25) zal de mineralisatie sterk geremd worden en zal de aanwezige N opgenomen worden in de microbiële biomassa (immobilisatie). Bij lage waarden (<15) zal de afbraak en mineralisatie snel doorgaan en kan na de oogst van het gewas nog heel wat minerale stikstof vrijkomen. Uiteraard bepaalt ook het oogsttijdstip de hoeveelheid stikstof die nog kan vrijgesteld worden.

Uit Tabel 15 blijkt dat granen tamelijk veel droge stof door oogstresten op het veld achterlaten maar dat de stikstofinhoud van de oogstresten beperkt blijft. De oogstresten van wintertarwe hebben een hoge C:N-verhouding en na de oogst wordt in eerste instantie minerale stikstof vastgelegd. Later in de herfst en in de winter komt een deel van deze vastgelegde stikstof vrij. De geschatte mineralisatie van gemakkelijk afbreekbare organische stikstof van enkele soorten oogstresten in functie van de oogstdatum wordt getoond in Tabel 16.

**TABEL 15: GEMIDDELDE DROGESTOFGEHALTE EN STIKSTOFINHOUD VAN DE OOGSTRESTEN VAN ENKELE AKKERBOUWTEELTEN (BDB & UNIVERSITEIT GENT, 2006).**

Hoofdteelt	Drogestof oogstresten kg ha <sup>-1</sup>	Stikstofinhoud oogstresten kg N ha <sup>-1</sup>
Aardappelen	1.000	20 – 85
Suikerbieten	4.000	120
Wintergerst	3.750	18 – 20
Wintertarwe	5.000	20 – 45
Snijmais	n.b.	5 – 25
Erwten	5.000	30 – 190
Bonen	3.000	30 – 95

n.b. = niet beschikbaar

**TABEL 16: N-VRIJSTELLING NA TOEDIENING VAN OOGSTRESTEN TIJDENS EEN INCUBATIE-EXPERIMENT. DE GETALLEN TUSSEN HAAKES GEVEN HET PERCENTAGE N WEER DAT VRIJKOMT (FORMESYN, 1994; DE NEVE, 2000).**

	N-inhoud kg N ha <sup>-1</sup>	N-vrijstelling kg N ha <sup>-1</sup>
Bloemkool <sup>a</sup>	141	84 (60)
Bloemkool <sup>b</sup>	155	107 (69)
Bonen <sup>a</sup>	83	39 (47)
Bonen <sup>b</sup>	83	37 (45)
Broccoli <sup>a</sup>	169	109 (64)
Broccoli <sup>b</sup>	213	133 (57)
Knolselder <sup>a</sup>	112	71 (64)
Knolselder <sup>b</sup>	91	60 (66)
Koolrabi <sup>a</sup>	52	31 (60)
Kruldijvie <sup>a</sup>	35	30 (86)
Andijvie	38	28 (74)
Rode kool <sup>b</sup>	14	9 (62)
Sla <sup>a</sup>	20	18 (91)
Sla <sup>b</sup>	41	32 (77)
Spinazie <sup>a</sup>	59	39 (66)
Venkel <sup>a</sup>	100	89 (89)
Venkel <sup>a</sup>	65	49 (76)
Witte kool <sup>a</sup>	175	68 (39)

<sup>a</sup> naar Formesyn (1994)

<sup>b</sup> naar De Neve (2000)

## 3 SOORTEN VANGGEWASSEN

### 3.1 INDELING VAN DE VANGGEWASSEN

Vanggewassen worden meestal ingedeeld op basis van de familie waartoe ze behoren. Op deze wijze wordt onderscheid gemaakt tussen o.a. kruisbloemigen, vlinderbloemigen en grassen (Thorup-Kristensen et al., 2003). De vele soorten vanggewassen kunnen echter ook op basis van de gewas- en groeikenmerken worden onderverdeeld in drie categorieën, namelijk de bladrijke, de grasachtige en de vlinderbloemige vanggewassen (Vandendriessche et al., 1996; Ver Elst et al., 1999; Hermans et al., 2010).

Vanggewassen worden niet enkel per soort gezaaid maar ook mengsels van de verschillende soorten vanggewassen worden uitgezaaid. Op deze manier kunnen de positieve eigenschappen van de verschillende soorten gecombineerd worden en is er een grotere kans op voldoende gewasontwikkeling. Bij slechte opkomst van één van de soorten kan een andere overnemen en een naakte bodem voorkomen.

Een overzicht van enkele eigenschappen van veel voorkomende vanggewassen wordt gegeven in Bijlage 2.

#### 3.1.1 BLADRIJKE VANGGEWASSEN

De bladrijke vanggewassen worden getypeerd door een snelle en weelderige bovengrondse groei welke een aanzienlijke stikstofopname impliceert alsook de geschiktheid om als vanggewas ingezet te worden. De bladrijke vanggewassen kunnen ook stikstof uit de diepere bodemlagen opnemen omdat ze dieper wortelen. Bij ploegen voor de winter is meestal een voorbereiding zoals klepelen of maaien nodig. Omwille van de vorstgevoeligheid van deze vanggewassen is een voorbereiding vóór ploegen na de winter meestal niet meer nodig. De planten zijn dan reeds afgestorven door de vorst. De lagere C:N-verhouding van de bladrijke vanggewassen resulteert na onderwerken in een vrij snelle vertering van het gewas en een vroege stikstofvrijstelling. Bij vroege vorst en vroeg ploegen bestaat het risico dat een deel van de eerder vastgelegde stikstof al gemineraliseerd is en in de late winter of het vroege voorjaar alsnog uitspoelt.

Frequent gebruikte bladrijke vanggewassen in Vlaanderen zijn gele mosterd, bladrammenas, bladkool en facelia.

#### 3.1.2 GRASACHTIGE VANGGEWASSEN

Grasachtige vanggewassen hebben een vlotte opkomst en realiseren een hoge stikstofopname, hoewel deze minder snel gebeurt. Typerend voor de grassen is het zeer dichte en uitgebreide wortelstelsel waardoor ze een aanzienlijke bijdrage aan organische stof leveren en uitermate geschikt zijn om de bodem te beschermen tegen verslemping. De grotere wortelmassa zorgt ook voor een hogere C:N-verhouding van de grassen waardoor de vertering langzamer verloopt. De opgenomen stikstof zal dus later worden vrijgesteld. Het wortelstelsel ontwikkelt zich echter niet erg diep en dus zullen grasachtige vanggewassen vooral stikstof opnemen uit de bovenste laag. In tegenstelling tot de bladrijke vanggewassen is een grasachtig vanggewas duidelijk minder of zelfs niet vorstgevoelig. Voorafgaand aan het onderwerken moet het grasachtig vanggewas dan ook vaak worden doodgespoten. Wanneer er toch voor gekozen wordt om geen snede gras af te voeren of het gewas niet dood te spuiten, moet erop toegezien worden dat het gewas zorgvuldig wordt ondergewerkt. Het onderwerken van een zware snede gras zonder de graszoden te breken of het gras dood te spuiten kan een anaerobe laag vormen ter hoogte van de ploegzool met een inkuileffect als gevolg. Dit gaat

gepaard met een verzuring, hetgeen de ontwikkeling van de volgteelt negatief kan beïnvloeden. Door zurrstofgebrek zal de organische stof namelijk in organische zuren worden omgezet en niet in humus.

In Vlaanderen gebruikte grasachtige vanggewassen zijn Italiaans, Engels of Westerwolds raaigras. Ook granen zoals snijrogge of Japanse haver kunnen als vanggewas worden gebruikt. Snijrogge en Japanse haver zorgen voor een snellere bodembedekking dan de raaigrassen. Snijrogge kan ook later gezaaid worden waardoor het mogelijkheden biedt als vanggewas na later geogste hoofdteelten zoals snijmaïs.

### 3.1.3 VLINDERBLOEMIGE VANGGEWASSEN

Vlinderbloemige vanggewassen tonen een snelle en tamelijk uitgesproken bovengrondse gewasontwikkeling. Ze worden veelal geteeld in de biologische landbouw door het verbod op het gebruik van kunstmest. Door hun stikstofbindend vermogen kunnen de vlinderbloemige vanggewassen als stikstofbron fungeren en vormen ze een grote toegevoegde waarde voor de vruchtwisseling. Sommige vlinderbloemige vanggewassen zijn vorstgevoelig en meestal hebben zij net als de bladrijke vanggewassen een lage C:N-verhouding waardoor de stikstof snel zal worden vrijgesteld na onderwerken.

Het wortelstelsel van de vlinderbloemigen kan sterk variëren zowel op vlak van doorwortelingsdiepte als omvang en bijdrage aan organische stofvoorziening. De meeste vlinderbloemige vanggewassen benutten echter alle minerale stikstof in het volledige profiel. Mogelijke vlinderbloemige vanggewassen zijn de verschillende soorten klavers (witte klaver, rode klaver, Alexandrijnse klaver, Incarnaat klaver, Perzische klaver), wikke en lupinen. De meest gebruikte vlinderbloemigen in Vlaanderen zijn rode en witte klaver.

## 3.2 FACTOREN DIE DE KEUZE VAN HET VANGGEWAS BEPALEN

Het voordeel of het nut van een vanggewas is veelvoudig. Welk vanggewas het best wordt ingezaaid hangt dan ook af van uiteenlopende aspecten. De keuze kan beïnvloed worden door praktische overwegingen zoals de haalbaarheid binnen de teeltrotatie, het zaaitijdstip, de kostprijs en de aanleg- en vernietigingswijze, maar wordt voornamelijk bepaald door de functie van het vanggewas die de landbouwer wil benutten.

### 3.2.1 GEWENSTE FUNCTIE VAN HET VANGGEWAS

Afhankelijk van de door de landbouwer gewenste voornaamste functie van een gewas als nateelt kan gesproken worden van een groenbemester, een groenbedekker of een vanggewas.

#### 3.2.1.1 BEHEER VAN DE STIKSTOFCYCLUS

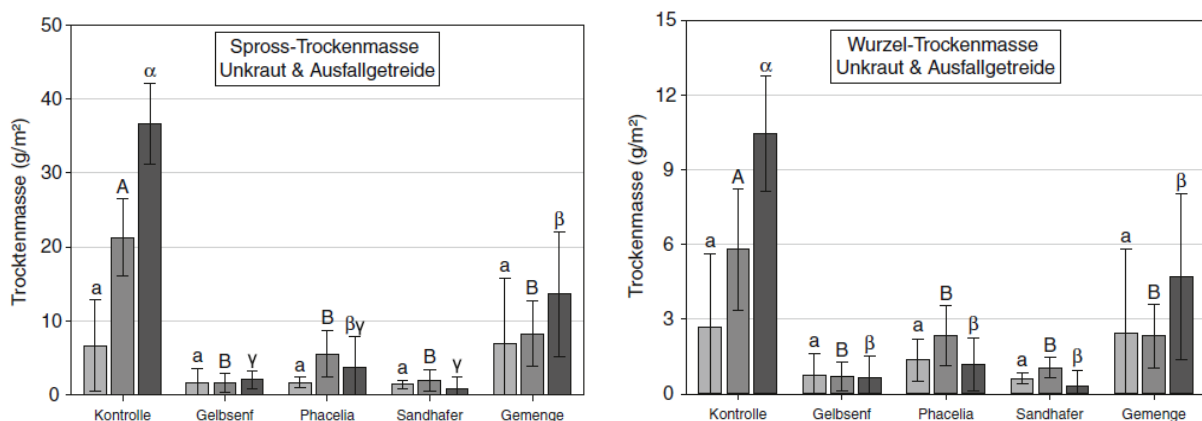
Deze studie focust in de eerste plaats op de rol van een nateelt in het beheersen van de stikstofcyclus. Na de oogst van de hoofdteelt kunnen ruime hoeveelheden nitraat in de bodem aanwezig zijn. In het kader van de milieuproblematiek wordt de dimensie van de nateelt als stikstofvanggewas dan ook steeds belangrijker. Het vanggewas of de groenbemester als stikstofleverancier staat vooral in de biologische teelt nog heel centraal. Het is echter steeds uitermate belangrijk om inzicht te hebben in de stikstofnalevering van het vanggewas om bij de bemesting van de volgteelt hiermee rekening te kunnen houden en het nitraat-N-residu van het volgende jaar te beperken. In de volgende hoofdstukken van deze studie worden alle aspecten van de stikstofcyclus uitvoerig behandeld.

#### 3.2.1.2 BODEMBEDEKKING EN ONKRUIDBEHEERSING

Op erosie- of slempgevoelige percelen is een snelle bodembedekking gewenst na de oogst. Wanneer een nateelt ingezaaid wordt met deze bedoeling, wordt dus best gekozen voor een gewas dat zich zeer snel ontwikkelt. Dit gewas wordt dan een groenbedekker genoemd. De wortels verbeteren de

bodemstructuur door de vorming van aggregaten en het stimuleren van de biologische activiteit. Een snelle bodembedekking biedt niet enkel voordelen naar erosie en verslemping toe maar is ook interessant voor het onderdrukken van opkomende onkruiden. Onderzoek in Duitsland (Brust et al., 2011) toonde aan dat zowel onderzaai als nateelt van vanggewassen positieve effecten had op de onkruiddruk en de opslag uit het hoofdgewas. Bij onderzaai van Engels raigras (*Lolium perenne*) en witte klaver (*Trifolium repens*) werd een afname van de onkruidichtheid en onkruidbiomassa waargenomen in tarwe (*Triticum aestivum*) en spelt (*Triticum spelta*). Twee weken na de oogst werd reeds een dicht bladerdek ontwikkeld. Beide vanggewassen hadden geen negatieve effecten op de graanopbrengsten. Als nateelten ingezaaid ná de oogst werd gekozen voor gele mosterd (*Sinapis alba*), facelia (*Phacelia tanacetifolia*), Japanse haver (*Avena strigosa*) en een mengsel van Alexandrijnse klaver (*Trifolium alexandrinum*), wikke (*Vicia sativa*), Franse boekweit (*Fagopyrum tataricum*) en Gingellikruid (*Guizotia abyssinica*). Deze vanggewassen werden midden augustus ingezaaid, na afvoer van het stro en een ondiepe bodembewerking met een schijveneg. Na inzaai werd het zaai bed aangedrukt met een rol. Er werd eveneens een controlebehandeling zonder vanggewas aangelegd.

Zowel de vanggewassen als de onkruiden en de opslag uit het hoofdgewas werden op drie tijdstippen opgevolgd; hierbij werd het aantal planten, de bedekkingsgraad en de bovengrondse en ondergrondse drogestofopbrengst bepaald. Onder alle vanggewassen werd een significante afname waargenomen van zowel de ondergrondse als bovengrondse drogestofopbrengst aan onkruiden en opslag. Voor het mengsel was die afname initieel echter niet significant (zie Figuur 10).



**FIGUUR 10: BOVENGRONDSE (LINKS) EN ONDERGRONDSE (RECHTS) DROGESTOFOPBRENGST VAN ONKRUIDEN EN OPSLAG UIT HET HOOFDGEWAS ONDER BRAAK, GELE MOSTERD, FACELIA, JAPANSE HAVER EN EEN KLAVER-WIKKE-BOEKWEIT-GINGELLIMENGSEL EN DIT OP 3 OPEENVOLGENDE TIJDSTIPPEN (LICHTGRIJS/DONKERGRIJS/ZWART) (BRUST ET AL., 2011).**

### 3.2.1.3 AANVOER VAN ORGANISCHE STOF

Indien voor een nateelt gekozen wordt om het gehalte aan bodemorganische stof te verhogen, zijn de drogestofopbrengst en de samenstelling van het plantaardig materiaal van belang (Tabel 17). Er wordt in deze context gesproken over groenbemesters. De hoeveelheid organische stof die wordt aangebracht door een groenbemester hangt af van de drogestofopbrengst. Voor het op peil houden of het verhogen van de organische stofvoorraad van de bodem is de hoeveelheid effectieve organische stof geleverd door de groenbemester belangrijk. De effectieve organische stof is de fractie organische stof die na één jaar nog aanwezig is in de bouwvoor. Wortels zijn daarom effectiever dan de bovengrondse massa. Het aandeel effectieve organische stof van wortels bedraagt gemiddeld 35% terwijl de bovengrondse massa gemiddeld 20% effectieve organische stof aanbrengt (Timmer et al., 2004). Het hogere gehalte aan effectief organische stof en de uitgesproken wortelontwikkeling van grasachtige vanggewassen zorgen ervoor dat de grasachtige vanggewassen uitermate geschikt zijn voor het op peil houden van het organische stofgehalte van de bodem.

TABEL 17: CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN GELE MOSTERD, FACELIA, RAAIGRAS EN WIKKE (DESTAIN ET AL., 2010).

Vanggewas	N (%/DS)	C:N	Lignine (%/DS)	Cellulose (%/DS)
Gele mosterd	1,63 - 2,82	8 - 27	1,7 - 4,2	15,8 - 23,8
Facelia	1,44 - 1,85	21 - 23	5,4 - 6,3	19,5 - 26,5
Raaigras	1,65 - 1,76	20 - 25	1,2 - 2,6	17,2 - 21,3
Wikke	2,42 - 3,60	9 - 11	-	-

### 3.2.1.4 AALTJESBESTRIJDING

Plantparasitaire aaltjes of nematoden zorgen voor groei- en ontwikkelingsstoornissen. Bij een voldoende ruime teeltrotatie is de schade van de nematoden minimaal maar bij monoculturen echter kan de teelt onmogelijk worden. Wanneer geen waardplanten aanwezig zijn, neemt de aaltjespopulatie elk jaar op natuurlijke wijze af. Vandaar het belang van een voldoende ruime vruchtafwisseling van suikerbieten, aardappelen of andere waardplanten van aaltjes.

Aaltjesresistente vanggewassen zorgen ervoor dat de nematodenpopulatie niet verder vermeerderd en kunnen de teeltrotatie soms wat verkorten. Voor een degelijke aaltjesbestrijding is een voldoende lange groeiperiode van het vanggewas van belang. De werking tegen aaltjes is bovendien zeer specifiek en de verscheidenheid van plantparasitaire aaltjes is zo groot dat de combinatie van de aaltjessoort en soort en ras van het vanggewas bepalend zijn voor het effect op de aaltjespopulatie (Figuur 11).

	<i>Globodera rostochiensis</i> / <i>G. pallida</i> Aardappelsysteeltje	<i>Heterodera schachtii</i> Witte bietencysteeltje	<i>Heterodera betae</i> Gele bietencysteeltje	<i>Meloidogyne hapla</i> Noordelijk wortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne chitwoodi</i> Malswortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne falax</i> Bedrieglijk malswortelknobbelaaltje	<i>Pratylenchus penetrans</i> Wortelziezaaltje	<i>Ditylenchus dipsaci</i> Stengelaaltje	<i>Trichodorus primitivus</i> Trichodorus primitivus	<i>Trichodorus similis</i> Trichodorus similis	<i>Paratrichodorus pachydermus</i> Paratrichodorus pachydermus	<i>Paratrichodorus teres</i> Paratrichodorus teres	<i>Tabaksratelvirus</i> Tabaksratelvirus
Bladrammenas	▽	▽▽ R	?	●●	▽ R	● R	●●●	?	●●●	●●	●●	●	▽
Gele mosterd	▽	▽▽ R	?	●●	●●	●●	●●●	?	●●●	●●●	●●●	●●	●●●
Bladkool	▽	●●●	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Italiaans raaigras	▽	▽	▽	▽	●●	●●●	●●●	●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●● S
Engels raaigras	▽	▽	▽	▽	●	●●●	●	●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●
Rogge	▽	▽	▽	▽	●●●	●●	●●	●●	●●	?	●●●	●●●	●●
Facelia	▽	▽	▽	●●	●	●	●●●	?	●	?	●●	?	●●●
Japane haver	?	?	?	?	?	?	▽	?	?	?	?	?	?
Voederwikke	▽	▽	●●	●●	?	●●	●●●	?	●●●	?	?	●	▽
Witte klaver	▽	▽	?	●● R	●● R	●● R	●●●	●●●	?	?	?	●●●	●●●
Raketblad	▽▽	?	?	?	●●	?	●	?	●●	●●	●●	●●	●●
Tagetes patula	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽▽	?	?	?	?	?	●●● S

Legenda Vermeerdering	
?	volledig onbekend
▽▽	actieve afname
▽	natuurlijke afname
●	weinig
●●	matig
●●●	sterk
R	rasafhankelijk
S	serotype afhankelijk

Legenda Schade	
?	onbekend
geen	geen
weinig	weinig
matig	matig
sterk	sterk

FIGUUR 11: VERMEERDERING VAN AALTJES EN SCHADE DOOR AALTJES ONDER VERSCHILLENDE SOORTEN VANGGEWASSEN (HOEK, 2011).

Onder een bepaald vanggewas kan een bepaalde aaltjesaantasting nog erger worden terwijl andere aaltjes wel degelijk bestreden worden. Dit is vooral sterk uitgesproken voor het effect van grasachtige vanggewassen op de aaltjespopulaties. Er zijn zowel aaltjes waarvan de populatie vermindert maar er zijn ook aaltjes die zich onder grassen sterk kunnen vermeerderen. Ook tussen de soorten grassen zijn er nog verschillen inzake aaltjesvermeerdering. Onder Engels raaigras is de vermeerdering van het quarantaine wortelknobbelaaltje *Meloidogyne chitwoodi* en het wortellesieaaltje *Pratylenchus penetrans* beduidend minder dan onder bijvoorbeeld Italiaans raaigras. Wanneer een grasachtige als vanggewas wordt gekozen, is het zeer belangrijk om te weten welke aaltjes op de betrokken percelen voorkomen. Zo is het ook aangewezen om geen grasachtige vanggewassen te gebruiken wanneer in de teeltrotatie meer dan 50% granen zijn opgenomen. Voor een degelijke aaltjesbestrijding is ook een voldoende lange groeiperiode van het vanggewas van belang.

#### 3.2.1.5 VEEVOER

Enkele vanggewassen kunnen ook geteeld worden om het bovengrondse deel als aanvullend veevoer aan te wenden en de wortel- en gewasresten als groenbemester te gebruiken. Hiervoor zijn snelgroeïende raaigrassen het meest geschikt. Wanneer het de bedoeling is om een snede voor het vee te oogsten, worden vaak meerdere soorten gecombineerd om enige zekerheid in te bouwen. Bladkool kan als vanggewas ingezaaid worden na de oogst van wintergerst eind juli, om tussen eind augustus en eind september aan het vee gevoerd te worden. Gele mosterd of bladrammenas kunnen niet worden gebruikt als voer omdat ze niet smakelijk zijn voor het vee.

#### 3.2.2 PLAATS BINNEN DE TEELTROTATIE

Een zeer belangrijk criterium in de keuze van het vanggewas is de teeltrotatie en vooral de volgteelt. Sommige vanggewassen passen niet in het vruchtwisselingschema omdat ze waardplant zijn voor aaltjes (zie deel 3.2.1.4), ziekten of plagen waarvoor de volgende teelt ook gevoelig is. Bladkool, bladrammenas en gele mosterd zijn waardplanten voor het bietencystenaaltje. Aaltjesresistente rassen van gele mosterd en bladrammenas kunnen bij een voldoende vroeg zaaitijdstip een remmende werking hebben op de nematoden waardoor deze toch geschikt zijn in een rotatie met suikerbieten. Bladkool daarentegen heeft tot nog toe geen resistente rassen en wordt beter niet geteeld voor suikerbieten. In een rotatie met enkel zomer- en wintergranen is het beter om breedbladige gewassen (gele mosterd, facelia) in te zaaien in plaats van een extra graan (haver of snijrogge). Grasachtige vanggewassen kunnen in een dergelijk schema het optreden van voetziekten bevorderen, waardoor ook deze soms best gemeden worden in zo'n situatie. Wikke bijvoorbeeld houdt net als erwten het erwten-cystenaaltje en de bladrandkever in stand en wordt best niet als vanggewas voor erwten geteeld. Facelia daarentegen is niet verwant aan andere cultuurgewassen en vormt daarom geen gevaar op aanverwante ziekten en plagen in de volgteelt.

Niet enkel de ziektegevoeligheid van de volgteelt bepaalt welk vanggewas in de teeltrotatie kan worden opgenomen, maar ook het zaaitijdstip van de volgteelt. Is de volgteelt een late teelt zoals maïs dan kan het vanggewas zich ook nog ontwikkelen in het voorjaar. In een dergelijke situatie wordt dus best de voorkeur gegeven aan een vanggewas dat niet vorstgevoelig is.

Ook de eigenschappen van de hoofdteelt als waardplant zijn van belang, het vanggewas zelf kan namelijk aangetast worden door bepaalde plagen en ziekten van de voorvrucht. Een vlinderbloemig vanggewas ingezaaid in een erwtenstoppel kan bijvoorbeeld ernstig worden aangetast door de bladrandkever.

Tot slot dient er ook rekening gehouden te worden met de nawerking van bodemherbiciden gebruikt in de voorteelt; indien de bodembewerking onvoldoende is, kunnen deze herbicideresiduen de ontwikkeling van de vanggewassen remmen.

### 3.2.3 ZAAITIJDS TIP

Wanneer het vanggewas na de oogst van het hoofdgewas wordt ingezaaid, is het de oogst van de hoofdteelt die het tijdstip bepaalt waarop gezaaid kan worden. Dit zaaitijdstip bepaalt echter in grote mate welk vanggewas moet of kan gekozen worden (Tabel 18). Een vanggewas heeft namelijk een zekere periode nodig om voldoende te ontwikkelen en zijn rol te kunnen waarmaken. Een te late zaai kan resulteren in een mindere ontwikkeling, een minder goede bedekking en een verminderde stikstofopname.

TABEL 18: OVERZICHT ZAAITIJDS TIPPEN VAN ENKELE VEEL VOORKOMENDE VANGGEWASSEN (HERMANS ET AL., 2010).

	ZAAITIJDS TIP							
	maa	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt
<b>Bladrijke groenbemesters</b>								
Gele mosterd								
Bladrammenas								
Bladkool								
Facelia								
<b>Grasachtige groenbemesters</b>								
Westerwolds raaigras								
Engels raaigras								
Italiaans raaigras								
Snijrogge								
Japane haver								
<b>Vlinderbloemige groenbemesters</b>								
Wikke								
Klaver								
Lupinen								

zaaien onder dekvruucht  
 zaaien op braakland  
 zaaien in vroege stoppel  
 zaaien in late stoppel  
 N-vanggewas

Na een later geogoste hoofdteelt zal logischerwijze gekozen worden voor een zich snel ontwikkelend vanggewas. Na een vroeg geogoste voorvrucht daarentegen is er ook ruimte voor vanggewassen die minder snel ontwikkelen of die warmte nodig hebben voor een optimale ontwikkeling. Voor mosterd is de zaaidatum soms een afweging tussen een maximale stikstofopname en het voorkomen van zaadontwikkeling. Hoe vroeger de zaaidatum van gele mosterd hoe belangrijker de beslissing om voor een ras met late bloei te kiezen.

### 3.2.4 KOSTPRIJS

Een andere overweging bij de keuze van het vanggewas is de kostprijs van de tussenteelt en met name de kostprijs van het zaaizaad. In Tabel 19 wordt een overzicht gegeven van richtinggevende, gemiddelde prijzen per kilogram zaaizaad van diverse vanggewassen. In functie van de zaaidichtheid is de kostprijs van het zaad per hectare berekend.

TABEL 19: RICHTINGGEVENDE GEMIDDELDE KOSTPRIJS ZAAIZAAD ZOMER 2011 (ANONIEM, 2011).

Soort	Prijs (€ kg <sup>-1</sup> )	Zaaidichtheid (kg ha <sup>-1</sup> )	Prijs (€ ha <sup>-1</sup> )	Relatieve kostprijs per ha (Italiaans raaigras = 100%)
Facelia	€ 7,50	8	€ 60	83%
		12	€ 90	125%
Gele mosterd	€ 2,00	10	€ 20	28%
		20	€ 40	56%
Bladrammenas	€ 4,00	12	€ 48	66%
		20	€ 80	110%
Wikke	€ 1,50	80	€ 120	166%



Soort	Prijs (€ kg <sup>-1</sup> )	Zaadichtheid (kg ha <sup>-1</sup> )	Prijs (€ ha <sup>-1</sup> )	Relatieve kostprijs per ha (Italiaans raaigras = 100%)
		100	€ 150	207%
Alexandrijnse klaver	€ 3,45	25	€ 86	119%
		30	€ 103	142%
Veldboon	€ 0,90	120	€ 108	149%
		160	€ 144	199%
Italiaans raaigras	€ 1,80	25	€ 50	69%
		40	€ 72	100%
Snijrogge	€ 0,60	75	€ 45	62%
		100	€ 60	83%
Japane haver	€ 1,60	50	€ 80	110%
		80	€ 128	177%
Zomerhaver	€ 0,65	50	€ 32	44%
		80	€ 52	72%
Tagetes	€ 30,00	3	€ 90	124%
		10	€ 300	414%

### 3.2.5 AANLEGWIJZE

Een aspect dat mogelijk minder zal doorwegen in de keuze van het soort vanggewas is het gemak van aanleggen. Een gemakkelijke aanleg van het vanggewas kan de werklust verminderen tijdens een periode waarin de werkdruk al hoog is. Kruisbloemigen kunnen breedwerpig gezaaid worden en moeten niet bedekt worden omdat het zaad al wat reserves bevat. Dit betekent dat de aanleg van deze vanggewassen snel kan en weinig hoeft te kosten. Lichtere zaden zoals die van facelia of raaigras kunnen niet breedwerpig gezaaid worden. Het inzaaien moet nauwkeuriger gebeuren en er moet voldoende contact zijn met de bodem. Facelia bijvoorbeeld moet goed bedekt zijn omdat het zaad slecht kiemt onder invloed van licht, maar mag niet te diep gezaaid worden (1-2 cm).

### 3.2.6 Vernietigingswijze

Niet enkel het gemak van aanleggen maar ook het gemak van vernietiging bepaalt mee de kost van de tussenteelt en de werkdruk die deze met zich meebrengt. Bovendien voorkomt een efficiënte vernietiging zaadopslag en de vorming van een anaerobe laag ter hoogte van de ploegzool. Deze anaerobe laag kan voor de volgteelt resulteren in een kwantitatief en kwalitatief mindere productie.

Het gemak van vernietiging gaat niet enkel gepaard met het type en de vorstgevoeligheid van het vanggewas maar hangt eveneens af van het moment waarop de landbouwer het vanggewas wenst onder te werken. Op de zwaardere leem- en kleibodems wordt doorgaans voor de winter geploegd terwijl de lichtere bodems na de winter en in het voorjaar worden geploegd.

Vorstgevoelige vanggewassen zoals de breedbladige vanggewassen zijn na de winter meestal voldoende afgestorven (Figuur 12) en kunnen zonder verdere voorbereiding worden ingeploegd. Op de zwaardere bodems waar reeds in het najaar wordt geploegd voordat de vanggewassen zijn afgevroren, moeten deze doorgaans eerst geklepeld of gemaaid worden vooraleer ze ondergewerkt kunnen worden. Best gebeurt de voorbereiding enkele dagen voor het inwerken zodat een eerste afbraak nog kan gebeuren onder aerobe omstandigheden.



23/10/2009



16/12/2009



28/01/2009

FIGUUR 12: OVERZICHT GEWASTOESTAND GELE MOSTERD IN GITS OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN (DEBUSSCHE, 2010).

De vanggewassen die niet of beduidend minder vorstgevoelig zijn zoals de grasachtige (Figuur 13) dienen vaak chemisch gedood te worden vooraleer ze ondergewerkt kunnen worden.



23/10/2009



16/12/2009



28/01/2009

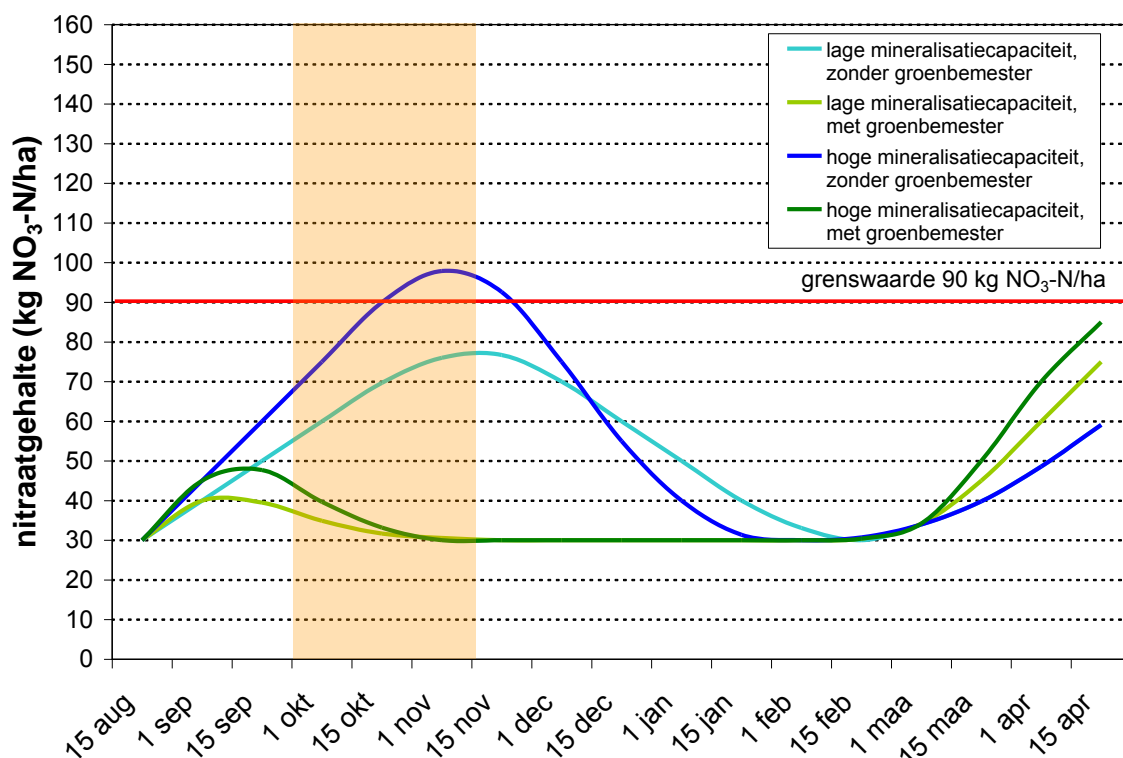
FIGUUR 13: OVERZICHT GEWASTOESTAND ITALIAANS RAAIGRAS IN GITS OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN (DEBUSSCHE, 2010).

## 4 STIKSTOFOPNAME DOOR VANGGEWASSEN

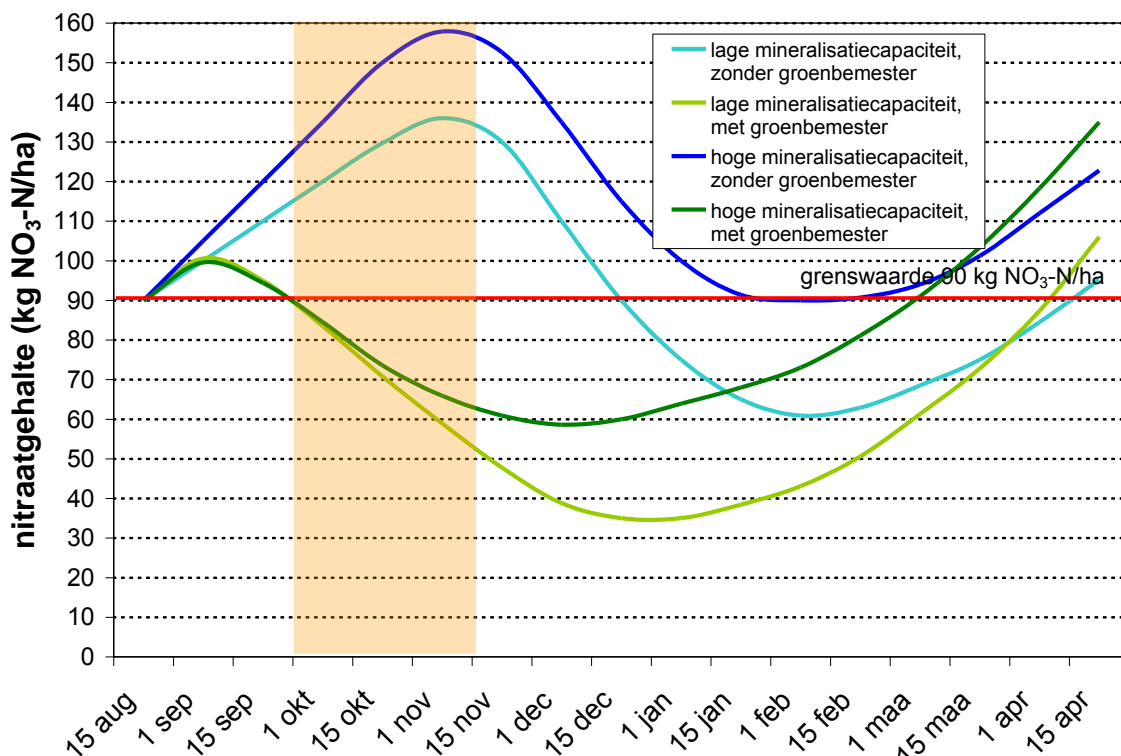
### 4.1 INLEIDING

$N_{\min}$  wordt door de vanggewassen opgenomen onder vorm van nitraten ( $\text{NO}_3^-$ ) en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Deze kunnen nog aanwezig zijn in de bodem na de oogst van het laatste hoofdgewas, kunnen vrijgesteld worden door mineralisatie uit de oogstresten, uit organische stof in de bodem of uit toegediende organische mest, of kunnen afkomstig zijn van atmosferische depositie. In de bodem komt  $N_{\min}$  hoofdzakelijk voor onder de vorm van nitraten.

Een vanggewas heeft een merkbare invloed op de evolutie van het nitraatstikstofgehalte in de bodem en dit vrijwel vanaf de inzaai. Bij inzaai van een vanggewas neemt aanvankelijk het nitraatstikstofgehalte even toe tot het wortelstelsel ontwikkeld is en nitraat kan opnemen uit de bodem. De bijkomende minerale N is afkomstig van de mineralisatie van de organische stof, begünstigd door de bodembewerkingen om het zaai bed klaar te maken. Door opname van deze N door de vanggewassen daalt het nitraat-N-gehalte echter vlug en blijft het laag gedurende de wintermaanden. In het voorjaar zal deze opgenomen N terug mineraliseren en vrijkomen in de bodem, na onderwerken of afsterven van het vanggewas (zie deel 5.2). In Figuur 14 en Figuur 15 wordt de evolutie van het nitraat-N-gehalte in de bodem weergegeven in functie van verschillende uitgangssituaties in augustus. Dit zijn geïdealiseerde curven, opgesteld op basis van cijfers bekomen uit verschillende proefveld- en praktijkresultaten.

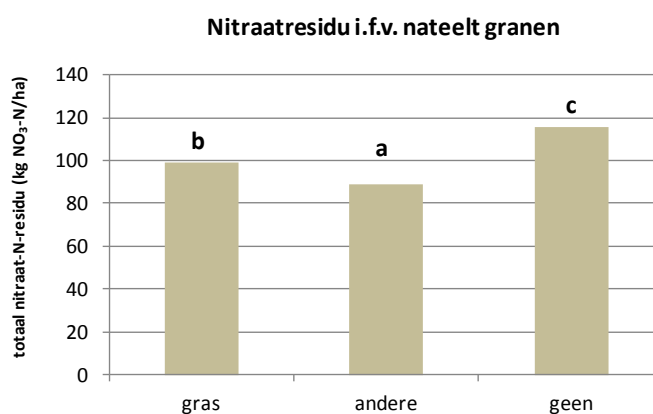


FIGUUR 14: EVOLUTIE VAN HET NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM VERTREKKEND VAN EEN ZEER LAAG NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM IN AUGUSTUS (HERMANS ET AL., 2010).



FIGUUR 15: EVOLUTIE VAN HET NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM VERTREKKEND VAN EEN HOGER NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM IN AUGUSTUS (HERMANS ET AL., 2010).

Het positieve effect van een nateelt na granen op het  $N_{\min}$ -gehalte werd in de praktijk aangetoond door Tits et al. (2010). Indien geen beheerovereenkomst werd afgesloten, was het nitraat-N-residu (nitraat-N-gehalte in de bodem tussen 1 oktober en 15 november) het grootst onder braakliggende percelen, respectievelijk gevolgd door percelen begroeid met grasachtige vanggewassen en andere vanggewassen (Figuur 16).



FIGUUR 16: TOTAAL NITRAAT-N-RESIDU (KG NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N HA<sup>-1</sup> IN 0-90 CM) NA GRANEN IN TUSSEN 1 OKTOBER EN 15 NOVEMBER IN FUNCTIE VAN DE NATEELT (OP BASIS VAN CONTROLESTALEN IN OPDRACHT VAN DE MESTBANK) (NAAR TITS ET AL., 2010).

Er zijn verschillende soorten vanggewassen (zie deel 3.1). Zoals eerder beschreven (zie deel 1.2) kan een plant doeltreffend als vanggewas gebruikt worden indien ze een grote opnamecapaciteit heeft, voldoende winterhard is en de mineralisatie in het voorjaar samenvalt met de stikstofvraag van het hoofdgewas.

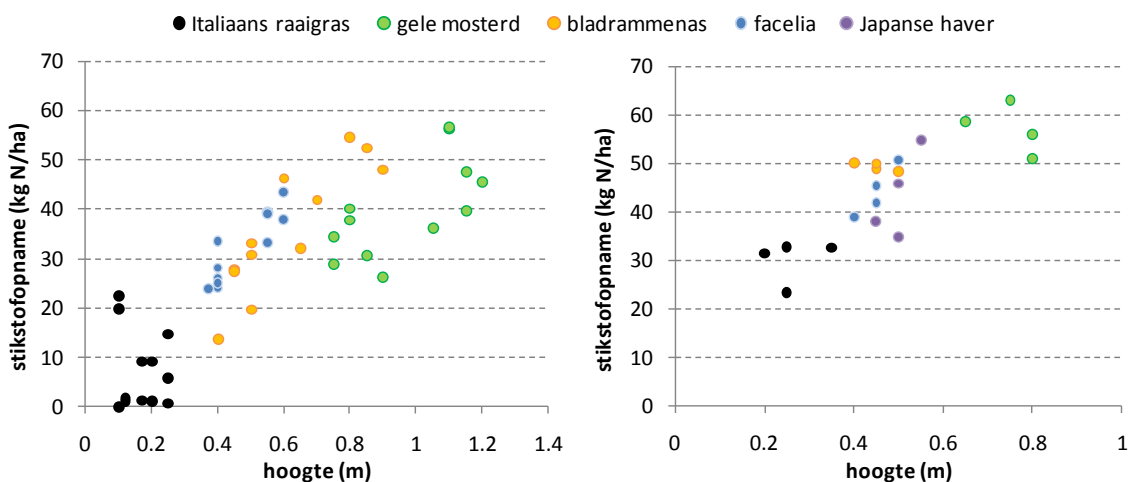
De stikstofopnamecapaciteit van een plant wordt bevorderd door volgende eigenschappen:

- hoge bladgroeisnelheid (*leaf expansion rate*)
- grote stralingsomzetting (*radiation use efficiency*)
- snelle en voldoende diepe wortelontwikkeling

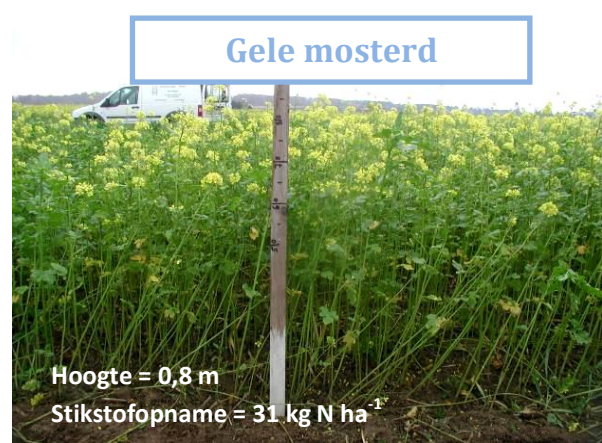
De mate waarin deze eigenschappen zich manifesteren wordt bepaald door de weersomstandigheden en de bodemeigenschappen (textuur, structuur en nutriëntenbeschikbaarheid). Ook de voorgeschiedenis van het perceel, het type grondbewerking bij aanleg, de bemesting en de lengte van het groeiseizoen (zaaitijdstip) hebben een belangrijke impact op de wortelontwikkeling en daarmee op de efficiëntie van het vanggewas. In weinig vruchtbare bodems kunnen ook associaties tussen vanggewassen en mycorrhiza voorkomen die de opname van  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_4^+$  verhogen (Marschner en Dell, 1994).

## 4.2 ONTWIKKELING VAN HET VANGGEWAS EN ZIJN STIKSTOFOPNAME

De hoeveelheid stikstof die effectief opgenomen wordt door een vanggewas wordt bepaald door de biomassaproductie en het N-gehalte van het plantenweefsel. Loofrijke gewassen zoals gele mosterd of bladrammenas zullen meer stikstof opnemen dan minder bladrijke gewassen. Voor gele mosterd wordt vaak de vuistregel gehanteerd dat dit gewas per 10 cm hoogte ongeveer 10 kg stikstof per hectare bevat. Voor grassen of granen wordt dit geschat op 25 kg stikstof per hectare per 10 cm hoogte. De absolute cijfers buiten beschouwing gelaten, geeft ook dit al een zeker verband aan tussen de stikstofopname en de gewashoogte. Hermans et al. (2010) bevestigden dit met proefveldgegevens van verschillende locaties (Figuur 17 en Figuur 18).



FIGUUR 17: VERBAND TUSSEN DE HOOGTE VAN HET VANGGEWAS EN DE BOVENGRONDSE STIKSTOFOPNAME. LINKS: DEMOVELD TE LEEFDAAL OP EEN LEEBODEM (2008); RECHTS: DEMOVELD TE LINTER OP EEN LEEBODEM (2009) (HERMANS ET AL., 2010).



FIGUUR 18: VERGELIJKING TUSSEN DE BOVENGRONDSE ONTWIKKELING VAN ITALIAANS RAAIGRAS (LINKS) EN GELE MOSTERD (RECHTS) IN 2008 (BOVEN) IN LEEFDAAL EN IN 2009 (ONDER) IN LINTER (HERMANS ET AL., 2010).

Ver Elst et al. (1999) gaven eveneens richtcijfers voor de stikstofopname in functie van het type vanggewas en de kwalitatieve gewasontwikkeling (Tabel 20).

TABEL 20: STIKSTOFOPNAME (KG N HA<sup>-1</sup>) DOOR VANGGEWASSEN UITGEZAAD IN HET NAJAAR\* (VER ELST ET AL., 1999).

Type vanggewas	Ontwikkeling vanggewas		
	slecht	normaal	goed
Bladrijke	30 – 50	50 – 70	70 – 90
Grasachtige	20 – 40	40 – 60	60 – 80
Vlinderbloemige	30 – 50	50 – 75	60 – 100

\*Boven- en ondergronds, geldig bij een normale bemesting. Bij extreem hoge stikstofbeschikbaarheid kunnen nog hogere stikstofopnames worden behaald.

De meeste onderzoeken (Geypens & Honnay, 1995; Vandendriessche et al., 1996; Ver Elst, 2001; BDB, 2003; Ver Elst, 2007) legden de mogelijkheid van vanggewassen op vlak van N-opname vast tussen 20 en net meer dan 100 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabel 20 en Tabel 21). Ninane et al. (1995) toonden uiterste resultaten tot 178 kg N ha<sup>-1</sup>. Van Dam (2006) simuleerde met een gemodificeerd SUCROS-model voor Nederland maximale N-opnames tot 200 kg N ha<sup>-1</sup>. In een review over het gebruik van vanggewassen in gematigde klimaten vermeldden Thorup-Kristensen et al. (2003) N-opnames voor niet-vlinderbloemige vanggewassen van 10 tot 200 kg N ha<sup>-1</sup> en in een zeldzame gevallen zelfs tot 300 kg N ha<sup>-1</sup>. Ze schreven de variatie hoofdzakelijk toe aan de weersomstandigheden en de N-beschikbaarheid.

TABEL 21: VERSGEWICHT, DROGESTOFOPBRENGST EN STIKSTOFOPNAME VOOR VERSCHILLENDE VANGGEWASSEN BIJ VERSCHILLENDE N-BEMESTINGEN IN KESSEL-LO (VER ELST, 2001).

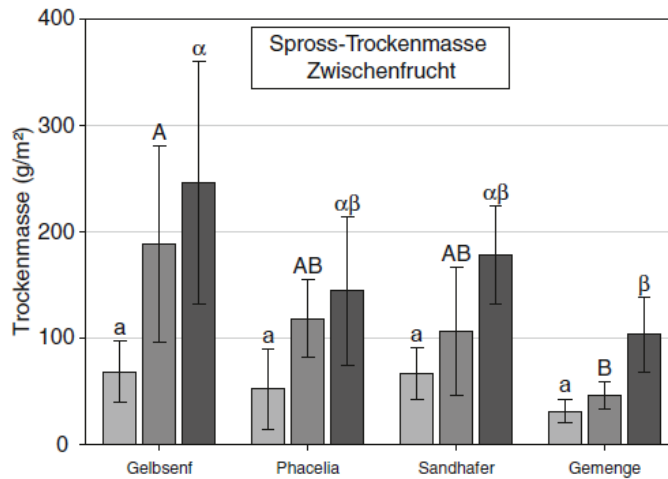
Vanggewas	Bemesting	Versgewicht (kg ha <sup>-1</sup> )	Droge stof (kg ha <sup>-1</sup> )	N-opname (kg N ha <sup>-1</sup> )
Raaigras	25 ton ha <sup>-1</sup> ZDM*	23642	3247	96
Wikke	25 ton ha <sup>-1</sup> ZDM	18399	2293	88
Gele mosterd	25 ton ha <sup>-1</sup> ZDM	27597	4718	118
Raaigras	0 kg N	10293	1693	42
Wikke	0 kg N	15932	1972	76
Gele mosterd	0 kg N	14583	3079	55
Raaigras	50 kg N ha <sup>-1</sup>	14500	2298	54
Wikke	50 kg N ha <sup>-1</sup>	16079	1819	82
Gele mosterd	50 kg N ha <sup>-1</sup>	18416	3771	74

\*ZDM = zeugenmengmest

Ook in het buitenland werd onderzoek gevoerd naar de ontwikkeling van vanggewassen. Vos & van der Putten (1997) toonden een dagelijkse opname aan van 3 tot 4 kg N ha<sup>-1</sup> aan. De variabiliteit in de drogestofopbrengst van vanggewassen (bovengronds en ondergronds) kon voor 76% verklaard worden door het dagelijks gemiddelde van de stralingsintensiteit. Ze toonden wel aan dat de drogestofopbrengst geen goede indicator is voor het stikstofgehalte in de plant.

Sapkota et al. (2012) legden in Denemarken veldproeven aan op een lichte en een zware bodem. De vanggewassen cichorei (*Cichorium intybus L.*) en Engels raaigras (*Lolium perenne L.*) werden ondergezaaid in de zomergerst in het voorjaar, terwijl bladrammenas (*Raphanus sativus L.*) werd ingezaaid onmiddellijk na de oogst van de zomergerst begin augustus. Als controle was er een braakbehandeling zonder vanggewas. In november was over het gehele profiel (0-200 cm) het N<sub>min</sub>-gehalte op de veldjes met vanggewassen 33 tot 48% lager dan op de braak. In de bovenste 50 cm werden echter geen significante verschillen waargenomen, wellicht door toedoen van reeds opgetreden uitspoeling. In de bodemlaag van 50 tot 100 cm werd voor de drie vanggewassen immers wél een significante afname van het N<sub>min</sub>-gehalte gevonden t.o.v. de braak. Voor de bodemlaag van 100 tot 150 cm was de afname enkel significant onder bladrammenas. Voor de laag van 150 tot 200 cm werden geen significante verschillen tussen de behandelingen gevonden. Er werd besloten dat de drie vanggewassen de N<sub>min</sub> in de verschillende bodemlagen op een andere manier uitputten; bovendien had bladrammenas een significant hogere drogestofopbrengst en N-opbrengst dan cichorei en Engels raaigras. De bovengrondse verschillen in drogestof- en N-opbrengst zijn dus het gevolg van de verschillen in wortelactiviteit (zie ook deel 0).

Bij veldproeven in Duitsland (Brust et al., 2011) met gele mosterd, facelia, Japanse haver en een klaver-wikke-boekweit-Gingellikruidmengsel werd op 3 oogsttijdstippen telkens de hoogste bovengrondse drogestofopbrengst gemeten bij gele mosterd (Figuur 19).



FIGUUR 19: BOVENGRONDSE DROGESTOFOPBRENGST GELE MOSTERD, FACELIA, JAPANESE HAVER EN EEN KLAVER-WIKKE-BOEKWEIT-GINGELLIKRUIDMENGSEL OP 3 TIJDSTIPPEN (LICHTGRIJS/DONKERGRIJS/ZWART) (BRUST ET AL., 2011).

Nett et al. (2011) onderzochten het effect van 4 vanggewassen - snijrogge (*Secale cereale*), bladrammenas (*Raphanus sativus L. var. oleiformis Pers.*), ui (*Allium cepa L.*) en soedangras (*Sorghum sudanense Stapf*) - op de N-overschotten die ontstaan bij intensieve groententeelt in Duitsland. Zij definieerden vervolgens  $N_{input}$  en  $N_{output}$  als volgt:

$N_{input}$  = de som van:

- de  $N_{min}$  in de bodem (0-90 cm) bij oogst van het hoofdgewas
- de N in de bovengrondse oogstresten die achterblijven op het veld
- de N toegediend als kunstmest tussen deze oogst en de oogst van het volgende hoofdgewas

$N_{output}$  = de som van:

- de N afgevoerd bij eventuele oogst van het vanggewas
- de N in de bovengrondse biomassa bij oogst van het volgende hoofdgewas
- de  $N_{min}$  in de bodem (0-90 cm) bij oogst van het volgende hoofdgewas

Het verschil tussen beiden werd het schijnbaar N-verlies genoemd:

$$N_{verlies} = N_{input} - N_{output}$$

Het effect van het vanggewas werd beoordeeld op basis van de verschillen in  $N_{verlies}$  tussen de overeenkomstige behandelingen met en zonder vanggewas. Hoe groter  $N_{verlies}$ , hoe meer N verloren ging door uitspoeling en denitrificatie. Voor de behandelingen zonder vanggewas bedroeg  $N_{verlies}$  gemiddeld  $217 \pm 17 \text{ kg N ha}^{-1}$ , voor de behandelingen met vanggewas was dit gemiddeld  $13 \pm 6 \text{ kg N ha}^{-1}$  minder. Het effect van het vanggewas werd echter sterk beïnvloed door het soort vanggewas: voor de 4 gebruikte vanggewassen was het verschil tussen de behandelingen met of zonder vanggewas enkel significant voor ui en bladrammenas (tot  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

Nett et al. (2011) bekeken ook het verband tussen de afname van  $N_{verlies}$  en de bovengrondse N-opbrengst van de vanggewassen maar konden geen sterke correlatie aantonen; dit ondanks significante verschillen tussen de gemiddelde bovengrondse N-opbrengst van de 4 vanggewassen. Dit is een indicatie dat de verschillen in ondergrondse N-opbrengst van belang kunnen zijn.

Uit analyse van jaarlijks uitgevoerde metingen op praktijkpercelen in het kader van het formuleren van bemestingsadviezen, stelden Destain et al. (2010) in het voorjaar een afname van het  $N_{min}$ -gehalte vast



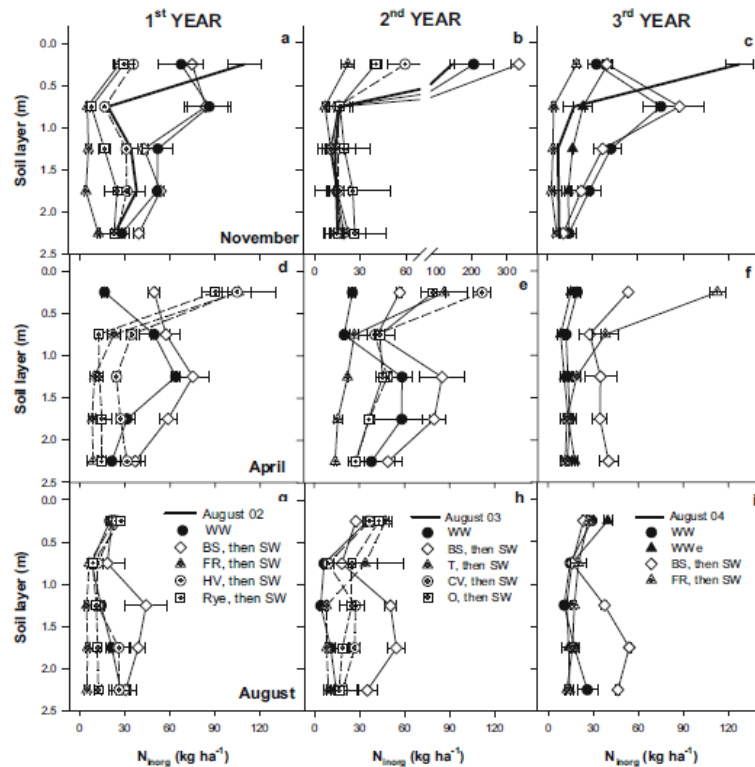
onder vanggewassen (Tabel 22). Deze afname was vooral uitgesproken in de onderste laag. Uit de in de herfst ingewerkte pluimveemest werd immers  $N_{\min}$  vrijgesteld, die zonder opname door het vanggewas neerwaarts kon migreren. De kleinere verschillen in de middelste en vooral de bovenste laag zijn waarschijnlijk te wijten aan het heropstarten van de mineralisatie voorafgaand aan de monsternamen in de lente.

**TABEL 22: MINERAAL N-GEHALTE IN DE LENTE ( $\text{KG N HA}^{-1}$ ) MET EN ZONDER VANGGEWAS, NA TOEDIENING VAN PLUIMVEEMEST ( $4 \text{ TOT } 6 \text{ TON HA}^{-1}$ ) IN DE HERFST (DESTAIN ET AL., 2010).**

Diepte	Met vanggewas	Zonder vanggewas
0-30 cm	27	29
30-60 cm	37	45
60-90 cm	30	99
0-90 cm	94	173

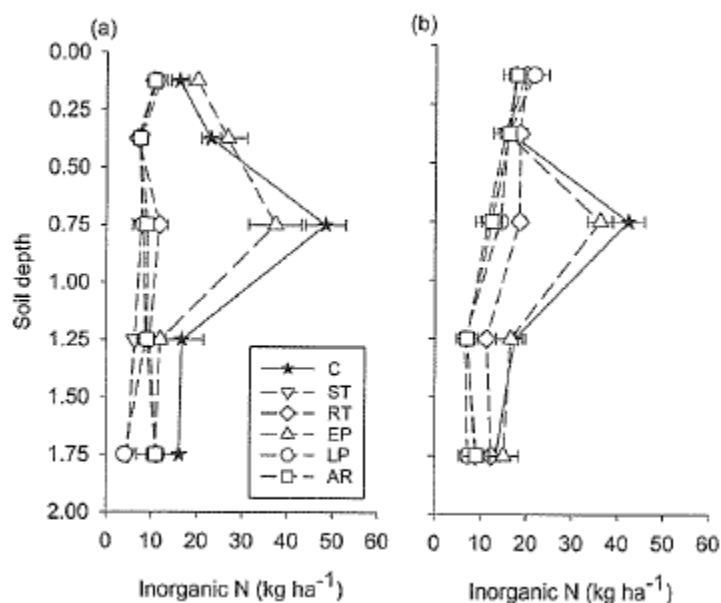
Een driejarig Deens onderzoek op zandleem (Thorup-Kristensen et al., 2009) vergeleek de evolutie van het gehalte aan  $N_{\min}$  in de bodem, enerzijds onder wintertarwe en anderzijds onder braak en onder diverse vanggewassen gevolgd door zomertarwe. De proeven werden telkens aangelegd na erwt (*Pisum sativum*) waarvan de oogstresten in de maand juli gefreesd en ondergeploegd werden. In het eerste jaar (2002) werden de vanggewassen snijrogge (*Secale cereale*), bladrammenas (*Raphanus sativus*) en wikke (*Vicia sativa*) ingezaaid, in het tweede jaar (2003) haver (*Avena sativa*), raap (*Brassica rapa subs., rapa*) en harige wikke (*Vicia villosa Roth.*) en in het derde jaar (2004) enkel bladrammenas. Het inzaaien van het vanggewas gebeurde steeds in de eerste 10 dagen van augustus. Het vanggewas werd ondergeploegd in maart, gevolgd door inzaai van de zomertarwe binnen de 3 tot 6 weken. De wintertarwe werd tijdens het eerste jaar half oktober ingezaaid, daarna tweemaal in de eerste helft van september. Er werd zowel op de vanggewassen als op de tarwe geen bemesting toegediend.

De hoeveelheid  $N_{\min}$  in de bodem was in augustus voor de drie proefjaren vergelijkbaar en bevond zich voornamelijk in de bovenste laag (zie Figuur 20). In november werd onder braak een neerwaartse beweging waargenomen die per jaar afhing van het neerslagoverschot in het najaar. Onder de vanggewassen werd in november 156 tot 318  $\text{kg ha}^{-1}$  minder  $N_{\min}$  aangetroffen dan in de bodem onder braak. De grootste afnames werden teruggevonden onder de kruisbloemigen bladrammenas en raap. In het voorjaar werd na het inwerken van de vanggewassen een herverdeling van de  $N_{\min}$  vastgesteld: terwijl bij braak een groot deel van de  $N_{\min}$  gemigreerd is naar diepere bodemlagen, werd onder vanggewassen op grotere diepte minder  $N_{\min}$  aangetroffen. In de toplaag is door mineralisatie uit de vanggewasresten dan weer het omgekeerde het geval. Na de oogst in augustus zijn die verschillen in de toplaag verdwenen door opname door de zomertarwe, maar dieper, tot waar de wortels van de zomertarwe niet reiken, blijven ze duidelijk bestaan.



FIGUUR 20:  $N_{\text{MIN}}$ -GEHALTE IN DE BODEM IN NOVEMBER, IN APRIL EN IN AUGUSTUS NA DE OOGST, VOOR DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN (WW = WINTERTARWE,  $WW_E$  = VROEG GEZAAIDE WINTERTARWE, SW = ZOMERTARWE, FR = BLADRAMMENAS, HV = HARIGE WIKKE, T = RAAP, CV = WIKKE, O = HAVER, BS = BRAAK). HET INITIEEL  $N_{\text{MIN}}$ -GEHALTE IN AUGUSTUS, VOORAFGAAND AAN DE ZAAI VAN DE VANGGEWASSEN, IS WEERGEGEVEN TUSSEN DE RESULTATEN VAN NOVEMBER. DE FOUTENBALKEN KOMEN OVEREEN MET DE STANDAARD AFWIJKING (THORUP-KRISTENSEN ET AL., 2009).

Gelijkaardige resultaten werden gevonden in een andere Deense proef (Stavridou et al., 2012), waarbij het gecombineerd effect van gele mosterd (*Sinapis alba*) en verschillende soorten bodembewerkingen op de verdeling van  $N_{\text{min}}$  in de bodem werd nagegaan (Figuur 21). Het hoofdgewas volgde op het vanggewas was suikerbiet. Dit resulteerde in verschillende behandelingen: het vanggewas werd ondergeploegd ofwel in september, ofwel in november, het vanggewas werd ingewerkt in september maar enkel in stroken waar de bieten later gezaaid zouden worden, het vanggewas werd ingezaaid tussen ruggen waarin de bieten gezaaid konden worden, of de bieten werden direct ingezaaid in het vanggewas. Er werd ook een controlebehandeling zonder vanggewas aangelegd, die werd geploegd in september. Het mineraal stikstofgehalte in de bodem lag zowel in december als in maart duidelijk hoger in de controlebehandeling en in het in september ondergeploegde vanggewas (Figuur 21). Een gedeeltelijke bedekking of het laat inploegen van het vanggewas blijkt dus ook in de maanden na inwerken zijn effect te behouden.



FIGUUR 21: MINERAAL N-GEHALTE IN EEN ZANDLEEMBODEM IN DECEMBER 2008 (A) EN MAART 2009 (B) VOOR VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN: EEN CONTROLE (C), EEN GESTROOKTE BODEMBEWERKING (ST), DIRECTE INZAAI (RT), VROEG PLOEGEN (EP), LAAT PLOEGEN (LP) EN EEN RUGGENBEWERKING (AR). DE STANDAARD AFWIJINGEN (N=4) ZIJN WEERGEGEVEN DOOR HORIZONTALE LIJNSTUKJES (STAVRIDOU ET AL., 2012).

Constantin et al. (2010, 2011) volgden op drie Noord-Franse locaties met verschillende bodemtypes en klimatologische omstandigheden gele mosterd (*Sinapis alba*), bladrammenas (*Raphanus sativus*) en Italiaans raaigras (*Lolium perenne*) op over een periode van 13 tot 17 jaar. Er was telkens één soort vanggewas en één controle per locatie. Mosterd en bladrammenas werden jaarlijks ingezaaid eind augustus of begin september; raaigras elke 2 jaar. De gewassen in de rotaties waren afhankelijk van de locatie; overal werd wintertarwe (*Triticum aestivum* L.) ingezaaid, afgewisseld met één of twee andere gewassen uit de volgende reeks: gerst (*Hordeum vulgare* L.), suikerbiet (*Beta vulgaris* L.), erwten (*Pisum sativum* L.) of snijmaïs (*Zea mays* L.).

Enkele gegevens betreffende de opbrengsten en samenstelling van de vanggewassen zijn weergegeven in Tabel 23. De wortel:stengelverhouding van de drogestofopbrengst bedroeg 0,20 voor gele mosterd, 0,72 voor Italiaans raaigras en 0,15 voor bladrammenas. Voor de N-opbrengst was dat respectievelijk 0,06, 0,37 en 0,05. Bij het bepalen van de N-opname was het voor de grasachtige vanggewassen dus zeker noodzakelijk de ondergrondse biomassa mee in rekening te brengen.

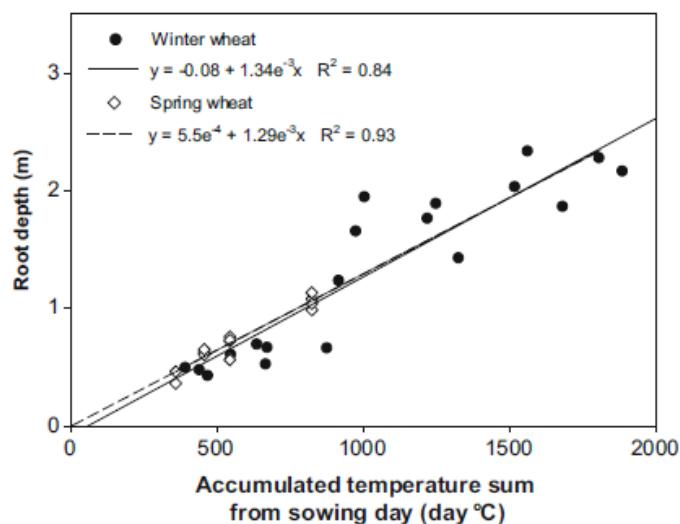
TABEL 23: GEMIDDELTE JAARLIJKSE DROGESTOFOPBRENGST, STIKSTOFOPBRENGST EN C:N-VERHOUDING VOOR GELE MOSTERD, ITALIAANS RAAIGRAS EN BLADRAMMENAS (BOVENGRONDS + ONDERGRONDS); DE BEHANDELINGEN MET GELE MOSTERD WAREN ONDERHEVIG AAN EEN CONVENTIONELE (CT) OF GEEN BODEMBEWERKING (NT), BIJ BLADRAMMENAS WERD EEN NORMALE (N) OF VERMINDERDE BEMESTING (N-) UITGEVOERD OP HET HOOFDGEWAS (CONSTANTIN ET AL., 2010).

Behandeling	Vanggewas	Opbrengst (ton DS ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )	N-opbrengst (kg N ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> )	C:N-verhouding
Boigneville CT	Gele mosterd	1,22	37	13,0
Boigneville NT	Gele mosterd	0,92	29	12,5
Kerlavic	Italiaans raaigras	2,32	35	28,2
Thibie N	Bladrammenas	1,56	37	16,8
Thibie N-	Bladrammenas	1,47	34	17,2

### 4.3 EFFECT VAN DE WORTELONTWIKKELING OP DE STIKSTOFOPNAME

Hoewel meerdere soorten veggewassen in staat zijn de minerale bodemstikstof in hun wortelzone volledig op te nemen, zullen zij meer of minder stikstof opnemen uit het profiel omwille van de verschillen in bewortelingsdiepte. Die verschillen zijn het gevolg van enerzijds de lengte van de initiële lagfase en anderzijds de snelheid van de verticale wortelgroei. Er werden ook indicaties gevonden dat vroege wortelgroei gerelateerd is aan zaadgrootte; hoe groter het zaad, hoe korter de lagfase of hoe sneller de wortelgroei van start gaat (Thorup-Kristensen, 2001). De wortelgroeisnelheden bleken tevens vergelijkbaar voor soorten behorend tot eenzelfde botanische groep. Zo werden voor de monocotylen rogge, haver en Italiaans raaigras snelheden gevonden van 1,0 tot 1,2 mm dag<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>. Voor de kruisbloemigen koolzaad en bladrammenas was dit 2,0 tot 2,3 mm dag<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>. Voor bonte wikke werd een wortelgroeisnelheid gevonden van 0,9 mm dag<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>, wat overeenstemt met wat eerder gevonden werd voor erwten, ook een vlinderbloemige (Thorup-Kristensen, 1998). Ook resultaten uit de eerder vermelde veldproeven in Denemarken (zie deel 4.2) staven dit: de kruisbloemige bladrammenas ontwikkelde het diepste wortelstelsel, wat overeenkomt met de vaststelling dat bladrammenas de stikstof uit diepere bodemlagen in grotere mate weghaalt dan Engels raaigras en cichorei (Sapkota et al., 2012). De wortels van het Engels raaigras, een monocotyl, reikten in september het minst diep en hun lengte nam nadien, in tegenstelling tot die van cichorei en bladrammenas, niet meer significant toe (volgens de metingen in oktober).

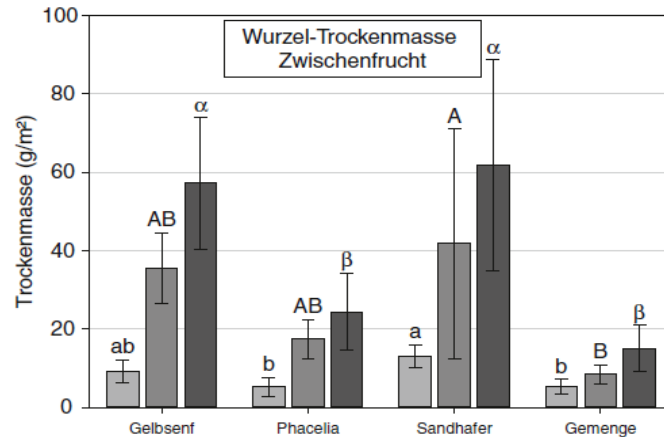
De wortelgroei zelf wordt voor elke soort afzonderlijk gedreven door de temperatuursom. Zo bereiken de wortels van wintertarwe door de extra groeiperiode in de herfst een diepte van 2,5 m terwijl in de lente gezaaide zomertarwe maar 1,5 m diep reikt (Figuur 22). Thorup-Kristensen et al. (2009) vonden kort na de oogst onder wintertarwe minder N<sub>min</sub> terug in het bodemprofiel dan onder zomertarwe na braak. Wintertarwe beschouwen als een echt veggewas is echter niet aangewezen omwille van de relatief beperkte gewasontwikkeling en N-opname in de herfst. Op zandige bodems kan de uitspoeling in het najaar immers dusdanig intens zijn dat N<sub>min</sub> ook voor de wortels van wintertarwe in het daaropvolgende voorjaar niet meer bereikbaar is en uitspoeling onherroepelijk is. Bij intensief bemeste bodems is het bovendien mogelijk dat de wortels zich in het voorjaar minder diep ontwikkelen of minder actief N opnemen uit diepere bodemlagen (o.a. Kuhlmann et al., 1989).



FIGUUR 22: BEWORTELINGSDIEPTE BIJ WINTERTARWE EN ZOMERTARWE IN RELATIE TOT DE TEMPERATUURSOM (THORUP-KRISTENSEN ET AL., 2009).

Naast de N-opnamefunctie van de wortels, maakt de wortelbiomassa ook deel uit van de totale N-opslagcapaciteit van het veggewas. In veel studies wordt de ondergrondse bijdrage aan droge stof en

dit ook aan stikstof niet in rekening gebracht. De absolute opbrengsten aan ondergrondse droge stof zijn afhankelijk van het soort vanggewas. Bij veldproeven in Duitsland (Brust et al., 2011) werden op 3 oogsttijdstippen voor gele mosterd, facelia, Japanse haver en een klover-wikke-boekweit-Gingellikruidmengsel verschillende ondergrondse drogestofopbrengsten opgemeten (Figuur 23).



**FIGUUR 23: ONDERGRONDSE DROGESTOFOPBRENGST GELE MOSTERD, FACELIA, JAPANESE HAVER EN EEN KLAVER-WIKKE-BOEKWEIT-GINGELLIKRUIDMENGSEL EN DIT OP 3 TIJDSTIPPEN (LICHTGRIJS/DONKERGRIJS/ZWART) (BRUST ET AL., 2011).**

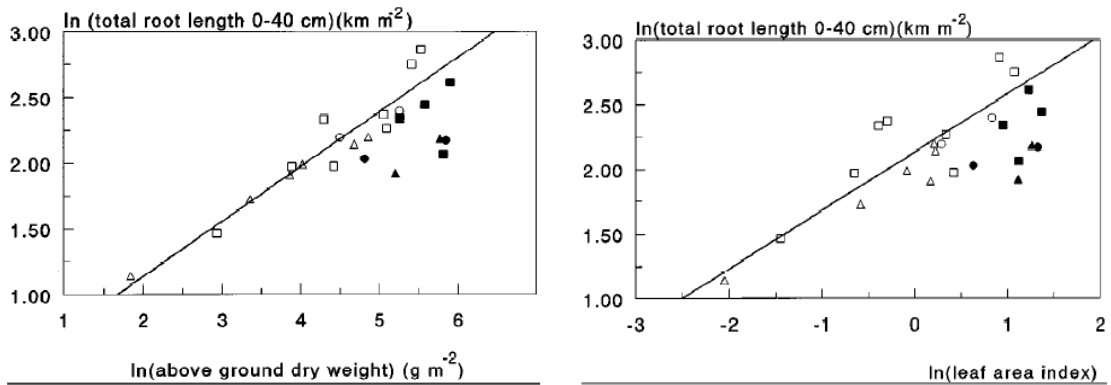
Vos et al. (1998) deden uitgebreid onderzoek naar de wortelontwikkeling van vanggewassen en testten aan de hand van hun proefopzet (zie ook deel 4.4) de volgende hypothesen:

1. De totale wortellengte staat in positieve relatie tot ofwel de bovengrondse drogestofopbrengst, ofwel de LAI (bladoppervlakte-index).
2. De wortellengtedichtheid neemt exponentieel af met de diepte.
3. Wortellengte en stikstofbeschikbaarheid in de bodem zijn negatief gerelateerd.
4. Eénzaadlobbige planten gedragen zich anders dan tweezaadlobbigen omwille van de verschillen in wortelontwikkeling.

De eerste hypothese werd bevestigd, maar enkel voor onbemeste vanggewassen. Voor de bemeste vanggewassen werden zeer lage  $r^2$ -waarden bekomen (Figuur 24). Er wordt vooral een sterke positieve relatie ( $r^2 = 0,90$ ) gevonden tussen de totale wortellengte (0-40 cm) en de bovengrondse drogestofopbrengst. Voor de LAI is dit minder uitgesproken ( $r^2 = 0,75$ ). De gevonden relaties zijn vergelijkbaar voor snijrogge, koolzaad en bladrammenas, wat onmiddellijk de vierde hypothese ontkracht. De totale wortellengte voor snijrogge was weliswaar beduidend groter dan voor koolzaad en bladrammenas.

Ook de derde hypothese wordt door de resultaten uit Figuur 24 eerder bevestigd, hoewel de spreiding in de gegevens te beperkt was om duidelijke uitspraken te kunnen doen. Voor eenzelfde bovengrondse drogestofopbrengst of LAI werden over een diepte van 0 tot 40 cm steeds lagere wortellengten gevonden voor de bemeste vanggewassen. Voor de bovenste bodemlaag (0-10 cm) werd echter het omgekeerde vastgesteld, wat erop wijst dat de wortelontwikkeling zich bij regelmatige bemesting meer concentreert aan de oppervlakte, waar  $N_{\min}$  overvloedig aanwezig is.

Tot slot werd ook de tweede hypothese aangetoond.



FIGUUR 24: RELATIE TUSSEN DE TOTALE WORTELENGTE TOT OP EEN DIEPTE VAN 40 CM ENERZIJD EN DE BOVENGRONDSE DROGESTOFOPBRENGST (LINKS) EN DE BLADOPPERVLAKTE-INDEX (RECHTS) ANDERZIJD. OPEN SYMBOLEN STELLEN DE ONBEMESTE BEHANDELINGEN VOOR, GEVULDE SYMBOLEN DE BEMESTE BEHANDELINGEN. VIERKANTJES, CIRKELTJES EN DRIEHOEKJES STAAN RESPECTIEVELIJK VOOR ROGGE, KOOLZAAD EN BLADRAMMENAS. DE REGRESSIERECHTEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE ONBEMESTE BEHANDELINGEN (VOS & VAN DER PUTTEN, 1998).

#### 4.4 EFFECT VAN HET ZAAITIJDS TIP OP DE STIKSTOFOPNAME

Het zaaitijdstip is een cruciale parameter voor de grootte van de stikstofopname van het vanggewas. Niet alleen wordt het totale groeiseizoen korter naarmate later wordt ingezaaid, maar ook de daglengte, de lichtintensiteit, de temperatuur en de grootte van het neerslagoverschot nemen toe. Herelixka et al. (2002) stellen dat de vanggewassen voor 1 september ingezaaid moeten worden om een voldoende hoge N-opname te realiseren en het stikstofresidu gevoelig te verlagen. Daarna wordt de ontwikkeling van een vanggewas vooral bepaald door de temperatuur en de straling. Dit zorgt voor een exponentieel verloop: de verschillen in drogestofopbrengst tussen midden en eind augustus zijn kleiner dan tussen eind augustus en midden september (Tabel 24).

De afname in N-opbrengsten blijkt echter niet evenredig te verlopen met de afname in drogestof. Het is duidelijk dat het N-gehalte van het vanggewas groter wordt naarmate het later ingezaaid wordt. Voor de niet-bemeste gele mosterd werd enkel een lagere N-opbrengst waargenomen voor de zaai van midden september. Dit wijst erop dat de N-opname minder sterk afhankelijk is van het zaaitijdstip dan de biomassaopbouw; wellicht omdat de opname grotendeels gestuurd wordt door een vochtgradiënt, terwijl bij de opbouw van biomassa (C-assimilatie) de hoeveelheid opgevangen zonne-energie doorslaggevend is.

TABEL 24: BIOMASSAPRODUCTIE EN N-OPNAME DOOR GELE MOSTERD VOOR VERSCHILLENDE ZAAITIJDS TIPpen EN BIJ VERSCHILLENDE N-BEMESTINGSNIVEAUS (NINANE ET AL., 1995; GOFFART ET AL., 1997).

Groenbemester	Zaaidatum	N-bemesting (kg N/ha)	Biomassaproductie (ton DS/ha)	N-opname (kg/ha)
Mosterd	17/08/1993	0	3,2	50
		80	5,5	115
	30/08/1993	0	2,4	53
		80	2,9	72
	13/09/1993	0	0,7	30
		80	1,3	51

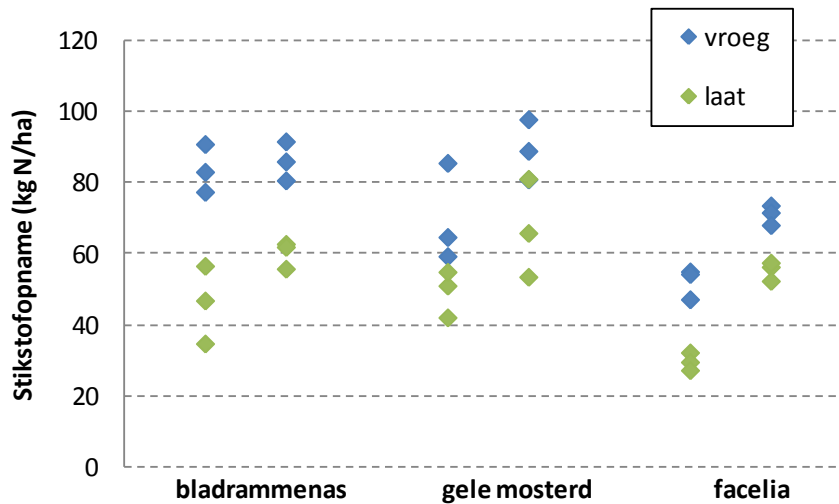
Vos (1992) bracht gegevens samen van meerdere empirische studies aangaande stikstofopname door vanggewassen. In die studies werden de verschillende vanggewassen ingezaaid op diverse tijdstippen; Vos vergeleek deze zaaitijdstippen en de respectievelijke bovengrondse stikstofopbrengsten. Indien

initieel minstens 100 kg ha<sup>-1</sup> minerale N aanwezig was, kon de bovengrondse stikstofopbrengst eind november tot begin december benaderd worden aan de hand van volgende vergelijking:

$$N_{opbrengst} = 522 - 1,8 * zaaidatum$$

met  $N_{opbrengst}$  de bovengrondse stikstofopbrengst in kg N ha<sup>-1</sup> en de zaaidatum uitgedrukt als dag van het kalenderjaar.

Voor bladrammenas, gele mosterd en facelia toonden Hermans et al. (2010) verschillen aan in de N-opname uit de bodem tussen een vroege en een late zaai (Figuur 25).



FIGUUR 25: STIKSTOFOPNAME (KG N HA<sup>-1</sup>) IN FUNCTIE VAN ZAAITIJDS TIP EN TYPE VANGGEWAS (HERMANS ET AL., 2010).

Bij opsplitsing in vroeg en laat ingezaaide vanggewassen (bladrammenas, snijrogge, ui en Soedangras) in Duitsland vonden Nett et al. (2011) dat de gemiddelde afname van  $N_{min}$  in de bodem onder vroeg ingezaaide vanggewassen significant verschillend was van 0 ( $20 \pm 7$  kg N ha<sup>-1</sup>,  $p = 0,010$ ), terwijl dat niet het geval was voor de afname onder laat ingezaaide vanggewassen ( $6 \pm 9$  kg N ha<sup>-1</sup>,  $p = 0,492$ ).

Vos & van der Putten (1997) toonden het belang aan van het zaaitijdstip door in Wageningen op zand op 3 verschillende tijdstippen vanggewassen in te zaaien; de eerste maal eind augustus, de tweede en derde maal respectievelijk 3 en 6 weken later. De proef werd 4 keer herhaald over een periode van 5 jaar (1991-1996), telkens met 2 vanggewassen. Snijrogge (*Secale cereale*) werd gecombineerd met ofwel koolzaad (*Brassica napus ssp. oleifera*), ofwel bladrammenas (*Raphanus sativus ssp. oleiferus*). Er werden 2 bemestingstrappen voorzien: zonder extra bemesting en met regelmatige toediening van kunstmest opdat geen stikstoftekort zou optreden. De drogestofopbrengst, de stikstofopbrengst en het stikstofgehalte in het vanggewas zijn weergegeven in Tabel 25.

Er is een grote spreiding die toe te schrijven is aan de jaarlijkse meteorologische verschillen en aan de verschillen tussen de 3 soorten vanggewassen. Desalniettemin tonen de resultaten in Tabel 25 aan dat er een sterke invloed is van het zaaitijdstip en de aan- of afwezigheid van de extra bemesting. Hoe later het zaaitijdstip, hoe kleiner de drogestof- en de stikstofopbrengst. De onevenredige afname tussen deze twee zorgt er echter voor dat het stikstofgehalte in de plant stijgt. De respons op de extra bemesting is positief voor alle parameters en voor elk zaaitijdstip, maar neemt zowel relatief als absoluut af naarmate het vanggewas later ingezaaid wordt. Een ander effect van de extra bemesting was dat op de bemeste percelen de spreiding over de jaren kleiner was dan op de niet-bemeste percelen. Dit omdat de extra bemesting de variatie in de natuurlijke beschikbaarheid van  $N_{min}$  tenietdoet.

TABEL 25: GEMIDDELDE EN UITERSTE DROGESTOF- EN STIKSTOFOPBRENGSTEN EN GEMIDDELD STIKSTOFGEHALTE OPGEMETEN TUSSEN 4 EN 15 DECEMBER GEDURENDE 4 PROEFJAREN. DE BETROKKEN VANGGEWASSEN WAREN ROGGE, KOOLZAAD EN BLADRAMMENAS, INGEZAAID OP DRIE ZAAITIJDSIPPEN (S1, S2 EN S3) EN MET (N1) EN ZONDER (N0) TOEDIENING VAN KUNSTMEST (VOS & VAN DER PUTTEN, 1997).

N-bemesting	Zaaidatum	Drogestofopbrengst (kg DS ha <sup>-1</sup> )			Stikstofopbrengst (kg N ha <sup>-1</sup> )			Gem. N-conc. (%)
		gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	
N0	S1	2580	520	4170	57,4	15,4	104,5	2,2
N0	S2	1310	150	2480	42,0	6,7	94,6	3,2
N0	S3	280	50	780	10,7	2,9	35,4	3,8
N1	S1	4000	2810	4940	141,3	113,7	183,2	3,5
N1	S2	2280	530	3500	89,6	28,9	133,6	3,9
N1	S3	380	120	900	15,8	5,7	44,5	4,2

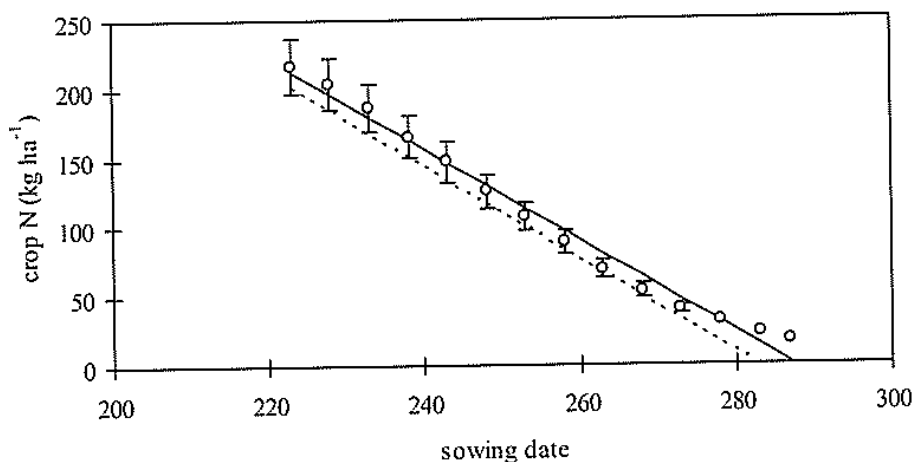
Om het effect van het zaaitijdstip op de groei en stikstofopname te verklaren werd door Vos & van der Putten (1997) onderzoek gevoerd naar morfologische parameters gerelateerd aan de fotosynthese. Zo bleek de bladoppervlakte-index LAI (*leaf area index*) zowel voor zaaitijdstip 1 als 2 snel toe te nemen; voor het 1<sup>e</sup> zaaitijdstip bereikte de LAI maxima tussen 4 en 6 om in oktober en november sterk af te nemen door bladsenescentie. Voor het 2<sup>e</sup> zaaitijdstip lag de maximale LAI tussen 2,5 en 4, maar bleef deze min of meer stabiel tot december. Voor het 3<sup>e</sup> zaaitijdstip bleef de LAI zachtjes stijgen tot in december, waarbij waarden bereikt werden net boven de 1.

Naar analogie met Vos (1992) toonden Vos & van der Putten (1997) een lineair verband aan tussen de maximale bovengrondse stikstofopbrengst en de zaaidatum voor de bemeste vanggewassen uit hun onderzoek (1991-1996):

$$N_{opbrengst} = 960 - 3,4 * zaaidatum$$

met  $N_{opbrengst}$  de bovengrondse stikstofopbrengst in kg N ha<sup>-1</sup> en de zaaidatum uitgedrukt als dag van het kalenderjaar.

Van Dam (2006) toonde via simulaties een vergelijkbare relatie aan tussen het zaaitijdstip en de gemiddelde N-opbrengst van snijrogge over 30 jaar (Figuur 26).



FIGUUR 26: GESIMULEERDE TOTALE N-OPBRENGST VOOR SNIJROGGE OP 19 NOVEMBER IN FUNCTIE VAN HET ZAAITIJDS TIP BIJ EEN NIET-LIMITERENDE N-BESCHIKBAARHEID. GEMIDDELDEN EN STANDAARDAFWIJKINGEN VOOR DE PERIODE 1970-1999 ZIJN WEERGEGEVEN. DE LINEAIRE REGRESSIERECHE (VOLLE LIJN) IS WEERGEGEVEN NAAST DE RELATIE VAN VOS & VAN DER PUTTEN (STIPPELLIJN) (1997).



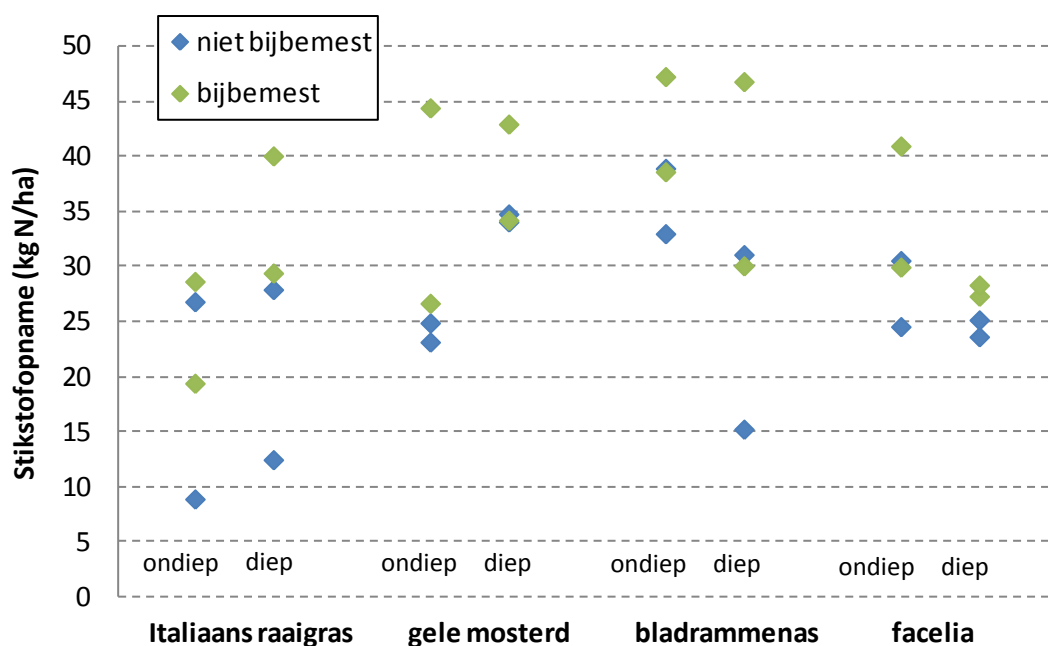
## 4.5 EFFECT VAN BEMESTING OP DE STIKSTOFOPNAME

De stikstofopname is uiteraard ook functie van de hoeveelheid stikstof die wordt aangeboden. Het bemesten van vanggewassen heeft vooral een primair effect op de wortelontwikkeling (zie deel 0) en daardoor eveneens op de gewasgroei en stikstofopname.

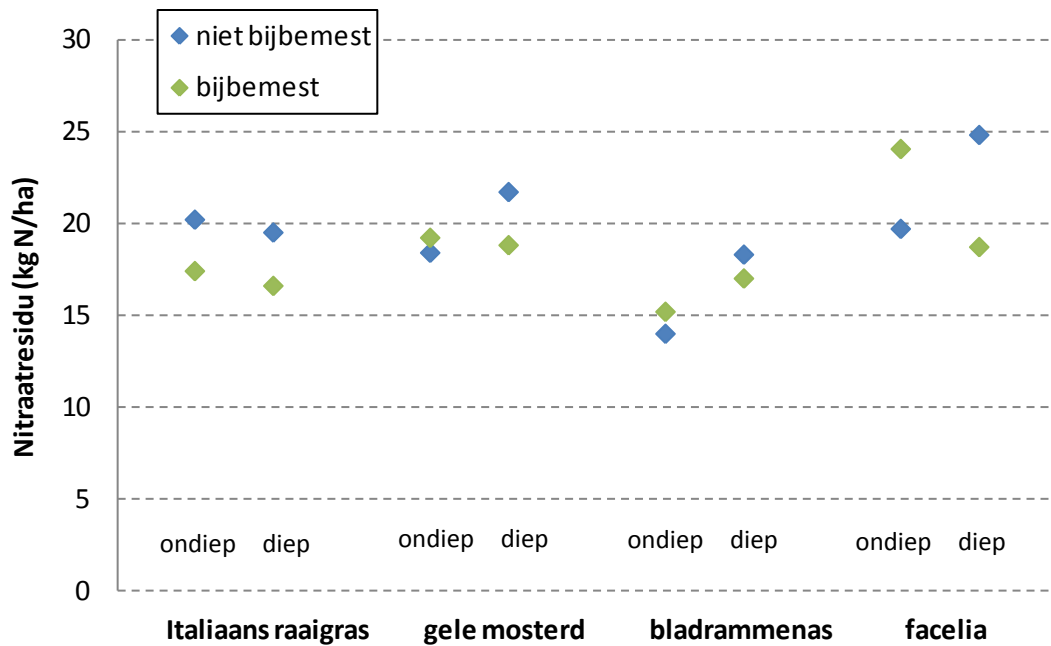
Voor de teelt van een vanggewas in een stikstofarme stoppel, zoals een graanstoppel of een stoppel van een graszaadoogst, kan een startgift bijzonder nuttig zijn. Hermans et al. (2010) toonden aan dat vanggewassen die een aanvullende bemesting genoten stelselmatig meer stikstof opnamen dan diegene die geen extra nutriënten toegediend kregen (Figuur 27).

In de context van de N-dynamiek is het bemesten van vanggewassen echter enkel efficiënt indien dit leidt tot een extra opname aan minerale stikstof die reeds aanwezig is in de bodem of vrijgesteld wordt uit oogstresten of uit de bodemorganische stof. De extra opname door het bemeste vanggewas moet dus groter zijn dan de toegediende hoeveelheid snel vrijkomende minerale stikstof. Het is dan ook aannemelijk dat de hoeveelheid toegediende mest een doorslaggevende factor zal zijn in het bepalen van de efficiëntie van de bemesting.

Hermans et al. (2010) volgden het  $N_{\min}$ -gehalte in de bodem op in het najaar (Figuur 28): er werden slechts kleine negatieve of positieve verschillen waargenomen tussen wel en niet bemeste vanggewassen. Er werd wel een beperkte invloed vastgesteld van de bodembewerking: de efficiëntie van de bemesting op gele mosterd, bladrammenas en facelia was iets groter bij een diepe dan bij een ondiepe bodembewerking, vermoedelijk door een betere wortelgroei.



FIGUUR 27: STIKSTOFOPNAME ( $\text{KG N HA}^{-1}$ ) IN FUNCTIE VAN AANVULLENDE BEMESTING, GRONDBEWERKING EN GEWASTYPE (HERMANS ET AL., 2010).



FIGUUR 28: NITRAAT-N-RESIDU (KG N HA<sup>-1</sup>) IN DE BODEM (0-90 CM) IN FUNCTIE VAN EEN AL DAN NIET AANVULLENDE BEMESTING, HET TYPE GRONDBEWERKING EN HET SOORT VANGGEWAS (HERMANS ET AL., 2010).

Ninane et al. (1995) stelden dat een stikstofbemesting noodzakelijk is om een goede ontwikkeling van niet-vlinderbloemige vanggewassen te verzekeren. Met proefveldresultaten toonden Ninane et al. (1995) aan dat vanggewassen met een stikstofbemesting meer bodemstikstof opnemen dan zonder stikstofbemesting (Tabel 26). De resultaten wijzen erop dat de efficiëntie van de bemesting sterk afhankelijk is van jaar tot jaar: een bemesting van 80 kg minerale N ha<sup>-1</sup> bleek enkel efficiënt voor mosterd en raaigras in 1992. Uit onderzoek naar de herkomst van de stikstof opgenomen door vanggewassen bleek dat bij bemesting wel steeds meer N werd opgenomen uit de bodem, maar dat de bemestingsdosis zelf niet altijd voldoende werd opgenomen om van een efficiënte bemesting te kunnen spreken (Tabel 27).

TABEL 26: BIOMASSAPRODUCTIE EN N-OPNAME VOOR VERSCHILLENDE VANGGEWASSEN VOOR VERSCHILLENDE ZAAITIJDSSTIPPEN EN BIJ VERSCHILLENDE N-BEMESTINGSNIVEAUS (NINANE ET AL., 1995).

Groenbemester	Zaaidatum	N-bemesting (kg N/ha)	Biomassaproductie (ton DS/ha)	N-opname (kg/ha)
Mosterd	13/08/1990	60	5,8	100
		120	6,6	127
Raaigras	27/07/1990	60	6,4	143
		120	6,2	164
Mosterd	29/08/1991	0	3,5	71
		80	5	125
Raaigras	6/08/1991	0	6	50
		80	6,8	108
Facelia	6/08/1991	0	3,5	49
		80	5,8	122
Gele mosterd	27/08/1992	0	3,4	73
		80	6,9	178
Raaigras	29/07/1992	0	4,5	72
		80	8,8	169
Facelia	29/07/1992	0	5,9	86
		80	8,3	155
Wikke	29/07/1992	0	4,6	176
Mosterd	17/08/1993	0	3,2	50
		80	5,5	115
	30/08/1993	0	2,4	53
		80	2,9	72
		0	0,7	30
13/09/1993	80	1,3	51	

TABEL 27: HERKOMST VAN DE STIKSTOF OPGENOMEN DOOR DE VANGGEWASSEN (NAAR NINANE ET AL., 1995).

Vanggewas	Zaaidatum	Bemesting (kg N ha <sup>-1</sup> )	N-opname (kg N ha <sup>-1</sup> )	N opgenomen uit bodem (kg N ha <sup>-1</sup> )	N opgenomen via bemesting (kg N ha <sup>-1</sup> )
Gele mosterd	27/08/1992	0	73	73	0
		80	178	117	61
Facelia	29/07/1992	0	86	86	0
		80	155	107	48
Mosterd	17/08/1993	0	50	50	0
		80	115	76	39

In het in deel 4.4 aangehaalde experiment van Vos & van der Putten (1997) werd voor alle zaaitijdstippen een toename van de stikstofopbrengst vastgesteld bij een overvloedige bemesting (N1 t.o.v. N0, Tabel 25). Toch is deze bemesting in geen enkel geval efficiënt te noemen: voor de drie zaaitijdstippen (S1, S2 en S3, Tabel 25) werden respectievelijk 140, 119 en 93 kg N ha<sup>-1</sup> toegediend onder minerale vorm, terwijl dit slechts een extra N-opname opleverde van respectievelijk 84, 48 en 5 kg N ha<sup>-1</sup> ofwel 60, 40 en 5% van de toegediende hoeveelheid. Hoe vroeger het zaaitijdstip, hoe groter dus de efficiëntie, maar nergens wordt de toegediende hoeveelheid volledig opgenomen. Een dergelijke hoge bemestingsdosis is dus zeker niet interessant. Er dient wel opgemerkt te worden dat van de ondergrondse plantendelen enkel de eerste 10 cm bemonsterd werd, waardoor een deel van

de N-opbrengst niet in rekening gebracht werd. Bij vroege zaai ontwikkelt het wortelgestel zich immers tot op grotere diepte.

In Wallonië werd dan weer aangetoond dat het bemesten van vanggewassen wél efficiënt kan zijn. Destain et al. (2010) bundelden de resultaten van onderzoek uitgevoerd sinds 1990 aan het CRA-W (Centre Wallon de Recherches Agronomiques). Er werd een significante toename gevonden in de drogestofopbrengst van het vanggewas eind november bij het toedienen van 80 kg N ha<sup>-1</sup> minerale meststof (Tabel 28). Ninane et al. (1995) vonden bovendien dat in de biomassa van bemeste vanggewassen hogere N-gehaltenes teruggevonden werden (Tabel 29). Als de gemiddelde drogestofopbrengsten uit Tabel 28 hiermee worden vermenigvuldigd, ligt de N-opbrengst voor gele mosterd bij bemesting tot 100 kg ha<sup>-1</sup> hoger en compenseert daarmee ruimschoots de extra toegediende stikstof. Er wordt dus 20 kg N ha<sup>-1</sup> extra opgenomen uit de bodem indien gele mosterd met 80 kg N ha<sup>-1</sup> bemest wordt. Tabel 29 toont tevens aan dat de niet-bemeste gele mosterdplanten een veel hogere C:N-verhouding en hogere lignine- en cellulosegehaltenes hebben. Dit zal zeker een impact hebben op de afbraak van de gewasresten in de winter en op de mineralisatie na onderwerken in het voorjaar (zie deel 5).

**TABEL 28: DROGESTOF- EN STIKSTOFOPBRENGST (BOVENGRONDS + ONDERGRONDS) VAN WIKKE, GELE MOSTERD, FACELIA, RAAIGRAS, ROGGE EN WINTERTARWE EN N<sub>MIN</sub>-AFNAME IN DE BODEM (0-150 CM). RESULTATEN VAN BEMESTE BEHANDELINGEN (80 KG N<sub>MIN</sub> HA<sup>-1</sup>) ZIJN APART WEERGEGEVEN (80N). RESULTATEN VAN DE 2<sup>E</sup> HELFT VAN NOVEMBER UIT VERSCHILLENDE VELDPROEVEN UITGEVOERD TUSSEN 1990 EN 2007 (DESTAIN ET AL., 2010).**

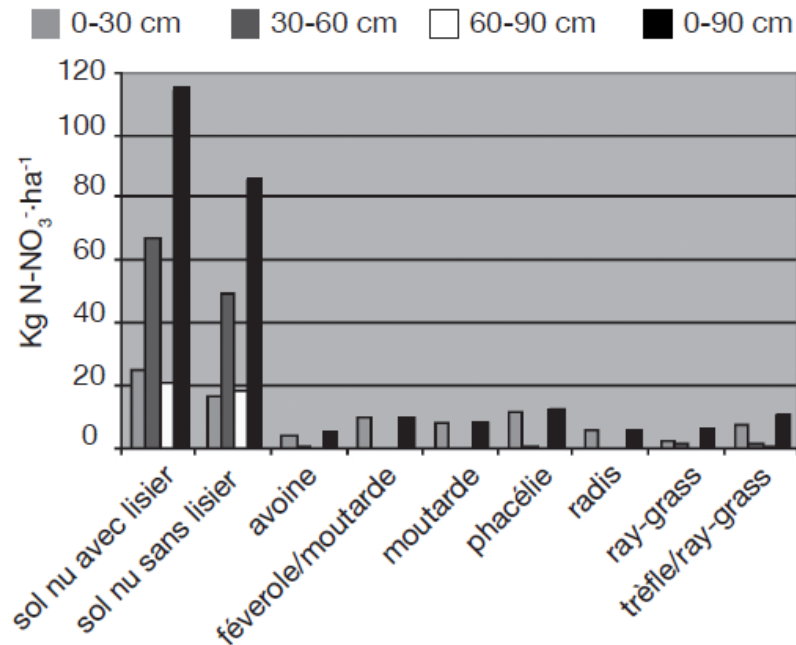
Behandeling	Opbrengst (t DS ha <sup>-1</sup> )	N-opbrengst (kg N ha <sup>-1</sup> )	Afname N <sub>min</sub> -gehalte in profiel (kg N ha <sup>-1</sup> )
wikke	4,5 ± 0,4	125	60
gele mosterd	3,2 ± 0,4	50 - 170	88 - 114
gele mosterd 80N	6,9 ± 0,5	-	-
facelia	3,5 ± 0,5	50 - 150	78 - 106
facelia 80N	8,3 ± 0,5	-	-
raaigras	4,5 ± 0,4	70 - 170	56 - 73
raaigras 80N	8,8 ± 0,3	-	-
rogge	-	-	94
wintertarwe	-	-	35 - 40

**TABEL 29: CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN GELE MOSTERD MET EN ZONDER BEMESTING. RESULTATEN VAN DE 2<sup>E</sup> HELFT VAN NOVEMBER (NINANE ET AL., 1995).**

Behandeling	N-gehalte (%/DS)	C:N-verhouding	Lignine (%/DS)	Cellulose (%/DS)
0 kg N ha <sup>-1</sup>	2,03	18,9	3,0	23,8
80 kg N ha <sup>-1</sup>	2,39	7,8	1,7	7,1

Een ander Waals experiment (De Toffoli, 2010) werd uitgevoerd in 2003 na de oogst van wintergerst. Op 21 augustus, bijna 6 weken na de oogst, werd per hectare 40 m<sup>3</sup> mengmest uitgevoerd op de stoppel. Op dat moment was het N<sub>min</sub>-gehalte van de bodem (0-90 cm) 48 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>. De daaropvolgende dag werden haver, een mengsel van gele mosterd en tuinboon, gele mosterd, facelia, bladrammenas, raaigras en een grasklavermengsel ingezaaid. Figuur 29 geeft aan dat er duidelijk sprake is van opname door alle vanggewassen. Hoewel de efficiëntie van de bemesting hier niet bepaald kan worden (er is maar één bemestingstrap op de vanggewassen), ligt die wellicht hoog; zelfs in vergelijking met de niet-bemeste braakbehandeling (*sol nu sans lisier*) worden onder vanggewassen zeer beperkte hoeveelheden minerale bodemstikstof teruggevonden. De minerale N bevindt zich onder vanggewassen voornamelijk in de bovenste laag (0-30 cm) maar bij de braakbehandeling in de

middelste laag (30-60 cm), wellicht door neerwaartse migratie na mineralisatie uit de organische stof en - althans voor de bemeste braakbehandeling - uit de mest. De verschillen in het  $N_{\min}$ -gehalte tussen de braakbehandeling met en zonder toediening van mengmest zijn echter opvallend klein; dit kan toe te schrijven zijn aan een laag N-gehalte van de mest (niet gekend) maar ook aan immobilisatie door de stoppel (zie deel 8).



FIGUUR 29: MINERAAL N-GEHALTE IN BODEMS EIND NOVEMBER, MET EN ZONDER INZAAI VAN VANGGEWASSEN NA TOEDIENING VAN ORGANISCHE MEST OP DE STOPPEL VAN WINTERGERST (DE TOFFOLI ET AL., 2010).

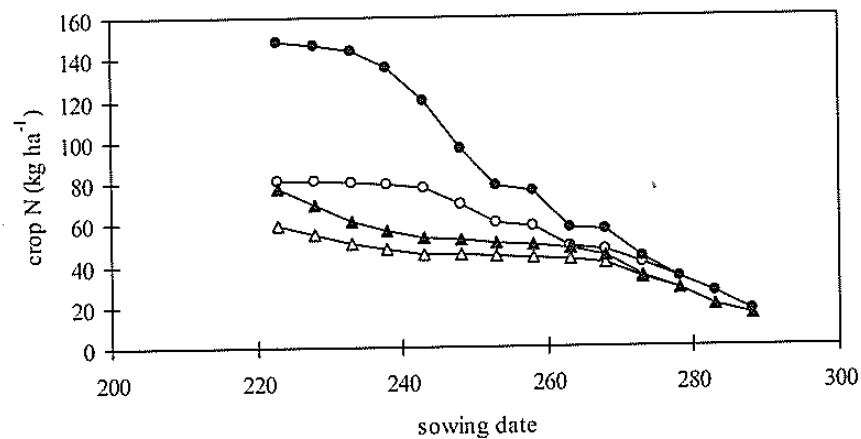
Andere proeven hebben aangetoond dat het uitvoeren van een bemesting op vanggewassen een nuloperatie kan zijn voor het  $N_{\min}$ -gehalte in de bodem. Vos & van der Putten (2001) zaaiden snijrogge (*Secale cereale*) en koolzaad (*Brassica napus ssp. oleifera*) in op 19 augustus en 9 september. Er werd ook een braakperceel voorzien. Telkens werden 2 bemestingstrappen toegepast: 20 kg N ha<sup>-1</sup> en 70 kg N ha<sup>-1</sup> onder minerale vorm. Na de winter (16 maart) werden geen significante verschillen gevonden tussen de concentraties aan  $N_{\min}$  in de bodem (0-90 cm) onder de verschillende behandelingen. De gemiddelde concentratie bedroeg 43 kg N ha<sup>-1</sup>. Dit wijst erop dat de hoeveelheid stikstof die verloren ging uit de braakpercelen minstens zo groot was als de hoeveelheid opgenomen door de vanggewassen. De maximale hoeveelheid N die teruggevonden werd in de vanggewassen tussen november en maart, varieerde van 40 tot 138 kg N ha<sup>-1</sup>. Dit omvat de volledige bovengrondse delen en de ondergrondse delen tot 10 cm diep. Met deze cijfers kan bepaald worden dat de netto-opname van N uit de bodemorganische stof en oogstresten voor alle behandelingen kleiner is bij een bemesting van 70 kg N ha<sup>-1</sup> dan bij een bemesting van 20 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabel 30). Een lagere bemesting is hier dus efficiënter. Opnieuw komt hier de invloed van het zaaitijdstip duidelijk naar voren.

TABEL 30: N-OPBRENGST EN NETTO-OPNAME VAN N UIT DE BODEM VOOR ROGGE EN KOOLZAAD, INGEZAAID OP TWEE ZAAITIJDSSTIPPEN EN BEMEST MET TWEE VERSCHILLENDE BEMESTINGSDOSISSEN (VOS & VAN DER PUTTEN, 2001).

Vanggewas	Zaaitijdstip	N-bemesting (kg N ha <sup>-1</sup> )	N-opbrengst (kg N ha <sup>-1</sup> )	Netto-opname van N uit de bodem (kg N ha <sup>-1</sup> )
rogge	19 augustus	20	81	61
rogge	19 augustus	70	123	53
rogge	9 september	20	60	40
rogge	9 september	70	85	15
koolzaad	19 augustus	20	95	75

Vanggewas	Zaaitijdstip	N-bemesting (kg N ha <sup>-1</sup> )	N-opbrengst (kg N ha <sup>-1</sup> )	Netto-opname van N uit de bodem (kg N ha <sup>-1</sup> )
koolzaad	19 augustus	70	138	68
koolzaad	9 september	20	42	22
koolzaad	9 september	70	52	-18

Ook van Dam (2006) toonde a.d.h.v. simulaties aan dat het effect van de bemesting sterk afhangt van het zaaitijdstip en de weersomstandigheden. De gesimuleerde opname bij een initieel  $N_{\min}$ -gehalte van 150 kg N ha<sup>-1</sup> was enkel voldoende groot om uitspoeling te voorkomen bij vroege zaai in het jaar 1991 (Figuur 30). Bij latere zaai of bij natte weersomstandigheden (jaar 1992) daalde de opname aanzienlijk. Bij een initieel  $N_{\min}$ -gehalte van 50 kg N ha<sup>-1</sup> was de invloed van zaaitijdstip en weersomstandigheden minder groot.



FIGUUR 30: GESIMULEERDE TOTALE N-OPNAME OP 19 NOVEMBER NA INZAAI OP VERSCHILLENDE INZAAIDATA IN 1991 (BOLLETJES) EN 1992 (DRIEHOEKJES), BIJ EEN INITIEEL  $N_{\min}$ -GEHALTE VAN 50 (OPEN SYMBOLEN) OF 150 (GESLOTEN SYMBOLEN) KG N HA<sup>-1</sup> (VAN DAM, 2006).

Op basis van verschillende onderzoeken werden dus erg verschillende resultaten bekomen. Zowel de niet-efficiënte als efficiënte benutting van een N-bemesting door vanggewassen werd aangetoond. De efficiëntie van kleinere dosissen lijkt groter dan voor grotere dosissen. Het is eveneens duidelijk dat een combinatie van factoren (met name het zaaitijdstip en de weersomstandigheden) mee bepaalt of een bemesting van het vanggewas al dan niet efficiënt kan zijn.

## 5 MINERALISATIE VAN VANGGEWASSEN NA INWERKEN IN DE BODEM

### 5.1 AFBRAAK VAN VANGGEWASSEN

Na het afvriezen en/of onderwerken van de vanggewassen komt de afbraak op gang. Bij de afbraak of de mineralisatie van dit organisch materiaal worden de in het najaar vastgelegde minerale elementen, waaronder stikstof, terug vrijgesteld. Het deel van het organisch materiaal dat niet onmiddellijk afgebroken wordt, draagt bij tot de opbouw van de bodemorganische stof.

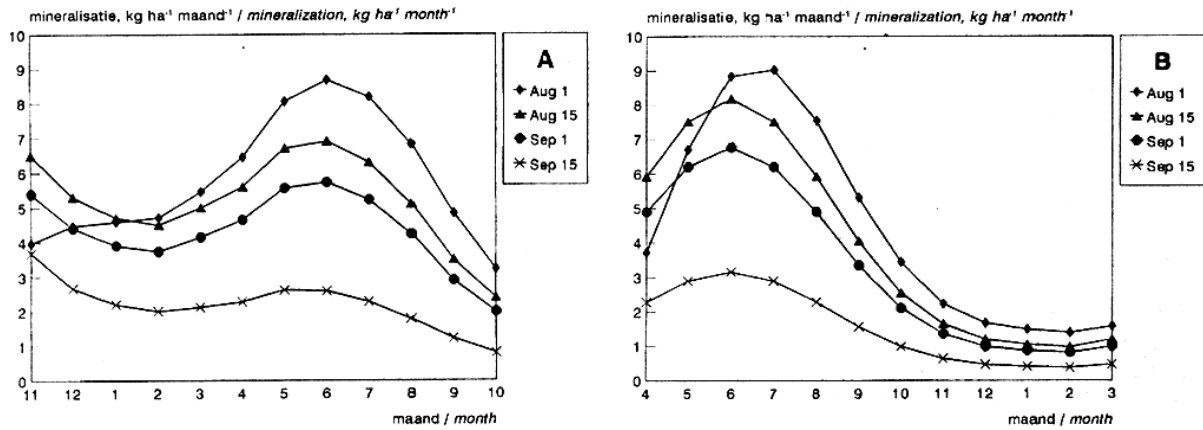
### 5.2 STIKSTOFMINERALISATIE

Bij de stikstofvrijstelling zijn zowel de hoeveelheid stikstof die wordt vrijgesteld als het tijdstip van vrijstelling van belang. Beide variëren in functie van:

- het tijdstip van onderwerken en/of afvriezen van het vanggewas
- de temperatuur en het vochtgehalte van de bodem
- het type en de samenstelling van het vanggewas

Het tijdstip van onderwerken, eventueel nadat het vanggewas door negatieve temperaturen is afgevroren, is afhankelijk van de volgteelt en de grondsoort. Op zwaardere gronden wordt een vanggewas doorgaans reeds in het najaar ondergeploegd omwille van structuurvoordelen. Op de lichtere gronden wordt pas in het voorjaar geploegd en blijven de vanggewassen gedurende de hele winter op het veld staan. Sommige landbouwers kiezen ervoor de bovengrondse biomassa te oogsten kort voor of na de winter en gebruiken deze als veevoeder, andere werken het vanggewas volledig in. Het moment van inwerken van het vanggewas is cruciaal voor de situatie in het voorjaar. Idealiter wordt door mineralisatie van het ingewerkte vanggewas een hoeveelheid  $N_{\min}$  vrijgesteld die in grote mate wordt opgenomen door het ontwikkelende volggewas. Indien het vanggewas te vroeg wordt ingewerkt, kan door mineralisatie een te grote hoeveelheid stikstof vrijgesteld worden, waardoor het risico op uitspoeling ontstaat. Indien het vanggewas te laat wordt ingewerkt, wordt de stikstof uit het vanggewas niet tijdig vrijgesteld om door het volggewas te worden opgenomen. Bovendien kan zelfs competitie ontstaan rond de opname van water en nutriënten, hetgeen zeker het geval is bij doorzaai van de volgteelt in het vanggewas. Weliswaar spelen de weersomstandigheden een doorslaggevende rol bij het bepalen van het ideale tijdstip van inwerken. Indien het voorjaar warm en vochtig is, zal de mineralisatie intens zijn en het gevaar op uitspoeling bovendien groot. In zulke omstandigheden wordt het vanggewas dus beter wat later ingewerkt. In een koud en droog voorjaar is het omgekeerde het geval.

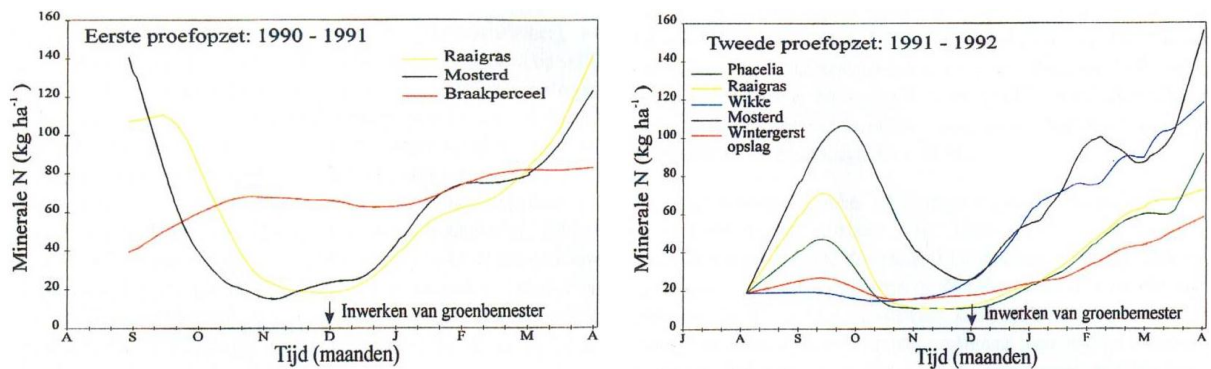
Velthof et al. (1998) simuleerden met het model MINIP de maandelijkse stikstofmineralisatie in functie van het tijdstip van onderwerken van raaigras (Figuur 31). Deze figuur duidt op het verschil in tijdstip van stikstofvrijstelling in functie van de weersomstandigheden, namelijk de temperatuur en het vochtgehalte van de bodem. Bij het onderwerken in het najaar wordt uiteraard vroeger N vrijgesteld. Echter tijdens de koude wintermaanden (december-maart) neemt de mineralisatie van het vanggewas af. Onder de steeds gunstiger wordende omstandigheden tijdens het voorjaar neemt de mineralisatie toe. In de periode mei-juli wordt het meeste stikstof gemineraliseerd. De mineralisatie van het raaigras ondergewerkt in het voorjaar komt veel vlugger op gang en bereikt de piek in vrijgave veel sneller na het onderwerken maar op hetzelfde moment als het raaigras ondergewerkt in het najaar.



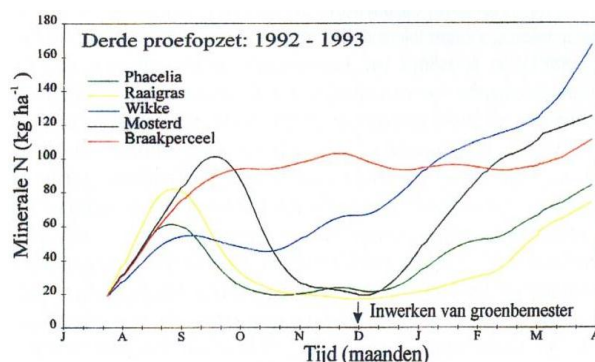
FIGUUR 31: STIKSTOFMINERALISATIE PER MAAND NA ONDERWERKEN VAN RAAIGRAS OP 31 OKTOBER (A) EN 31 MAART (B). HET RAAIGRAS WERD GEZAAD OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN: 1 AUGUSTUS, 15 AUGUSTUS, 1 SEPTEMBER EN 15 SEPTEMBER. (VELTHOF ET AL., 1998).

Het tijdstip van de N-vrijstelling uit ingewerkte vanggewassen bepaalt mee de N-balans. In een proefopzet van Nett et al. (2011) had Soedangras (*Sorghum sudanense Stapf*) van 4 verschillende vanggewassen de grootste bovengrondse N-opbrengst, maar toch bleek dit geen significant effect te hebben op de N-balans. Het Soedangras werd echter, in tegenstelling tot de andere vanggewassen, niet in het voorjaar maar in het najaar ingewerkt. Een deel van de stikstof in het Soedangras werd dus gemineraliseerd in de winter en spoelde uit vooraleer het volggewas het kon opnemen. Langdurige immobilisatie was niet aannemelijk gezien de betrekkelijk lage C:N-verhouding (19 tot 26). Verscheidene studies hebben aangetoond dat de mineralisatie uit ondergewerkte plantenresten kan blijven doorgaan bij lage temperaturen, zelfs tot onder het vriespunt door de relatief hoge zoutconcentraties in het bodemvocht. Van Schöll et al. (1997) vonden in een incubatieproef met roggescheuten dat na 10 weken bij 1°C 20% van de organische stikstof was gemineraliseerd en bij 15°C 39%.

Eenmaal het vanggewas ingewerkt is, is het tijdstip waarop de minerale stikstof ter beschikking komt zeker niet alleen afhankelijk van de weersomstandigheden, maar ook van de samenstelling van het vanggewas zelf. Dit toonden Ninane et al. (1995) aan door de evolutie van de minerale stikstof in een leembodem onder diverse vanggewassen op te volgen. Tijdens de drie proefjaren nam het minerale stikstofgehalte in de bodem na het onderwerken van de gele mosterd onmiddellijk toe. Bij raaigras en facelia kwam deze toename langzamer op gang. In het eerste proefjaar (1990-1991) steeg ook na het onderwerken van raaigras het minerale stikstofgehalte van de bodem snel (Figuur 32).







FIGUUR 32: EVOLUTIE VAN DE MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM (NINANE ET AL., 1995).

Vanggewassen met een lage C:N-verhouding zoals mosterd en wikke toonden een snellere stikstofvrijgave dan het raaigras en de facelia welke een hogere C:N-verhouding vertoonden (Figuur 32 en Tabel 31). De C:N-verhouding is echter niet alleen soortafhankelijk, maar kan ook beïnvloed worden door het zaaitijdstip, de groeiomstandigheden en de blootstelling aan vorst (Justes et al., 2009).

TABEL 31: CHEMISCHE KARAKTERISTIEKEN EN MINERALISATIEGRAAD VAN VANGGEWASSEN BIJ DE OOGST VAN DE VOLGTEELT SUIKERBIETEN (NAAR GEYPENS & HONNAY, 1995).

Vanggewas	Teeltjaar	Stikstof (% D.S.)	C/N	Lignine (% D.S.)	Cellulose (% D.S.)	Mineralisatiegraad* (% van de ingewerkte N-biomassa)
Mosterd	91	2,24	13,1	3,4	15,8	56
Raaigras	91	1,70	23,0	2,3	17,2	24
Facelia	91	1,44	23,2	5,4	19,5	28
Mosterd	92	2,82	13,3	-	-	57
Raaigras	92	1,76	25,0	2,6	21,3	22
Facelia	92	1,85	21,0	6,3	26,5	18
Mosterd 1**	93	2,03	18,9	3,0	23,8	45
Mosterd 3***	93	2,39	7,8	1,7	7,1	57

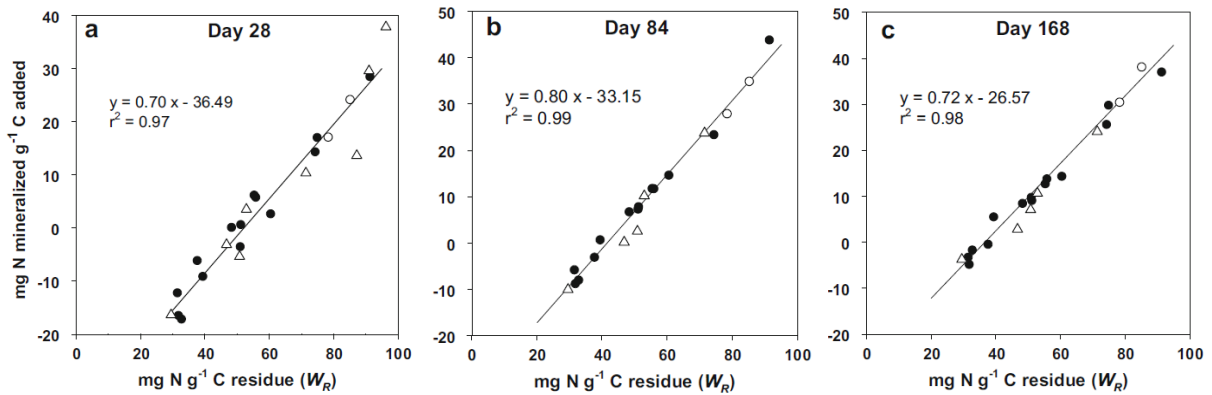
\*Mineralisatiegraad = percentage van de ingewerkte organische stikstof uit vanggewassen die reeds gemineraliseerd is bij de oogst van de suikerbieten als volgteelt

\*\*Mosterd 1 werd gezaaid op 17/08/93

\*\*\*Mosterd 3 werd gezaaid op 13/09/93

De afbreekbaarheid van het plantenmateriaal bepaalt dus in grote mate de mineralisatiesnelheid. De beter afbreekbare componenten worden eerst afgebroken, waardoor de mineralisatiesnelheid hoog ligt; daarna daalt deze naarmate de afbreekbaarheid van het resterend materiaal afneemt. Vigil en Kissel (1991) vonden dat 75% van de variabiliteit in de hoeveelheid N gemineraliseerd uit 8 verschillende materialen verklaard kon worden door de C:N-verhouding alleen. De C:N-verhouding en het ligninegehalte samen verklaarden 80% van de variabiliteit. Thorup-Kristensen (1994) vond een significante correlatie tussen de gemineraliseerde hoeveelheid N en de hoeveelheid  $\text{NO}_3\text{-N}$ , organische N en C in het plantenmateriaal, maar niet voor het ligninegehalte en het gehalte aan polyfenolen. Bladrijke vanggewassen zullen dus sneller verteren. Wanneer deze reeds in het najaar worden ondergewerkt of vroegtijdig afvriezen, zal de stikstof vroeg vrij komen en mogelijk deels verloren gaan door uitspoeling of denitrificatie en minder kunnen benut worden door de volgteelt. Teelten die langzamer verteren omwille van een hoger droge stofgehalte en wat meer verhout zijn (hogere C:N-verhouding) kunnen mogelijk meer stikstof leveren aan het volggewas. Een gedeelte van de stikstof uit vanggewassen kan echter ook zo laat vrijkomen dat het negatieve effecten heeft op de kwaliteit van het volggewas (bijvoorbeeld suikerbieten) of dat het niet meer kan opgenomen worden door het volggewas.

In Frans onderzoek (Justes et al., 2009) werd vastgesteld dat de variabiliteit in stikstofmineralisatie tussen verschillende vanggewassen veel groter is dan de variabiliteit in koolstofmineralisatie. Er werden sterke correlaties gevonden met het totale stikstof- en totale organische stikstofgehalte en - opnieuw - met de C:N- en organische C:N-verhouding van het vanggewas (Figuur 33).



**FIGUUR 33: HOEVEELHEID GEMINERALISEERDE STIKSTOF (N) PER TOEGEVOEGDE HOEVEELHEID KOOLSTOF (C) VERSUS DE ORGANISCHE N:C-VERHOUDING; RESULTATEN UIT EEN INCUBATIEPROEF: STAALNEMINGEN 28 (A), 84 (B) EN 168 DAGEN (C) NA OPSTART (JUSTES ET AL., 2009).**

De hoeveelheid stikstof die wordt vrijgesteld is in hoofdzaak functie van het type gewas en de ontwikkeling van het gewas. Het effect van type vanggewas en tijdstip van inwerken werd opgenomen in de vuistregel voor stikstofnawerking van vanggewassen vermeld door van Leeuwen-Haagsma en Schröder (2002). Nett et al. (2011) onderzochten de mineralisatie van de bovengrondse en ondergrondse delen van snijrogge, dat tot de grasachtige vanggewassen behoort. In hun labo-incubatieproef bij 15°C was respectievelijk 39% en 35% van de N gemineraliseerd na 10 weken, in een vergelijkbare incubatieproef uitgevoerd in het veld werd respectievelijk 36% en 29% omgezet tot minerale N.

**TABEL 32: VUISTREGEL VOOR N-AWERKING VAN VANGGEWASSEN (VAN LEEUWEN-HAAGSMA EN SCHRÖDER, 2002).**

Type vanggewas	% werkzame N bij inwerken	
	voor de winter	na de winter
Kruisbloemigen	25	50
Grassen	40	50
Vlinderbloemigen	25	50

Ninane et al. (1995) vermeldden een hogere minerale stikstofvoorraad van 50 tot 70 kg N ha<sup>-1</sup> op de perceeltjes waar voorafgaand vanggewassen werden ingewerkt. Ze stelden echter wel dat de vanggewassen slechts een gedeelte van deze stikstof leverden. Gele mosterd leverde algemeen meer stikstof (25 tot 30 kg N ha<sup>-1</sup>) dan raaigras (10 kg N ha<sup>-1</sup>) en facelia (minder dan 10 kg N ha<sup>-1</sup>). De overige stikstof, niet afkomstig van de vanggewassen, werd geacht voort te komen uit de mineralisatie van de bodemorganische stof, die wellicht gunstig beïnvloed werd door het inwerken van de vanggewassen.

Met behulp van het N-mineralisatiemodel MINIP werden door Velthof et al. (1998) de effecten van het onderwerken van vanggewassen op de N-levering berekend (Tabel 33). Voor een goede benutting van de stikstof uit het vanggewas is het aan te bevelen het vanggewas niet langer dan 4 tot 6 weken voor het planten of inzaaien in te werken. Zo houdt het vanggewas het beste de stikstof in het systeem. Als het vanggewas vroeg in de winter is afgevroren en pas in het voorjaar ingewerkt, is de N-levering gelijk aan deze van een vanggewas dat ondergewerkt werd in de herfst. In beide gevallen gaat een deel van

de stikstof verloren door uitspoeling en denitrificatie in de winter. De stikstof die tijdens het groeiseizoen mineraliseert, kan wel direct opgenomen worden door het volggewas.

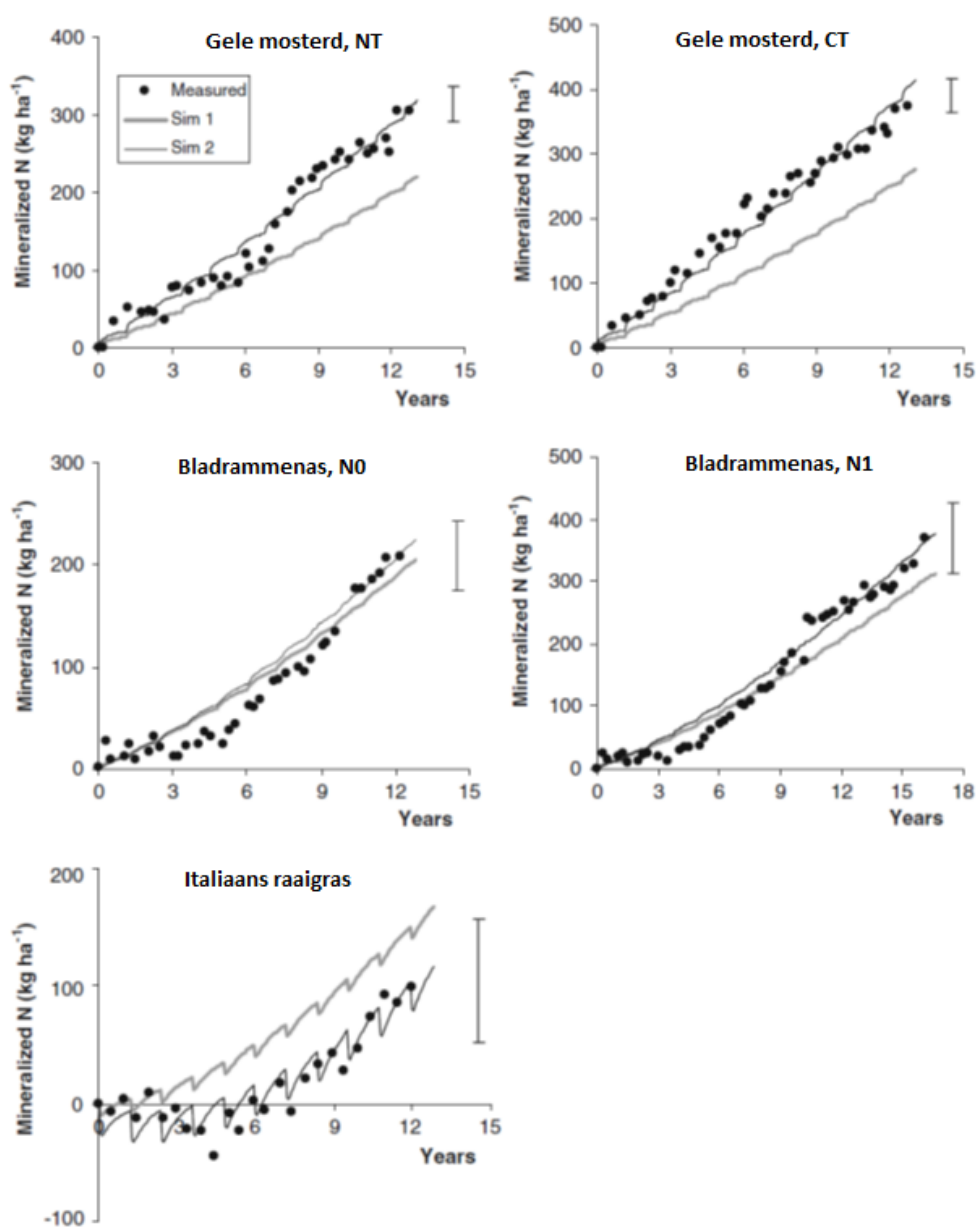
**TABEL 33: STIKSTOFLEVERING VAN VANGGEWASSEN IN RELATIE TOT DE LENGTE VAN HET GROEISEIZOEN EN DE GEWASONTWIKKELING (NAAR: VELTHOF ET AL., 1998).**

Gewas	Ontwikkeling	Onderwerk- tijdstip	N-levering (kg N ha <sup>-1</sup> )		
			maart-juni	maart-juli	maart-augustus
Raaigras	goed	najaar*	17	24	31
	matig	najaar	9	12	16
	goed	voorjaar**	21	33	42
	matig	voorjaar	10	16	21
Snijrogge	goed	najaar	15	21	26
	matig	najaar	8	11	13
	goed	voorjaar	24	33	42
	matig	voorjaar	12	16	21
Gele mosterd	goed	najaar	18	25	30
	matig	najaar	9	13	15
	goed	voorjaar	22	31	41
	matig	voorjaar	11	15	20

\*najaar= eind oktober

\*\* voorjaar= eind maart

Constantin et al. (2011) stelden vast dat bij jaarlijkse toepassing van gele mosterd en bladrammenas en tweejaarlijkse toepassing van Italiaans raaigras, op 3 verschillende Franse proefvelden over een periode van 13 tot 17 jaar, de gemiddelde jaarlijkse N-mineralisatie verhoogde met respectievelijk 26, 18 en 9 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (Figuur 34). Deze resultaten kwamen overeen met wat gevonden werd in een 25-jarig experiment in Denemarken (Berntsen et al., 2006) en zijn omgekeerd evenredig met de C:N-verhouding van de vanggewassen. De vanggewassen werden telkens ingezaaid eind augustus tot begin september; gele mosterd en bladrammenas werden doodgespoten en ondergewerkt in november, Italiaans raaigras in februari. Het verloop van de toename in mineralisatie over de hele periode was wel verschillend voor de verschillende vanggewassen. Voor gele mosterd (C:N = 12,8) was de extra mineralisatie van bij de start jaarlijks ongeveer constant en trad die voornamelijk op in de herfst en in de winter. Voor bladrammenas (C:N = 17,0) en Italiaans raaigras (C:N = 28,3) werden in de eerste jaren respectievelijk geen en een licht negatief effect op de mineralisatie waargenomen; jaarlijks werd echter een gestage stijging van de mineralisatie waargenomen met 3,4 en 2,1 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> respectievelijk. Dit wordt toegeschreven aan een opeenvolgend patroon van immobilisatie- en (her)mineralisatie. Hoewel de extra gemineraliseerde stikstof niet steeds resulteerde in een significant ( $p < 0,05$ ) grotere N-opname door de hoofdteelt, werd wél een significant positieve correlatie gevonden tussen de extra N-mineralisatie en de extra N-opname; 54% van de extra gemineraliseerde stikstof zou opgenomen worden door de volgende hoofdteelt. Op het einde van het experiment bedroeg de som van de extra gemineraliseerde stikstof 72, 60 en 23% van de gewasresten van respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Dit geeft aan dat het stopzetten na langdurige toepassing van vanggewassen met hogere C:N-verhouding aanleiding kan geven tot grotere risico's op uitspoeling.



FIGUUR 34: WAARGENOMEN EN GESIMULEERD VERLOOP VAN DE EXTRA N-MINERALISATIE DOOR TOEDOEN VAN VANGGEWASSEN, CUMULATIEF WEERGEGEVEN OVER DE TIJD. SIMULATIES MET ZOWEL GEMETEN ALS GEOPTIMALISEERDE PARAMETERWAARDEN ZIJN WEERGEGEVEN. DE VERSCHILLENDE VANGGEWASSEN, BODEMBEWERKINGEN EN BEMESTINGEN (NT = GEREDUCEERDE BODEMBEWERKING, CT = CONVENTIONELE BODEMBEWERKING, N0 = GEREDUCEERDE BEMESTING, N1 = CONVENTIONELE BEMESTING) ZIJN AANGEDUID IN DE FIGUUR. HET BETROUWBAARHEIDS-INTERVAL ( $P < 0,05$ ) IS TELKENS RECHTS VAN DE FIGUUR WEERGEGEVEN (CONSTANTIN ET AL., 2011).

### 5.3 OPBOUW VAN ORGANISCHE KOOLSTOF

Vanggewassen leveren niet enkel stikstof maar produceren ook biomassa of organische stof. De hoeveelheid organische stof die door een vanggewas wordt aangebracht, is afhankelijk van zijn drogestofopbrengst. Deze opbrengst varieert in functie van het type groenbemester, de zaaidatum, de weersomstandigheden en de beschikbare voedingsstoffen. Niet alle aangeleverde organische stof is echter stabiel; afhankelijk van de samenstelling van de organische stof wordt de aanwezige koolstof trager of sneller omgezet tot  $\text{CO}_2$ . De effectieve organische stof wordt gedefinieerd als de hoeveelheid organische stof die na één jaar nog niet afgebroken is; de humificatiecoëfficiënt drukt het percentage effectieve organische stof uit t.o.v. de totale hoeveelheid organisch materiaal (= drogestofopbrengst) aangeleverd door het vanggewas. De gemiddelde drogestofopbrengst en de aangeleverde effectieve

organische stof van de in Vlaanderen meest voorkomende vanggewassen wordt weergegeven in Tabel 34.

**TABEL 34: GEMIDDELDE DROGE STOFOPBRENGST VAN EEN NORMAAL ONTWIKKELD VANGGEWAS UITGEZAAID IN HET NAJAAR EN DE HIERMEE AANGEVOERDE EFFECTIEVE ORGANISCHE STOF (TIREZ, 2007; BONTHUIS ET AL., 2007).**

	Droge stofopbrengst (kg ha <sup>-1</sup> )			Ondergronds/ bovengronds	Effectieve organische stof (kg ha <sup>-1</sup> )
	bovengronds	ondergronds	totaal		
Gele mosterd	3100	800	3900	0,26	750 - 850
Bladrammenas	3100	800	3900	0,26	750 - 850
Bladkool	3000	1000	4000	0,33	750 - 850
Facelia	2300	700	3000	0,30	700 - 800
Engels raaigras	2200	2.000	4200	0,91	900 - 1100
Italiaans raaigras	2500	2.000	4500	0,80	900 - 1100
Westerwolds raaigras	2400	1700	4100	0,71	900 - 1100
Snijrogge	2800	600	3400	0,21	600 - 700
Wikke	2500	500	3000	0,20	600 - 700
Klaver	2500	1100	3600	0,44	850 - 1150
Lupinen	2500	600	3100	0,24	-

Vanggewassen worden internationaal beschouwd als een van de beste beheerstechnieken voor het verhogen van de organische koolstofvoorraad in de bodem (Lal, 2004); ze kunnen tenminste gedeeltelijk een compensatie vormen voor de hoeveelheid koolstof die verloren gaat bij de afvoer van de oogstresten van het hoofdgewas (Blanco-Canqui & Lal, 2009). Ook voor het stro van zomergerst werd dit aangetoond (Mutegi et al., 2011). Vanggewassen met een grote wortelbiomassa zijn extra voordelig ter bevordering van de C-sequestratie aangezien studies aantonen dat de koolstofverbindingen uit wortels minder snel omgezet worden tot CO<sub>2</sub> (Rasse et al., 2005). Dit kan niet altijd toegeschreven worden aan de C:N-verhouding aangezien voor bladrammenas bij inwerken een C:N-verhouding van 13,9 gevonden werd voor zowel de boven- als ondergrondse biomassa (Mutegi et al., 2011). Er is ook waargenomen dat de worteldiameters van bladrammenas toenemen bij verhoogde bodemdichtheden (Chen & Weil, 2010), om meer axiale druk te kunnen uitoefenen (Misra, 1997). Dit effect compenseert echter niet voor het verlies in wortellengte: Mutegi et al. (2011) vonden dat de wortellengtedichtheid en de ondergrondse drogestofopbrengst van bladrammenas beduidend kleiner waren onder directe inzaai (met een significant hogere bodemdichtheid) dan onder een conventionele bodembewerking. Zij toonden aan de hand van gelabelde <sup>14</sup>C-opvolging ook aan dat door rhizodepositie nog tijdens het groeiseizoen een translocatie optreedt van koolstof vanuit de grote wortels naar de bodemorganische stof. Dit houdt in dat vanggewassen ook tijdens hun groei al bijdragen aan de opbouw van bodemorganische stof.

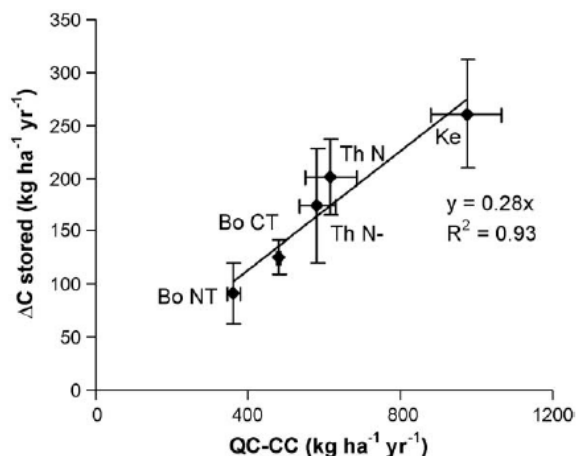
Ninane et al. (1995) wezen op de eigenschappen van de organische stof in de bodem 11 maanden na het inwerken van vanggewassen. Ze stelden vast dat vanggewassen organisch materiaal met een snellere omzetting dan die van de bodemorganische stof leverden, hetgeen eerder bijdraagt tot onderhoud van de vruchtbaarheidstoestand dan tot een toename van het humusgehalte. In het onderzoek kwamen ook verschillen tussen de verschillende vanggewassen naar voor. Zij stelden vast dat raaigras en in mindere mate facelia veel biomassa produceerden, trager mineraliseerden en het niveau van het organische stofgehalte van de bodem beter onderhielden dan wikke en gele mosterd, hetgeen grotendeels strookt met de gegevens in Tabel 34.

Grassen dragen het best bij aan de organische stofvoorziening van de bodem. De uitgesproken wortelontwikkeling van dit type vanggewassen en het feit dat wortelresten bijna dubbel zoveel

bijbrengen aan effectieve organische stof als de bovengrondse plantendelen, zorgt ervoor dat de grasachtige vanggewassen uitermate geschikt zijn voor het op peil houden van het organische stofgehalte van de bodem.

Bij inwerken van het vanggewas in het voorjaar kan het toch aangewezen zijn te kijken naar de C-opbrengst in het najaar om het effect op de opbouw van bodemorganische stof in te schatten. Bij niet-winterharde vanggewassen sterft de biomassa volledig af tijdens de winter, maar ook voor niet-winterharde vanggewassen kan een groot deel verloren gaan. Korsæth et al. (2002) stelden vast dat de hoeveelheid koolstof in de bovengrondse biomassa van witte klaver tijdens de winter afnam van  $1020 \text{ kg C ha}^{-1}$  tot  $650 \text{ kg C ha}^{-1}$ . Het is echter mogelijk dat dit verlies niet volledig in de bodem terecht komt aangezien een belangrijk deel van het biomassaverlies als organisch strooisel bovenop de bodem blijft liggen en reeds daar gedeeltelijk afgebroken wordt (Mørkved et al., 2006).

Constantin et al. (2010) konden een significante positieve lineaire relatie aantonen tussen de toename van het C-gehalte in de bodem en de C-aanvoer van de vanggewassen (zie Figuur 35). De schijnbare humificatiecoëfficiënt was 28%. Dit is erg hoog, gezien de humificatiecoëfficiënt van stro afkomstig van graangewassen slechts tussen de 11 en 14% ligt (Thomsen & Christensen, 2004; Saffih-Hdadi & Mary, 2008). Desalniettemin komt dit cijfer overeen met resultaten van incubatieproeven in het laboratorium (Justes et al., 2009) en met de door Zanatta et al. (2007) gevonden coëfficiënt van 26% voor een mengsel van de oogstresten van maïs en vanggewassen. De coëfficiënt van Zanatta is een gemiddelde berekend over 18 jaar en voor een subtropisch klimaat: jaarlijks nam het organisch koolstofgehalte van de bodem toe met 26% van de toegevoegde koolstof.



FIGUUR 35: RELATIE TUSSEN DE JAARLIJKSE TOENAME VAN KOOLSTOF IN DE BODEM ( $\Delta C$ ) EN DE KOOLSTOFOPBRENGST VAN HET VANGGEWAS (QC-CC).  $\Delta C$  WERD BEREKEND OP BASIS VAN DE C:N-VERHOUDING EN DE JAARLIJKSE TOENAME AAN ORGANISCHE STIKSTOF IN DE BODEM (CONSTANTIN ET AL., 2010).

Justes et al. (2009) zetten een incubatieproef op met de vanggewassen gele mosterd en Italiaans raaigras uit veldproeven met verschillend zaaitijdstip, irrigatie- en bemestingsniveau. Zo werden 25 verschillende stalen bekomen, waarvan de organische C:N-verhouding varieerde tussen 9,5 en 34. De bovengrondse delen van de vanggewassen werden gedroogd bij  $80^\circ\text{C}$  en vervolgens vermalen tot deeltjes van 1 mm. Dit materiaal werd ondergewerkt in de Ap-horizont van een kalkrijke bodem (*carbonitic Lithic Rendoll*), gezeefd op een zeef van 4 mm en vers bewaard bij  $4^\circ\text{C}$ . Er werd telkens 8 g plantaardig materiaal ondergewerkt per kg droge bodem.

De incubatie werd uitgevoerd bij  $15,6^\circ\text{C}$  gedurende 168 dagen. De totale hoeveelheid gemineraliseerde koolstof na 168 dagen vertegenwoordigde 59 tot 68% van de koolstof in de toegediende vanggewassen. Na 7 dagen was reeds 19 tot 29% van de toegediende koolstof

gemineraliseerd; het percentage hing af van de biochemische samenstelling van het plantenmateriaal. Er was een positieve correlatie met het gehalte aan wateroplosbare koolstof en een negatieve met het lignine- en het cellulosegehalte. Voor de gemineraliseerde koolstof na 168 dagen werden dergelijke relaties niet gevonden. De samenstelling van het plantaardig materiaal beïnvloedt dus enkel de C-mineralisatie op korte termijn.

## 6 UITSPOELING EN UITLOGING

### 6.1 UITSPOELING UIT DE BODEM

Uitspoeling is het proces waarbij  $N_{\min}$  - bijna uitsluitend onder de vorm van nitraten - door neerslagoverschotten migreert naar diepere bodemlagen en daardoor onbereikbaar wordt voor de plantenwortels. De nitraten komen in het grondwater terecht en kunnen uiteindelijk via transport het oppervlaktewater verontreinigen.

In het najaar zijn de temperaturen vaak nog gunstig voor mineralisatie van N uit oogstresten, dierlijke mest of bodemorganische stof. Bovendien kunnen grote hoeveelheden nitraten in de bodem achterblijven na de oogst. In gematigde vochtige klimaten zoals in Vlaanderen kunnen in het najaar grote neerslagoverschotten optreden. Hoe groter het neerslagoverschot, hoe meer en hoe dieper nitraten kunnen migreren en hoe moeilijker het wordt voor het volggewas om in het volgende seizoen deze nitraten nog op te nemen. Specifiek in deze omstandigheden is het interessant een vanggewas in te zetten om deze migratie tegen te gaan. De vanggewassen kunnen in het najaar nog een groot deel van de aanwezige en vrijgestelde  $N_{\min}$  opnemen en omzetten in organische N in het plantenweefsel, waardoor uitspoeling tegengegaan wordt.

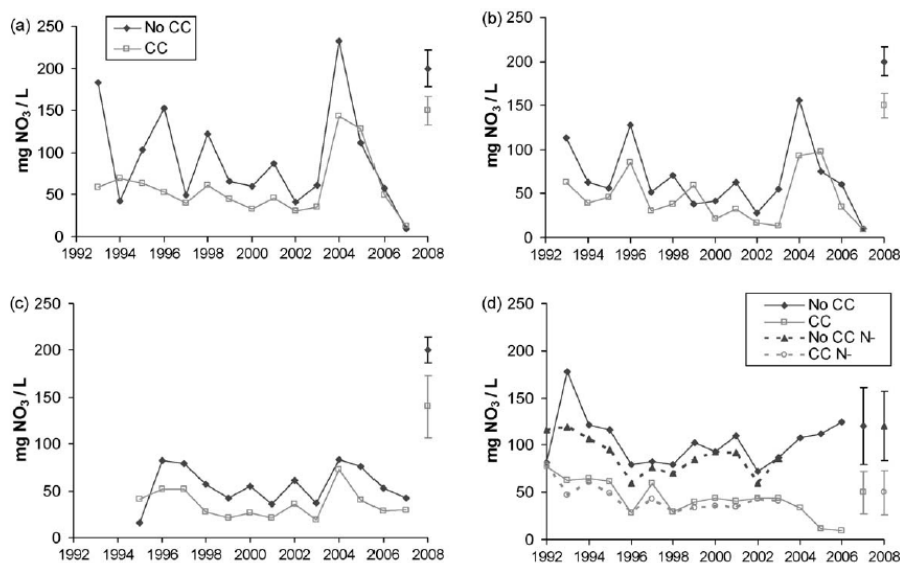
Tonitto et al. (2006) vergeleken rotaties met en zonder inzaai van een niet-bemest vanggewas uit Amerikaanse en Europese veldproeven. Ze toonden aan dat met een niet-stikstoffixerend vanggewas de nitraatuitspoeling met gemiddeld 70% verminderde. Voor stikstoffixerende vanggewassen was dit 40%. Er was geen opbrengstverlies van de hoofdteelt.

Ondanks de toename in jaarlijkse mineralisatie onder vanggewassen (zie ook 5.2) toonden Constantin et al. (2010, 2011) in hun Noord-Franse lange termijn veldproeven aan dat de nitraatuitspoeling onder niet-bemeste vanggewassen afnam. De uitspoeling werd opgemeten met behulp van lysimeters en was sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, de locatie en het gewas. De jaarlijkse hoeveelheid uitgespoelde stikstof varieerde van 0 tot  $138 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ . Het inzaaien van vanggewassen resulteerde in bijna alle gevallen in een nitraatconcentratie in het uitgespoelde water onder de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  (zie Figuur 36).

Er werd ook een beperkte afname van de drainage vastgesteld, die toegeschreven wordt aan de extra evapotranspiratie in de herfst, door toedoen van het vanggewas. Voor gele mosterd was dit slechts  $3 \text{ mm jaar}^{-1}$ , voor bladrammenas  $26 \text{ mm jaar}^{-1}$  en voor Italiaans raaigras  $30 \text{ mm jaar}^{-1}$ . De verschillen zijn wellicht grotendeels te verklaren a.d.h.v. de minimumtemperatuur voor sapstroom voor de 3 gewassen. De gemiddelde afname van de uitgespoelde hoeveelheid  $N_{\min}$  bedroeg 9, 19 en  $32 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  voor respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Voor de 3 vanggewassen was de reductie het grootst na wintertarwe, wellicht door het vroege oogsttijdstip van dit gewas.

De drogestofopbrengst van de hoofdgewassen was enkel voor wintertarwe en suikerbieten significant hoger bij een jaarlijkse nateelt van bladrammenas. Er werden kleine positieve verschillen opgemeten met de controle, zij het uitsluitend voor het gemiddelde van de jaren volgend op het 7<sup>e</sup> jaar van de proefopzet. Voor wintertarwe was dit bovendien enkel het geval in het deel van de proefopzet met een lagere stikstofbemesting ( $147 \text{ i.p.v. } 180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ). Het gebruik van een vanggewas levert dus zowel op korte als op lange termijn geen oogstderving op (Constantin et al., 2010).

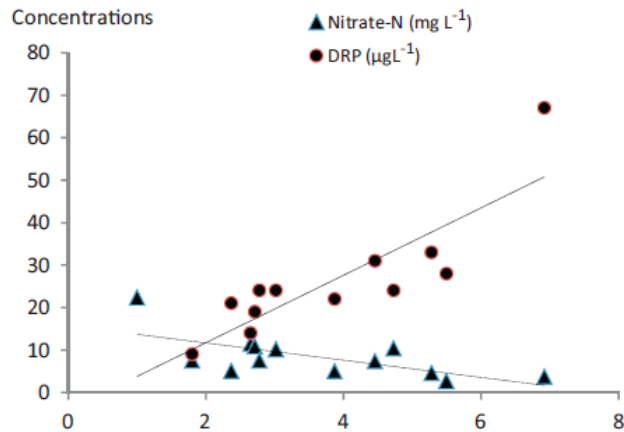




**FIGUUR 36: EVOLUTIE VAN DE NITRAATCONCENTRATIE IN HET UITGESPOELDE WATER (GEWOGEN GEMIDDELDE JAARLIJKE CONCENTRATIES) ONDER VANGGEWASSEN (CC) EN ONDER BRAAK (NO CC) OP 3 VERSCHILLENDE LOCATIES. DE INGEZAAIDE VANGGEWASSEN ZIJN GELE MOSTERD BIJ CONVENTIONEEL PLOEGEN (A) EN ZONDER BODEMBEWERKING (B), ITALIAANS RAAIGRAS (C) EN BLADRAMMENAS (D). DE VANGGEWASSEN WERDEN NIET BEMEST; BIJ BLADRAMMENAS WERD EEN EXTRA BEHANDELING MET VERMINDERDE STIKSTOFBEMESTING OP DE HOOFDTEELT MEEGENOMEN. DE GEMIDDELDE STANDAARD AFWIJKINGEN ZIJN TELKENS RECHTS WEERGEGEVEN (CONSTANTIN ET AL., 2010).**

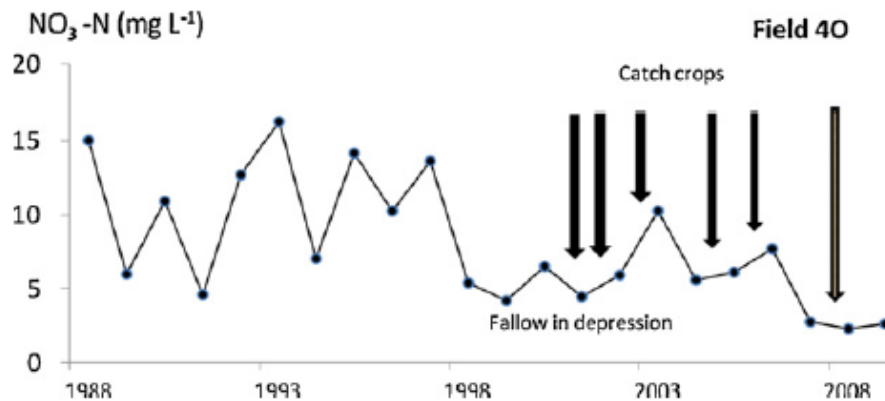
De minerale N in de bodem werd opgemeten in de late herfst, in het midden van de winter en na de oogst van het volggewas. In de late herfst, meestal het begin van de periode met netto uitspoeling, bleek het effect van vanggewassen het grootst te zijn; de  $N_{\min}$  in de bodem lag gemiddeld 30, 35 en 19  $\text{kg N ha}^{-1}$  lager onder respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Ook in het midden van de winter was het effect nog significant: er werd respectievelijk 5, 26 en 11  $\text{kg N ha}^{-1}$  minder teruggevonden dan in de controle. Na de oogst van het daaropvolgende hoofdgewas werden echter geen eenduidige resultaten bekomen: voor bladrammenas werd een afname vastgesteld, voor Italiaans raaigras een toename (na de oogst van snijmais) en voor gele mosterd was de afname enkel significant bij een conventionele bodembewerking. Dit wordt toegeschreven aan het niet synchroon optreden van de mineralisatie uit het vanggewas en de opname door het hoofdgewas (Constantin et al., 2010). Dat geen afname wordt vastgesteld bij Italiaans raaigras en bij gele mosterd onder een conserverende bodembewerking, doet vermoeden dat de mineralisatie van het vanggewas in beide gevallen te traag verloopt. Bij Italiaans raaigras door immobilisatie omwille van de hogere C:N-verhouding (wellicht van de wortels) en bij een conserverende bodembewerking misschien door een tekort aan zuurstof in de bodem. Hierdoor ontstond telkens in het jaar zonder raaigras een toename van de N-uitspoeling met 16% t.o.v. de controlebehandeling.

Ulén et al. (2012) bestudeerden nitraat- en fosfaatconcentraties in het drainagewater van 13 verschillende Zweedse percelen, verzameld uit tweewekelijkse metingen over een periode van 20 jaar (1988-2008). De  $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie bleek negatief gerelateerd met de textuur, geklasseerd volgens de bodemspecifieke oppervlakte (Figuur 37). In gelijkaardige omstandigheden is de nitraatuitspoeling op een zandbodem dus groter dan op een kleibodem.

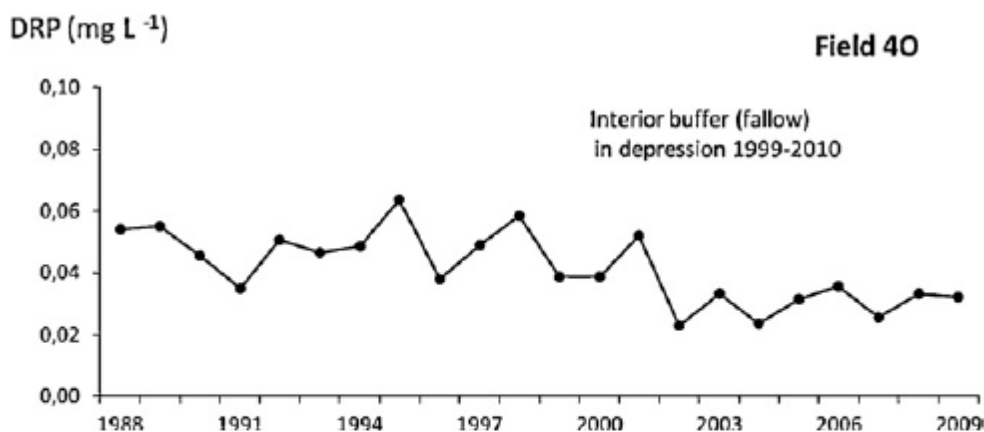


FIGUUR 37: GEMIDDELTE CONCENTRATIES VAN OPGELOSTE REACTIEVE FOSFOR (DRP) ( $\mu\text{g/L}$ ) EN NITRAATSTIKSTOF ( $\text{MG/L}$ ) T.O.V. DE SPECIFIEKE OPPERVLAKTE ( $10^6 \text{ M}^2/\text{M}^2$ ) VAN DE TOPLAAG VAN 13 ZWEEDSE PERCELEN. DE SPEARMAN-CORRELATIECOËFFICIËNT BEDRAAGT -0,85 VOOR NITRAAT ( $P < 0,001$ ) EN 0,67 VOOR FOSFOR ( $P < 0,01$ ) (ULÉN ET AL., 2012).

Op 2 van de 13 proefpercelen werd de laatste 10 jaar op regelmatige basis Engels raai gras (*Lolium perenne L.*) ingezaaid als vanggewas. Het is niet duidelijk of de vanggewassen al dan niet bemest werden, maar voor beide percelen werd een afname van de nitraatconcentratie in het drainagewater waargenomen in de tijd, hoewel de significantie ervan sterk verschilde; voor het eerste perceel op lemige klei was  $p < 0,001$ , voor het tweede perceel op zandleem bedroeg die 0,341. Hoewel niet gepreciseerd wordt hoe vaak het vanggewas werd ingezaaid, lag de mogelijkheid om dat te doen wel hoger op het eerste perceel: daar werd 79% van de rotatie ingenomen door granen (wintertarwe, gerst, haver en zomertarwe), voor het tweede perceel was dit slechts 52%. Bovendien werd op het eerste perceel vanaf 1999 ook een bufferstrook aangelegd onderaan het veld. De evolutie van de gemiddelde  $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in de tijd is weergegeven in Figuur 38. Ook voor het opgeloste reactieve fosforgehalte werd op hetzelfde perceel een afname waargenomen (zie Figuur 39).



FIGUUR 38: GEMIDDELTE JAARLIJKSE CONCENTRATIES VAN NITRAATSTIKSTOF IN HET DRAINAGEWATER VAN EEN PERCEEL OP LEMIGE KLEI MET REGELMATIG INZAAIEN VAN VANGGEWASSEN EN DE AANLEG VAN EEN BUFFERZONE (ULÉN ET AL., 2012).

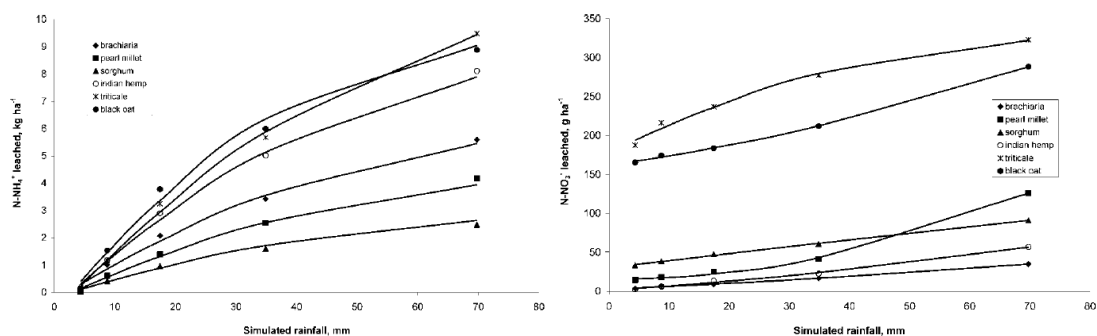


FIGUUR 39: GEMIDDELTE JAARLIJKSE CONCENTRATIES AAN OPELOSTE REACTIEVE FOSFOR IN HET DRAINAGEWATER VAN EEN PERCEEL OP LEMIGE KLEI MET REGELMATIG INZAAIEN VAN VANGGEWASSEN EN DE AANLEG VAN EEN BUFFERZONE (ULÉN ET AL., 2012).

## 6.2 UITLOGING UIT HET STROOISEL VAN VANGGEWASSEN

Minerale stikstof kan ook rechtstreeks vanuit plantenweefsel in de bodem terecht komen. Vooral in de winterperiode, wanneer vele vanggewassen afsterven, is uitloging van de in het najaar opgenomen stikstof mogelijk. Rosolem et al (2005) onderwierpen het strooisel van C<sub>3</sub>- en C<sub>4</sub>-soorten aan 70 mm neerslag, bij een toediening van 8 ton droge stof ha<sup>-1</sup>. Van de 6 vanggewassen waren er drie C<sub>3</sub>-planten: Japanse haver (*Avena strigosa*), triticale (*Triticum secale*) en Bengaalse hennep (*Crotalaria juncea*), en drie C<sub>4</sub>-planten: parelgierst (*Pennisetum glaucum*), kafferkoren (*Sorghum vulgare*) en schapengras (*Brachiaria decumbens*). Het strooisel werd verzameld 45 dagen na opkomst, werd verkleind tot stukjes van 3 tot 5 cm en gedroogd bij 35°C. De neerslag werd toegediend bij hoge regenvalintensiteiten maar met regelmatige neerslagvrije tussenpozen.

Het percolatiewater werd opgevangen en de concentraties aan NH<sub>4</sub>-N en NO<sub>3</sub>-N werden bepaald en omgerekend naar hoeveelheden N per ha (zie Figuur 40).



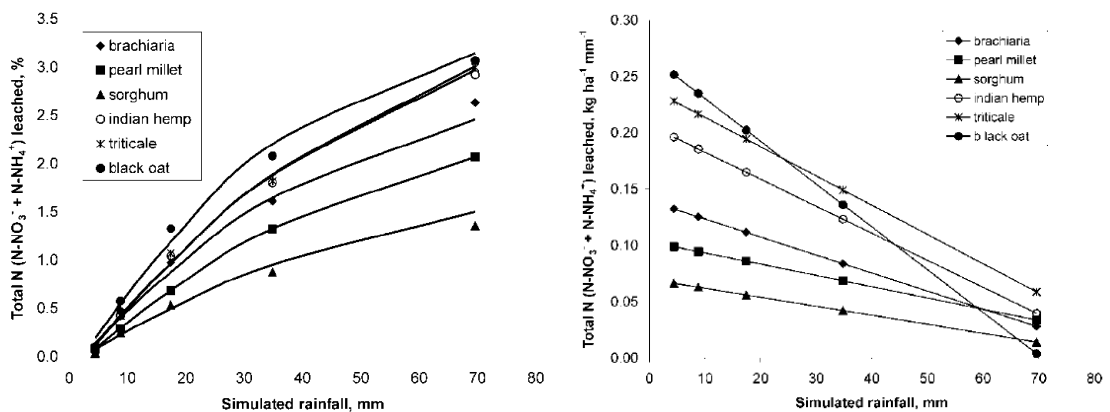
FIGUUR 40: CUMULATIEVE HOEVEELHEDEN NH<sub>4</sub>-N (LINKS, IN KG HA<sup>-1</sup>) EN NO<sub>3</sub>-N (RECHTS, IN G HA<sup>-1</sup>) UITGELOOGD UIT STROOISEL VAN SCHAPENGRAS (◆), PARELGIJEST (■), KAFFERKOREN (▲), BENGALSE HENNEP (○), TRITICALE (\*) EN JAPANESE HAVER (●), IN FUNCTIE VAN DE TOEGEDIENDE CUMULATIEVE REGENVAL (ROSOLEM ET AL., 2005).

Er werden duidelijk grote verschillen vastgesteld tussen de uitgeloopte hoeveelheden NH<sub>4</sub>-N en NO<sub>3</sub>-N. Hoewel planten bij voorkeur nitraten opnemen (Marschner, 1995), blijft de uitloging ervan beperkt tot enkele honderden grammen per ha. Planten slaan slechts een beperkte hoeveelheid nitraten op in de vacuoles van de bladcellen en die hoeveelheid is evenredig met de opname. Bij C<sub>3</sub>-planten ligt die hoeveelheid hoger dan bij C<sub>4</sub>-planten, omdat C<sub>4</sub>-planten een hogere metabolische efficiëntie vertonen in de omzetting van lichtenergie voor de assimilatie van stikstof en dus sneller nitraten omzetten in proteïnes die gebruikt worden voor de opbouw van plantenweefsel (Taiz & Zeiger, 1991). Dergelijke concentratieverschillen in de vacuoles hadden duidelijk een effect op de uitgeloopte hoeveelheden

NO<sub>3</sub>-N: voor triticale en Japanse haver lagen deze hoger dan voor de andere soorten. Voor Bengaalse hennep, nochtans ook een C<sub>3</sub>-plant, was de uitgeloopte hoeveelheid NO<sub>3</sub>-N echter vergelijkbaar met die van de C<sub>4</sub>-planten. Salisbury & Ross (1992) toonden immers aan dat voor symbiotische N-fixerende C<sub>3</sub>-planten - zoals Bengaalse hennep - de concentratie aan nitraten in de vacuoles vergelijkbaar is aan die van de C<sub>4</sub>-planten, aangezien de N aangeleverd door de N-fixerende bacteriën reeds in de wortels wordt geassimileerd in een koolstofketen alvorens naar de bovengrondse delen van de plant getransporteerd te worden.

De uitgeloopte hoeveelheid NH<sub>4</sub>-N lag veel hoger en bereikte na 70 mm beregening waarden tussen 2 en 9 kg ha<sup>-1</sup> (zie Figuur 40). Dit keer lagen de concentraties voor alle C<sub>3</sub>-planten hoger dan voor de C<sub>4</sub>-planten. C<sub>3</sub>-planten hebben in hun bladeren 20 tot 30% van de totale N-inhoud onder de vorm van het enzym rubisco, dat als N-reserve dient en 50% uitmaakt van de totale hoeveelheid opgeloste proteïnen. Bij C<sub>4</sub>-planten daarentegen ligt dit twee tot drie keer lager (Marschner, 1995), aangezien deze een groter deel van de N gebruiken voor opbouw van nieuw plantenweefsel.

Het percentage uitgespoelde N<sub>min</sub> was echter beperkt: na 70 mm beregening werd voor elk van de 6 gewassen minder dan 4% van de totale N-inhoud van het strooisel uitgeloopt (zie Figuur 41). De C<sub>3</sub>-planten vertoonden initieel een hogere concentratie in het uitgespoelde water, maar dat daalde snel en werd uiteindelijk min of meer gelijk aan dat van de C<sub>4</sub>-planten. Dit stemt overeen met de veronderstelling dat het C<sub>3</sub>-strooisel meer makkelijk uitlogbare N heeft en die dus eerst verliest. Er werd tevens een sterke positieve correlatie gevonden tussen de totale N-inhoud van het strooisel en de uitgeloopte hoeveelheid.



FIGUUR 41: CUMULATIEF PERCENTAGE (LINKS) EN CONCENTRATIE AAN MINERALE STIKSTOF (RECHTS) UITGELOOPD UIT STROOISEL VAN SCHAPENGRAS (◆), PARELGIERST (■), KAFFERKOREN (▲), BENGALSE HENNEP (○), TRITICALE (×) EN JAPANESE HAVER (●), IN FUNCTIE VAN DE TOEGEDIENDE CUMULATIEVE REGENVAL (ROSOLEM ET AL., 2005).

De uitloging van N<sub>min</sub> uit afgestorven vanggewassen blijft, althans op basis van de resultaten van dit onderzoek (Rosolem et al., 2005), beperkt tot enkele procenten van de totale N-inhoud van het vanggewas. De uitloging verloopt voornamelijk onder de vorm van NH<sub>4</sub>-N. In Vlaanderen zullen de verliezen door uitloging echter hoger oplopen: vorstgevoelige vanggewassen kunnen in een doorsnee jaar immers reeds afsterven eind november en op die manier blootgesteld zijn aan een periode van afwisselend vorst, dooi en een cumulatieve regenval die makkelijk 200 tot 300 mm kan bedragen.

## 7 EFFECT OP HET VOLGGEWAS

Het effect van vanggewassen op de minerale N die beschikbaar is voor opname door een volgend gewas hangt af van een hele reeks factoren, waaronder, naast klimaat en bodemtype, de bewortelingsdiepte en de biomassaproductie van het vanggewas, het mineraal stikstofgehalte van de bodem, de inzaaidatum en bewortelingsdiepte van het volggewas en de mineralisatiesnelheid van de N uit het vanggewas. Het effect op de beschikbare N in het voorjaar wordt door Thorup-Kristensen en Nielsen (1998) als volgt gedefinieerd:

$$N_{eff} = (m - r) * N_{opname}$$

Met:

$N_{eff}$  het verschil in de hoeveelheid  $N_{min}$  beschikbaar voor opname door het volggewas tussen een behandeling mét en zonder vanggewas,

$m$  een coëfficiënt die de N-mineralisatie van de eerder opgenomen N uit het vanggewas uitdrukt,

$r$  de retentiefactor of de relatieve hoeveelheid  $N_{min}$  die beschikbaar blijft voor het volggewas zonder een vanggewas in te zaaien,

$N_{opname}$  de hoeveelheid  $N_{min}$  opgenomen door het vanggewas.

Metingen en simulaties met het DAISY-model (Hansen et al., 1991) tonen een positieve correlatie van  $N_{eff}$  met de neerslag voor de bodemlaag van 50 tot 100 cm. Voor de laag van 0 tot 50 cm werd een zeer lage correlatie geconstateerd. Hiermee overeenstemmend werd voor droge en natte winters respectievelijk een negatieve en positieve  $N_{eff}$  bekomen. Deze correlatie is toe te schrijven aan de neerslagafhankelijkheid van de retentiefactor: hoe meer neerslag, hoe meer N zal uitspoelen en hoe lager de retentiefactor.

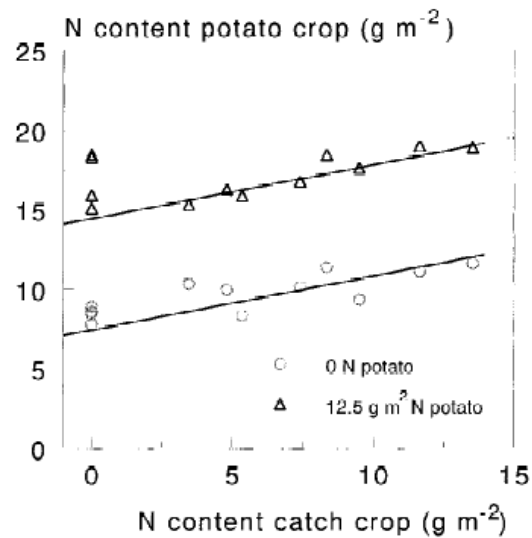
De retentiefactor  $r$  wordt daarnaast ook nog beïnvloed door:

- het type bodem: zwaardere bodems vertonen meestal een hogere retentie;
- de bewortelingsdiepte van het volggewas: hoe dieper de wortels reiken, hoe meer N beschikbaar blijft in het profiel en hoe hoger de retentiefactor;
- de diepte en de datum van de N-opname: hoe dieper of vroeger N wordt opgenomen door het vanggewas, hoe lager de retentiefactor. De kans op uitspoeling is immers groter naarmate N zich dieper in de bodem bevindt. De kans op uitspoeling van N aanwezig in de bodem in het najaar is ook groter dan de kans op uitspoeling van N aanwezig in de bodem in het voorjaar. Het is dan ook minder aangewezen N in het voorjaar te laten opnemen door het vanggewas en het is beter het vanggewas in te werken vooraleer het groeiseizoen herbegint.

De mineralisatiecoëfficiënt  $m$  wordt beïnvloed door de C:N-verhouding van het vanggewas: hoe lager deze verhouding, hoe hoger de mineralisatiecoëfficiënt  $m$  en hoe groter  $N_{eff}$ . De factor  $N_{opname}$  kan ook nog verhoogd worden door te kiezen voor een vanggewas met een snelle en diepe wortelontwikkeling (zie ook deel 0).

Vos & van der Putten (2001) trachtten te bepalen hoeveel van de in het najaar door een vanggewas opgenomen stikstof na inwerken werd opgenomen door in het daaropvolgende voorjaar gepote aardappelen. De vanggewassen (snijrogge en koolzaad) kregen een anorganische bemesting bij zaai van 20 of 70 kg N ha<sup>-1</sup>. De aardappelen kregen telkens ofwel geen extra bemesting ofwel een extra bemesting van 125 kg N ha<sup>-1</sup>. Er werden in dit experiment 2 significante variabelen gevonden: de extra

bemesting van de aardappelen en de aanwezigheid van een vanggewas. De aanwezigheid van een vanggewas was echter enkel significant voor de stikstofopname van het aardappelgewas zónder extra bemesting.



FIGUUR 42: STIKSTOFGEHALTE VAN EEN VOLGROEID AARDAPPELGEWAS VERSUS DE MAXIMALE N-OPBRENGST VAN HET VANGGEWAS TUSSEN NOVEMBER EN HET INWERKTIJDSTIP IN MAART. DE AARDAPPELEN KREGEN AL DAN NIET EEN VOORJAARSBEMESTING MET 125 KG N HA<sup>-1</sup> (VOS & VAN DER PUTTEN, 2001).

De opnamecoëfficiënt drukt uit hoeveel eenheden extra stikstof wordt opgenomen door het aardappelgewas voor een extra toegediende eenheid stikstof. In dit onderzoek (Figuur 42) was er voor een bemesting met 125 kg N ha<sup>-1</sup> een toename van de N-opname van 70 kg N ha<sup>-1</sup>, dus de opnamecoëfficiënt voor minerale stikstof bedroeg 0,56. De opnamecoëfficiënt voor de stikstof uit het vanggewas komt overeen met de richtingscoëfficiënt van de responscurve en bedroeg 0,34. Tot slot drukt de vervangingsfactor uit welke hoeveelheid minerale stikstof nodig is om eenzelfde extra N-opname te realiseren als met één eenheid stikstof uit het ingewerkte vanggewas. Het is m.a.w. de verhouding van beide opnamecoëfficiënten. Hier werd een vervangingsfactor gevonden van 0,61.

Tonitto et al. (2006) besloten uit verschillende Amerikaanse en Europese studies dat de opbrengst van de hoofdteelt zonder bemesting en bij gebruik van N-fixerende vanggewassen gemiddeld slechts 10% lager lag dan conventioneel (zonder vanggewassen en met de aanbevolen bemesting onder anorganische vorm). Deze opbrengstderiving hing echter samen met gemiddeld een 28% kleinere jaarlijkse N-input. Dit houdt in dat de omzetting van jaarlijkse N-input naar gewasopbrengst 25% efficiënter verloopt in het niet-conventionele systeem.

In een Deens onderzoek met verschillende vanggewassen vonden Thorup-Kristensen et al. (2009) positieve effecten op de opbrengst van zomertarwe voor alle vanggewassen met uitzondering van rogge. Noch de vanggewassen, noch de zomertarwe werden bemest. Het positief of negatief effect op de graanopbrengst ging samen met een toename respectievelijk afname van de bovengrondse N-opbrengst van de tarwe en de N<sub>eff</sub> berekend voor de bodem tot een diepte overeenkomstige met de bewortelingsdiepte van zomertarwe.

## 8 IMMOBILISATIE

Immobilisatie is het proces waarbij minerale stikstof tijdelijk wordt vastgelegd in de microbiële biomassa. Dit verschijnsel treedt op wanneer er een overvloed is aan beschikbare koolstof. De microbiële populatie groeit aan en neemt daarbij stikstof op die ze nodig heeft om haar eiwitten op te bouwen. Indien de voedselbron een hoge C:N-verhouding heeft en dus niet voldoende N aanlevert voor de bacteriën, zal het  $N_{\min}$ -gehalte in de bodem afnemen. Dit gaat door zolang er een netto-groei is van de microbiële populatie. Van zodra de koolstofbron opgebruikt is, zal de microbiële populatie zichzelf in stand trachten te houden. Hierdoor zou een status quo van het  $N_{\min}$ -gehalte in de bodem verwacht worden. Als gevolg van predatie zullen de bacteriënaantallen echter dalen ten voordele van hogere organismen (voornamelijk protozoa en nematoden). Door de hogere C:N-verhouding van deze hogere organismen wordt bij het consumeren van bacteriën  $N_{\min}$  uitgescheiden onder de vorm van  $NH_4^+$ . Dit zorgt opnieuw voor een stijging van het  $N_{\min}$ -gehalte in de bodem. Deze stijging zet zich met de tijd verder door aangezien ook de nematoden en protozoa op hun beurt geconsumeerd worden door organismen met een nog hogere C:N-verhouding; dit is het geval bij elke trofische overgang in het ecosysteem.

Bij het toepassen van vanggewassen voorafgegaan door bemesting op de graanstoppel kan immobilisatie van  $N_{\min}$  optreden op 2 momenten: in het najaar na toedienen van de mest en in het voorjaar na inwerken van het vanggewas.

Immobilisatie van  $N_{\min}$  uit de mest kan na wintergranen een belangrijk proces vormen aangezien na de oogst een aanzienlijke koolstofbron achterblijft op het veld: de graanstoppel. De stoppel heeft bovendien een hoge C:N-verhouding, waardoor de vraag naar  $N_{\min}$  uit de bodem hoog is. Dit is interessant, aangezien deze tijdelijke vastlegging een neerwaartse migratie van  $N_{\min}$  voorkomt in de periode dat het jonge vanggewas zich nog aan het ontwikkelen is. Van zodra de vastgelegde  $N_{\min}$  terug wordt vrijgesteld, kan het worden opgenomen door het ontwikkelde wortelstelsel van de vanggewassen. De aanwezigheid van vanggewassen op het veld kan tevens een rol spelen in het immobilisatieproces. Zo blijken heterotrofe bacteriën proportioneel meer C om te zetten in biomassa in bodems met een grotere diversiteit aan plantensoorten (Aoyama et al., 2000; Fliessbach et al., 2000). De immobilisatie in het najaar is dus intensiever onder vanggewassen.

Immobilisatie treedt ook op na mineralisatie van de vanggewassen in het voorjaar, althans indien deze vanggewassen een voldoende hoge C:N-verhouding hebben. De toename van bodemorganische stof die daaruit resulteert, kan op langere termijn een aanzienlijk deel van de  $N_{\min}$  vrijstellen die de volggewassen nodig hebben om zich te ontwikkelen. Kramer et al. (2002) voerden onderzoek op zandleem en leem in het Amerikaanse Californië (weliswaar in een mediterraan klimaat) om na te gaan of het mogelijk is op basis van observaties op korte termijn de opbouw van organische stikstof in de bodem op lange termijn te voorspellen. Ze vergeleken een conventioneel systeem (kunstmest, geen vanggewas) met een geïntegreerd systeem (wikke aangevuld met kunstmest) en een biologisch systeem (wikke aangevuld met gecomposteerde kippenmest). Er werd telkens een 4-jarige rotatie gevolgd (maïs, tarwe of bonen, tomaat en saffloer), waarbij in het tweede rotatiejaar in het conventionele systeem tarwe werd gekweekt en in het geïntegreerde en biologische systeem bonen. In de 3 systemen werden respectievelijk normale en beperkte hoeveelheden meststoffen en geen pesticiden gebruikt en over de hele rotatie was de totale N-input in de 3 systemen gelijkaardig. In het 11<sup>e</sup> jaar van de proefopzet werd in april onder de vorm van ureum en ondergewerkte wikke  $^{15}N$  toegediend, voorafgaand aan inzaai van maïs. In het najaar werd nagegaan hoeveel van deze  $^{15}N$  terug te vinden was, enerzijds in het gewas en anderzijds in de bodem. Het totale percentage retraceerbare  $^{15}N$  bleek niet significant beïnvloed door het type systeem en de toedieningsvorm, maar de verdeling ervan over het gewas en de bodem vertoonde wel significante verschillen (Tabel 35). Bij toediening onder de vorm van wikke in het geïntegreerde en biologische systeem bleek het percentage

retraceerbare  $^{15}\text{N}$  significant kleiner in het gewas en significant groter in de bodem dan bij toediening onder de vorm van ureum in het conventionele systeem. Voor het geïntegreerde systeem werden geen significante verschillen gevonden met de andere systemen als de  $^{15}\text{N}$  werd toegediend via de kunstmest. De immobilisatie van de stikstof aangeleverd door het vanggewas is dus significant groter dan de immobilisatie van stikstof aangeleverd uit kunstmest. Dit werd ook bevestigd uit de lange termijn resultaten: na 10 jaar was de toename in bodemorganische stikstof significant verschillend tussen het conventionele systeem enerzijds en de geïntegreerde en biologische systemen anderzijds; de significantie was het grootst voor het verschil met het biologische systeem (Tabel 36).

**TABEL 35: RETRACEERBAARHEID VAN  $^{15}\text{N}$  IN MAÏS EN BODEM IN HET NAJAAR NA TOEDIENING IN HET VOORJAAR ONDER VORM VAN UREUM OF WIKKE. DE STANDAARD AFWIJING WORDT WEERGEGEVEN TUSSEN HAAKJES. WAARDEN GEVOLGD DOOR EEN VERSCHILLENDE LETTER ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE VAN ELKAAR (P < 0,10 VOOR DE TOTALE RETRACEERBAARHEID EN P < 0,05 VOOR DE RETRACEERBAARHEID IN GEWAS EN BODEM (KRAMER ET AL., 2002).**

Systeem	Aanvoer N	Aanvoer $^{15}\text{N}$	Retraceerbaarheid (%)		
			Totaal	Gewas	Bodem
Conventioneel	Ureum	Ureum	63 (8,3) a	40,1 (12) b	15,0 (8,7) b
Geïntegreerd	Wikke + ureum	Wikke	68 (12) a	18,9 (2,7) a	44,7 (14) a
Geïntegreerd	Wikke + ureum	Ureum	62 (16) a	29,3 (8,1) ab	26,6 (9,4) ab
Biologisch	Wikke + kippenmest	Wikke	73 (18) a	18,6 (1,9) a	43,6 (16) a

**TABEL 36: VERANDERINGEN IN BODEMSTIKSTOFGEHALTE OP LANGERE TERMIJN VOOR 3 VERSCHILLENDE SYSTEMEN (KRAMER ET AL., 2002).**

Systeem	Bodemstikstof (%)	
	in 1990	in 1998
Conventioneel	0,083	0,095
Geïntegreerd	0,090	0,107
Biologisch	0,089	0,116

In een gelijkaardige studie uitgevoerd in het vochtig continentaal klimaat van Pennsylvania (VS), werden een conventioneel en een geïntegreerd systeem vergeleken (Harris et al., 1994). De rotaties werden opgestart in 1981;  $^{15}\text{N}$  werd toegediend op een eerste reeks veldjes in mei 1987 en op een tweede reeks veldjes in mei 1988. Op de eerste reeks veldjes was de N-bemesting nog ongelijk: voor het conventionele systeem werd  $124 \text{ kg N ha}^{-1}$  onder vorm van ammoniumsulfaat toegediend, voor het geïntegreerde systeem  $165 \text{ kg N ha}^{-1}$  onder vorm van rode klaver (*Trifolium pratense*). Op de tweede reeks veldjes werd telkens  $124 \text{ kg N ha}^{-1}$  toegediend. Voor beide reeksen werd de  $^{15}\text{N}$  gedurende 2 jaar in het najaar opgevolgd, zowel in het volggewas als in de bodem. In het gewas werd telkens significant meer  $^{15}\text{N}$  teruggevonden uit kunstmest dan uit klaver (40% versus 17% van de input) en in de bodem werd het omgekeerde waargenomen (17% versus 47% van de input). Dit bevestigt dat de immobilisatie uit klaver groter was dan de immobilisatie uit kunstmest. Dit ging gepaard met een significant grotere hoeveelheid microbiële koolstof en N-mineralisatie. De N-verliezen waren over 2 jaar niet significant verschillend, maar in het eerst jaar groter uit kunstmest (38%) dan uit klaver (18%) en omgekeerd in het tweede jaar (4% versus 17% van de input). Dit toont de noodzaak aan van een aangepast bemestingsadvies bij het gebruik van vanggewassen.

Ook in Noord-Frankrijk (Constantin et al., 2010) verhoogde de inzaai van vanggewassen duidelijk de totale stikstofvoorraad in de bouwvoor. Na 13 tot 17 jaar werd uit de totale toename een jaarlijkse stijging van  $11,9$ ,  $22,2$  en  $24,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  berekend, voor respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Er werd echter geen significante correlatie gevonden tussen deze jaarlijkse stijging en de N-inhoud van de ingewerkte vanggewassen. Er werd wél een significante correlatie gevonden tussen de jaarlijkse stijging van de mineralisatie en de C-inhoud van de ingewerkte vanggewassen, wat het relatieve belang aantoont van immobilisatie.



## 9 DENITRIFICATIE

Denitrificatie is het proces waarbij, door het voorkomen van anaerobe omstandigheden in de bodem,  $\text{NO}_3^-$  in de plaats van  $\text{O}_2$  als elektronenacceptor wordt gebruikt door micro-organismen om koolstof te oxideren tot  $\text{CO}_2$ . Hierbij ontstaan gassen zoals  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  en  $\text{N}_2$  (Jahangir et al., 2012). Studies hebben aangetoond dat denitrificatie het meest intens is in de bovenste bodemlaag (Clement et al., 2002; Cosandey et al., 2003; Kustermann et al., 2010). Dit hangt sterk samen met het vochtgehalte en het organische stofgehalte van de bodem (Khalil & Baggs, 2005). Hill et al. (2004) vonden in bodems rijk aan organisch materiaal ook op grotere diepte (tot enkele meters onder het oppervlak) plaatsen waar de denitrificatiesnelheid hoog was.

Vanggewassen kunnen een effect hebben op de denitrificatieprocessen door hun invloed op het vocht- en organische stofgehalte van de bodem. Enerzijds transpireren vanggewassen water en verminderen zo de vochtvoorraad in de bodem en zorgen hun wortels voor een verbeterde bodemstructuur en een stimulatie van de bodembiotische activiteit. Samen zorgt dit voor een betere aeratie van de bodem, wat denitrificatie tegengaat. Anderzijds zal het toepassen van vanggewassen zowel op korte termijn als op lange termijn het organische koolstofgehalte in de bodem verhogen en denitrificatie in de hand werken.

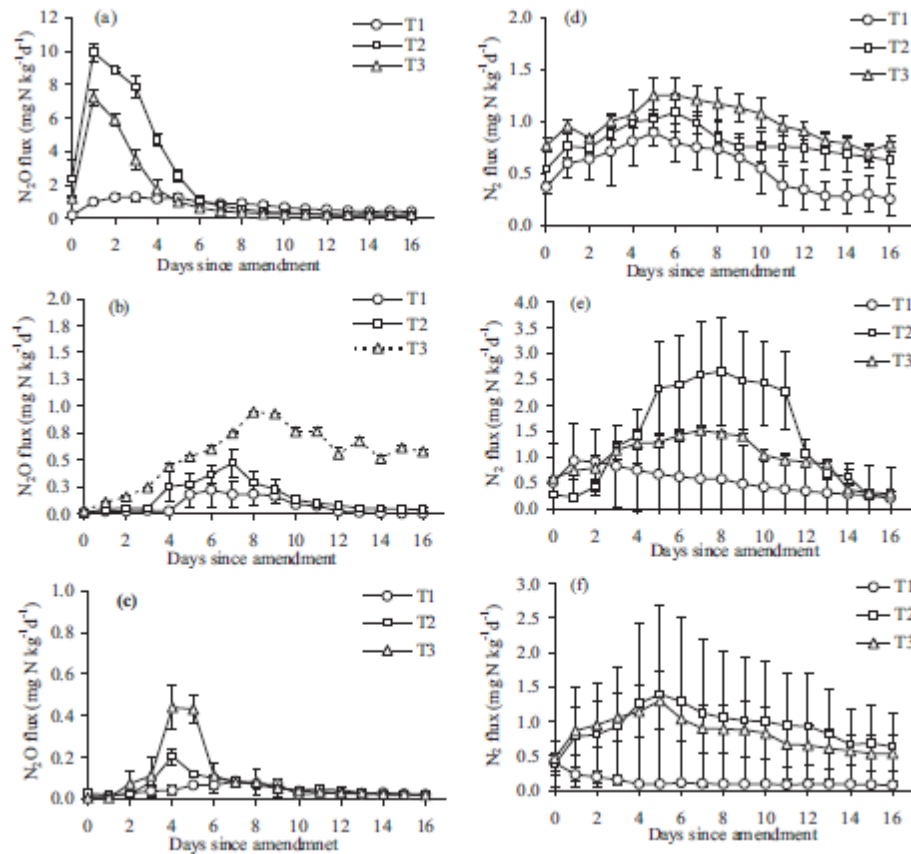
Denitrificatie zorgt voor een onnodig verlies van stikstof. Ondanks de grote stikstofoverschotten mag dit verlies ook in Vlaanderen niet beschouwd worden als een gunstig proces, aangezien, met uitzondering van  $\text{N}_2$ , alle gevormde gassen schadelijk zijn voor de atmosferische stabiliteit. Indien denitrificatie echter plaatsvindt dieper in de bodem, kunnen de gevormde gassen op hun weg naar boven gereduceerd worden tot  $\text{N}_2$ . Dit kan enkel als ook de bovenste bodemlaag grotendeels anaeroob is en voldoende rijk is aan organische koolstof. De vorm waaronder die organische koolstof voorkomt, is vaak belangrijker dan de totale hoeveelheid en beïnvloedt de snelheid waarmee de denitrificerende micro-organismen de koolstof kunnen consumeren (Ciarlo et al., 2007).

Een voor de micro-organismen limiterende C-hoeveelheid in de wortelzone is zeldzaam (Cheng et al., 1996), maar kan wel voorkomen in de diepere bodemlagen (Koch et al., 2001). In landbouwbodems gebeurt de microbiële assimilatie van N en P voornamelijk in de wortelzone, waar ook de opname door planten plaatsvindt. In de diepere bodemlagen treden hoofdzakelijk processen op die bijdragen tot nutriëntenverliezen. Toch kunnen N-overschotten ook in de wortelzone leiden tot denitrificatie (Smith and Tiedje, 1979).

Jahangir et al. (2012) namen bodemstalen van de A-, B- en C-horizont (respectievelijk op 0-10, 45-55 en 120-130 cm) op een intensief begraasd grasland in Wexford, Ierland. De textuur werd zwaarder met de diepte: van zandleem over leem tot klei. Het organisch koolstofgehalte nam respectievelijk af: 2,85 – 0,50 – 0,23%. Aan alle stalen werd  $\text{KNO}_3$  (90 mg  $\text{NO}_3^- \text{kg}^{-1}$  droge bodem) toegevoegd en voor elke horizont werden vervolgens 3 behandelingen opgezet: een controlebehandeling zonder toevoeging van koolstof en twee behandelingen met toevoeging van respectievelijk glucose en opgeloste organische koolstof geëxtraheerd uit de bovenste bodemlaag (telkens 150 mg C  $\text{kg}^{-1}$ ). Quasi anaerobe condities werden bereikt door water toe te voegen aan de bodemstalen totdat voor de 3 horizonten respectievelijk 80, 85 en 88% van de poriën gevuld was. Dit kwam telkens overeen met een vochtgehalte hoger dan bij veldcapaciteit. De incubatie werd uitgevoerd gedurende 17 dagen bij een constante temperatuur van 15°C.

De gemiddelde  $\text{N}_2\text{O}$ -flux was significant verschillend voor de drie horizonten (Figuur 43). Er werd minder  $\text{N}_2\text{O}$  geproduceerd met toenemende diepte. Dit effect wordt toegeschreven aan de afnemende beschikbaarheid van koolstof en de beperkte aanwezigheid van denitrificerende organismen (*Bacteria* en *Archaea*) op grotere diepte. Voor de A-horizont werden significante

verschillen gevonden tussen de 3 behandelingen: toevoeging van koolstof verhoogde de N<sub>2</sub>O-emissie en bij toevoeging onder de vorm van glucose is dit meer dan onder de vorm van opgeloste koolstof. In de B- en C-horizonten werd enkel een significant verschil in de gemiddelde N<sub>2</sub>O-flux gevonden tussen de controle enerzijds en de twee toevoegingen van koolstof anderzijds, maar niet tussen beide vormen. Waar koolstof werd toegevoegd, werd voor de A-horizont de hoogste N<sub>2</sub>O-flux waargenomen na 1 dag. Voor de controle was dit na 3 dagen. Voor de B- en C-horizonten werd de maximale flux voor de drie behandelingen teruggevonden tussen dag 4 en dag 8.



FIGUUR 43: FLUXEN VAN N<sub>2</sub>O (LINKS) EN N<sub>2</sub> (RECHTS) VOOR DE BODEMLAAG VAN 0-10 CM (A, D), 45-55 CM (B, E) EN 120-130 CM (C, F), BEÏNVLOED DOOR ENKEL NITRAAT (T1), DOOR NITRAAT EN GLUCOSE (T2) EN DOOR NITRAAT EN OPGELOSSE ORGANISCHE KOOLOSTOF (T3) (JAHANGIR ET AL., 2012).

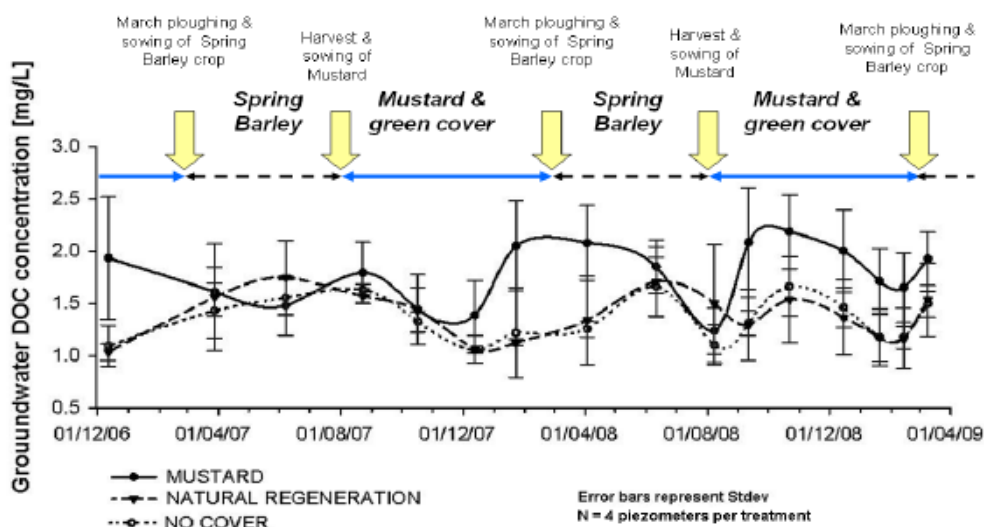
De gemiddelde N<sub>2</sub>-flux was enkel significant verschillend tussen de A- en C-horizont (Figuur 43). Voor de behandelingen met toevoeging van koolstof was de N<sub>2</sub>-flux voor de C-horizont steeds hoger dan voor de A-horizont. Dit is mogelijk toe te schrijven aan de hogere bulkdensiteit en het grotere aandeel met water gevulde poriën in de C-horizont. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen de 3 behandelingen, wellicht door de hoge nitraatconcentraties. Deze inhiberen immers de omzetting van N<sub>2</sub>O tot N<sub>2</sub>. Scholefield et al. (1997) beweerden dat met toenemende nitraatconcentratie de denitrificatie minder afhankelijk wordt van die nitraatconcentratie en evolueert van een 1<sup>e</sup>-orde reactie naar een 0<sup>e</sup>-orde reactie.

De molaire verhouding N<sub>2</sub>O/(N<sub>2</sub>O+N<sub>2</sub>) geeft aan welk deel van het gevormde N<sub>2</sub>O-gas niet verder werd gereduceerd tot N<sub>2</sub>-gas. Voor de A-horizont was deze verhouding significant groter dan voor de twee diepere bodemlagen. Dit is te verklaren door de toename in het aandeel met water gevulde poriën en komt overeen met wat eerder aangetoond werd door o.a. Scholefield et al. (1997) en Ciarlo et al.

(2007). De hogere bulkdensiteit en de lagere permeabiliteit vergroten de verblijftijd van  $N_2O$  in de diepere bodemlagen en vergroten de kans op omzetting tot  $N_2$ . Een andere verklaring voor de grotere  $N_2O/(N_2O+N_2)$ -verhouding is dat in de meer aerobe A-horizont, en bovendien rijker aan organische N, mogelijk nitrificatie optrad en het gevormde nitraat als geprefereerde elektronendonor op zijn beurt omgezet werd tot  $N_2O$ .

De  $N_2O$ -flux vertoonde significante positieve lineaire relaties met het totale organisch koolstofgehalte en het totaal stikstofgehalte van de bodem, maar op het moment van maximale flux werd een negatieve lineaire relatie gevonden met het nitraatgehalte. De  $N_2$ -flux was positief gecorreleerd met het organisch stikstofgehalte en negatief met het nitraatgehalte. De  $(N_2O+N_2)$ -flux vertoonde een significante lineaire relaties met zowel het totaal koolstofgehalte als het nitraatgehalte in de bodem. Voor koolstof was deze relatie positief, voor nitraat negatief.

Het contrast tussen de positieve correlatie met organische stikstof en de negatieve correlatie met anorganische stikstof toont aan dat de  $NH_4^+$ -N niet werd gemineraliseerd tot  $NO_3^-$ -N, maar werd geassimileerd door de denitrificerende micro-organismen, hetgeen hun activiteit vergrootte. Dit zou erop kunnen wijzen dat bij anaerobe omstandigheden door het gebruik van vanggewassen denitrificatie tot  $N_2$  gestimuleerd wordt: de inhiberende nitraten worden opgenomen en kunnen nadien vrijkomen als  $NH_4^+$ . Het verlies van plantensappen in de winter zorgt immers voor een continue bron van  $NH_4^+$ -N (zie deel 6.2). Daarnaast zijn deze plantensappen tevens een bron van toegankelijke organische koolstof, welke ook positief gecorreleerd is met de denitrificatie. Weliswaar is het belangrijk in te zien dat de omzetting van  $N_2O$  naar  $N_2$  efficiënter verloopt in de diepere bodemlagen omwille van de lagere zuurstof- en nitraatconcentratie en de hogere bulkdensiteit. Bij vanggewassen is er dus wel een reëel risico op een grote vrijstelling van  $N_2O$  uit de bovenste bodemlaag. Toch is een stimulatie van de denitrificatie in de verzadigde zone ook mogelijk; Premrov et al. (2009) toonden aan dat er bij het gebruik van gele mosterd een toename was van de opgeloste organische koolstof in het ondiep grondwater (zie Figuur 44). Er wordt aangenomen dat deze extra koolstof afkomstig is van de wortels van de gele mosterd. Ondanks de hogere concentratie aan koolstof als elektronenacceptor bleek het grondwater in dit onderzoek te overvloedig voorzien van zuurstof om nitraten als elektronendonor te doen fungeren.



FIGUUR 44: GEMIDDELDE CONCENTRATIES AAN OPGELOSSE ORGANISCHE KOOLSTOF IN HET GRONDWATER ONDER GELE MOSTERD, ONDER NATUURLIJKE HERGROEI EN ONDER BRAAK (PREMROV ET AL., 2009).

De hoeveelheid stikstof die betrokken is in het proces van denitrificatie kan ook ingeschat worden door de N-balans op te stellen. Constantin et al. (2010) definiëren de N-balans als volgt:

$$N_{\text{balans}} = N_{\text{depositie}} + N_{\text{mest}} + N_{\text{fixatie}} - N_{\text{oogst}}$$

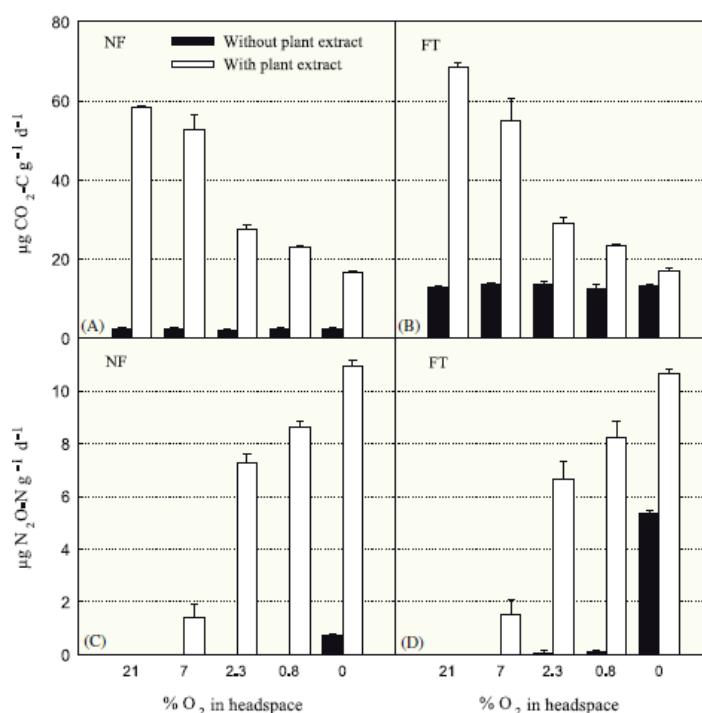
De N-balans werd door Mary et al. (2002) ook beschreven als:

$$N_{\text{balans}} = N_{\text{uitspoeling}} + N_{\text{denitrificatie}} + N_{\text{opslag}}$$

met de N-opslag het verschil tussen de som van minerale en organische stikstof in de bodem voordien en nadien.

Aangezien Constantin et al. (2010) met uitzondering van de denitrificatie alle termen bepaalden in hun lange-termijnexperimenten (de uitspoeling werd opgemeten met lysimeters), was het mogelijk de denitrificatie te berekenen voor 3 verschillende bodemtypes. Gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras vertoonden telkens een afname in de N-uitspoeling in vergelijking met de controlebehandeling zonder vanggewas. Dit leidde tot verschillen van 7 tot 25 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in de som van de denitrificatie en de N-opslag. Voor de N-opslag werden echter gelijkaardige verschillen gevonden, waaruit besloten werd dat het gebruik van vanggewassen de denitrificatiesnelheid niet significant beïnvloedde.

Het is bekend dat een afwisseling van vorst en dooi tijdens de winter en in het vroege voorjaar een effect heeft op het vrijkomen van N<sub>2</sub>O. Kort na de dooi worden hogere concentraties van het gas waargenomen, deels toe te schrijven aan de vrijstelling van fysisch beschermd organisch materiaal en deels aan de afbraak van afgestorven micro-organismen. Het verhoogde O<sub>2</sub>-verbruik (door mineralisatie van het vrijgestelde organisch materiaal) en het hoger vochtgehalte bij dooi zorgen voor meer anaerobe condities in de bodem, hetgeen denitrificatie bevordert. Bovendien vermindert de activiteit van het enzym N<sub>2</sub>O-reductase bij lage positieve temperaturen. Mørkved et al. (2006) onderzochten a.d.h.v. een 9 uur durende incubatie bij 5°C het effect van vorst-dooiverschijnselen en de toevoeging van plantensap op de denitrificatie in zwaar zandleem. De initiële O<sub>2</sub>-concentraties liepen van 0 tot 21% (Figuur 45).



**FIGUUR 45: CO<sub>2</sub>- EN N<sub>2</sub>O-EMISSIONS UIT BODEMS NA VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN EN BIJ VERSCHILLENDE INITIËLE O<sub>2</sub>-CONCENTRATIES. AAN NIET-BEVROREN (NF) EN AFWISSELEND BEVROREN EN ONTDOOIDE BODEMS (FT) WERD GEDEMINEALISEERD WATER (ZWART) OF PLANTENSAP (WIT) TOEGEVOEGD (MØRKVED ET AL., 2006).**

Uit Figuur 45 blijkt dat de denitrificatiesnelheid sterk toenam door het toevoegen van plantensap en dat die toename groter was naarmate de initiële O<sub>2</sub>-concentratie daalde. De volledig aerobe en anaerobe beginsituaties sloten hier niet bij aan; bij 21% O<sub>2</sub> werd zowel met als zonder toevoeging van plantensap geen N<sub>2</sub>O vrijgesteld en bij 0% O<sub>2</sub> kwam ook zonder toevoeging van plantensap een relatief grote hoeveelheid N<sub>2</sub>O vrij.

Het effect van afwisselend bevroren en ontdooien op de denitrificatie was enkel significant positief voor bodems zonder toevoeging van plantensap bij incubatie met lage initiële O<sub>2</sub>-concentraties (0 – 2,3%).

Toevoegen van plantensap aan de bodem verhoogde de nitraatconcentratie van 4,0 µg g<sup>-1</sup> droge bodem tot 6,0 µg g<sup>-1</sup> droge bodem. Denitrificatie bleek echter niet significant beïnvloed te worden door de nitraatconcentratie in de bodem tijdens een anaerobe incubatie van 24 uur. Bovendien was maximum 4,4 % van het gevormde N<sub>2</sub>O-gas afkomstig van N gemineraliseerd uit het plantensap.

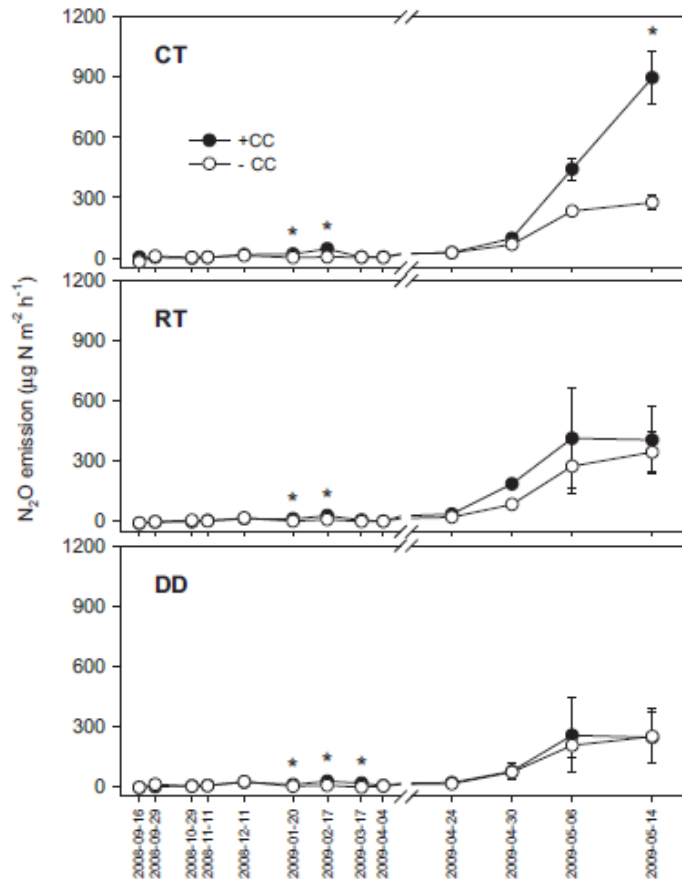
Zonder toevoeging van plantensap verhoogde het afwisselend bevroren en ontdooien van de bodem de respiratie met een factor 5 tot 6. De CO<sub>2</sub>-productie was onafhankelijk van de initiële O<sub>2</sub>-concentratie bij de incubatie. Dit toont aan dat het gebrek aan O<sub>2</sub> hier gecompenseerd wordt door het denitrificatieproces, wat bovendien gestaafd wordt door de molaire verhouding van N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub>. Het toevoegen van plantensap verhoogde de CO<sub>2</sub>-productie, zowel zonder als met vorstperiodes. Dit effect verkleinde met afnemende initiële O<sub>2</sub>-concentraties van de incubatie. De lagere CO<sub>2</sub>-productie in anaerobe omstandigheden toont aan dat het denitrificatieproces het gebrek aan O<sub>2</sub> in dit geval niet kan compenseren.

Cavigelli en Robertson (2000, 2001) ontdekten dat de O<sub>2</sub>-gevoeligheid van denitrificerende bacteriën afhangt van het bodemgebruik. De bacteriën van braakliggende landbouwbodems bleken gevoeliger voor O<sub>2</sub> en de verhouding N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub> lag hoger dan voor bacteriën van een bodem begroeid met een nateelt. Bovendien blijkt de samenstelling van de denitrificerende microbiële gemeenschap ook een invloed uit te oefenen op de denitrificatiesnelheid en de verhouding N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>.

Naast de omzetting van nitraat tot NO, N<sub>2</sub>O en N<sub>2</sub>, is er ook sprake van dissimilatieve nitraatreductie tot ammonium, afgekort DNRA (Silver et al., 2001). Enkel bacteriën die beschikken over het nrf-gen kunnen dit denitrificatieproces uitvoeren. Landbouwbodems met een hoge concentratie aan labiele C blijken een grotere NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-verhouding te hebben, wat suggereert dat het belang van het DNRA-proces wel degelijk beïnvloed kan worden. Aangezien ammonium minder gevoelig is aan uitspoeling dan nitraat, is dit niet onbelangrijk (Drinkwater et al., 1995).

In West-Denemarken werd in 2002 een proef aangelegd op een zandige leembodem met als variabelen de teeltrotatie en het type bodembewerking in het voorjaar (Petersen et al., 2011). Drie types bodembewerking werden vergeleken: directe inzaai (DD) zonder bodembewerking, inzaai na een conventionele bewerking (CT) met een ploeg tot een diepte van 20 cm en inzaai na een dubbele gereduceerde bewerking (RT) met een eg tot een diepte van 10 cm. Binnen één rotatie onderzochten Petersen et al. (2011) in het najaar van 2008 en het voorjaar van 2009 het effect van de bodembewerking en het gebruik van een vanggewas op de denitrificatie. Het hoofdgewas in 2008 was zomergerst (*Hordeum vulgare L.*) en werd geoogst eind augustus; het stro bleef hierbij achter op het veld. Drie weken voorafgaand aan de oogst van de gerst werd bladrammenas (*Raphanus sativus L.*) breedwerpig ondergezaaid. De behandelingen zonder vanggewas werden na de oogst met glyfosaat bespoten. Er was géén najaarsbemesting. Begin april werd het vanggewas met glyfosaat afgedood in de RT- en DD-behandelingen. De CT-behandeling werd midden april gefreesd. In de 2<sup>e</sup> helft van april werden de respectievelijke bodembewerkingen uitgevoerd, werd varkensmest geïnjecteerd (8 cm diep, 33 t ha<sup>-1</sup>, 100 kg NH<sub>4</sub>-N ha<sup>-1</sup>) en werd aansluitend opnieuw zomergerst ingezaaid.

De N<sub>2</sub>O-emissie werd opgevolgd aan de hand van statische kamers. Algemeen bleef de N<sub>2</sub>O-emissie laag tot net na de bemesting in april (Figuur 46). Tijdens de wintermaanden werd een beperkte verhoging waargenomen onder bladrammenas, wellicht door vrijstelling van labiele C en N uit het vorstgevoelige vanggewas. Na het toedienen van de mengmest was er een sterke stijging van de N<sub>2</sub>O-emissies voor alle behandelingen.



**FIGUUR 46: N<sub>2</sub>O-EMISSIONS UIT VELDIES MET (+CC) EN ZONDER (-CC) VANGGEWAS TUSSEN SEPTEMBER 2009 EN MEI 2009. DE BODEMBEWERKINGEN WAREN VERSCHILLEND SINDS 2002 (CT = PLOEGEN, RT = EGGEN, DD = DIRECTE INZAAI). BEPERKT SIGNIFICANTE VERSCHILLEN (0,05 < P < 0,10) ZIJN AANGEDUID MET EEN ASTERISK (PETERSEN ET AL., 2011).**

Er werden geen significante verschillen waargenomen tussen de zes behandelingen, hoewel een trend kon worden vastgesteld: het verschil tussen de behandelingen mét en zonder vanggewas werd groter met toenemende intensiteit van de bodembewerking (Figuur 46). Petersen et al. (2011) schrijven dit toe aan de volgende 3 redenen:

1. Hoe dieper het vanggewas wordt ingewerkt, hoe sneller door mineralisatie anaërobie condities kunnen ontstaan.
2. Het contact tussen de mengmest en het vanggewas wordt verbeterd door de bodembewerking, wat opnieuw leidt tot een snelle mineralisatie en tot het ontstaan van zuurstoftekorten.
3. Het bewerken van de bodem vergroot de porositeit van de bodem, waardoor N<sub>2</sub>O kan ontsnappen naar de atmosfeer alvorens verder gereduceerd te worden tot N<sub>2</sub>.

Een grotere porositeit (punt 3) suggereert een tegenovergesteld effect op de aanmaak van N<sub>2</sub>O, aangezien ook O<sub>2</sub> er gebruik van kan maken en anaërobie condities zo minder frequent opduiken. Hierbij is natuurlijk het bodemvochtgehalte van belang en de neerslaggegevens (Petersen et al., 2011) tonen aan dat mei 2009 een behoorlijk natte maand was. Ook de eventuele aanwezigheid van een

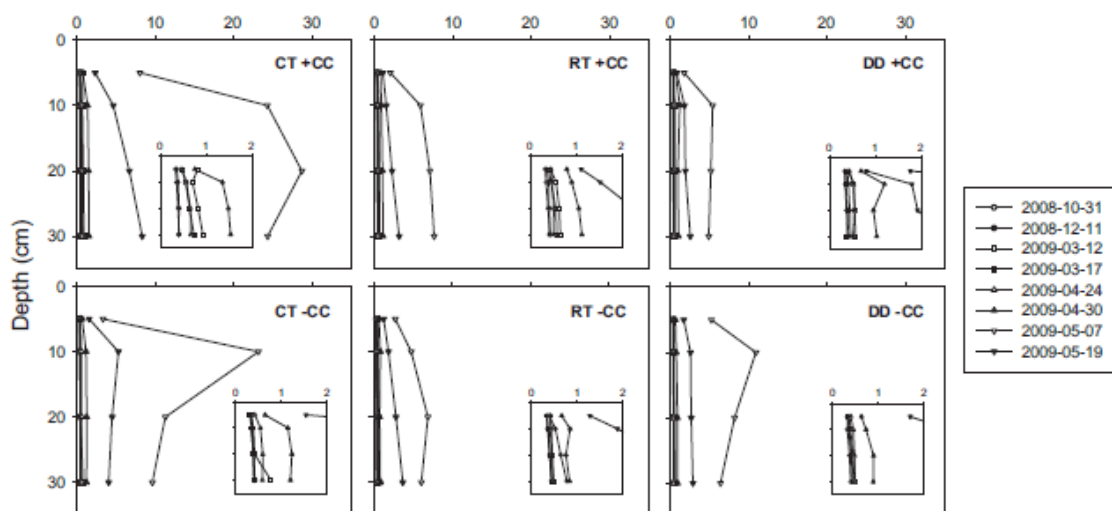
ploegzool kan bij de CT-behandeling van invloed geweest zijn. Onderzoek in het laboratorium (Drury et al., 2003; Lee et al., 2006) staft trouwens dat N<sub>2</sub>O-emissies eerder beïnvloed worden door biochemische factoren en door het bodemvochtgehalte dan door verschillen in de bodemstructuur.

Indien de gemeten N<sub>2</sub>O-emissies worden geaccumuleerd over de hele periode, wordt duidelijk een grotere productie van N<sub>2</sub>O waargenomen wanneer een vanggewas wordt ingezaaid (zie Tabel 37). De toename is meer uitgesproken bij de conventionele bodembewerking. Het lijkt dus interessant om vanggewassen niet-conventioneel in te werken om grotere N<sub>2</sub>O-emissies tegen te gaan.

TABEL 37: N<sub>2</sub>O-EMISSION TUSSEN 16/09/08 EN 14/05/09, OOK UITGEDRUKT IN CO<sub>2</sub>-EQUIVALENTEN (PETERSEN ET AL., 2011).

Treatment	N <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> eq t ha <sup>-1</sup>
CT + CC <sup>2</sup>	3.86	1.15
CT - CC	1.57	0.47
DD + CC	2.17	0.65
DD - CC	1.6	0.48
RT + CC	3.03	0.9
RT - CC	1.96	0.58

Petersen et al. (2011) volgden ook de N<sub>2</sub>O-concentraties in de bodemlucht op voor verschillende dieptes (zie Figuur 47). De activiteiten in het veld eind april hebben duidelijke een stimulerend effect op de N<sub>2</sub>O-concentraties, welke bij de conventionele bodembewerking het hoogste niveau bereiken. De invloed van de bladrammenasresten is daar ook het meest uitgesproken; het ondergeploegde vanggewas veroorzaakt ook op grotere diepte hogere N<sub>2</sub>O-concentraties.



FIGUUR 47: GEMIDDELTE N<sub>2</sub>O-CONCENTRATIES IN DE BODEMLUCHT OP VERSCHILLENDE DIEPTES EN VOOR DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN (CT = PLOEGEN, RT = EGGEN, DD = DIRECTE INZAAI; +CC = MET VANGGEWAS, -CC = ZONDER VANGGEWAS) (PETERSEN ET AL., 2011).

Berekening van de N<sub>2</sub>O-flux op basis van de concentratiegradiënt in de bodemlaag van 5 tot 10 cm resulteerde niet in een goede voorspelling van de gemeten N<sub>2</sub>O-emissies aan de oppervlakte. De gemeten emissies lagen steeds hoger dan de voorspelling. De verschillen waren vooral groot voor de niet-conventionele bodembewerkingen, wellicht omdat zowel de bladrammenasresten als de mengmest zich daar concentreren in de bovenste bodemlaag en het aandeel van de N<sub>2</sub>O-productie in de bovenste 5 cm veel hoger lag dan in de laag van 5 tot 10 cm (Petersen et al., 2011).

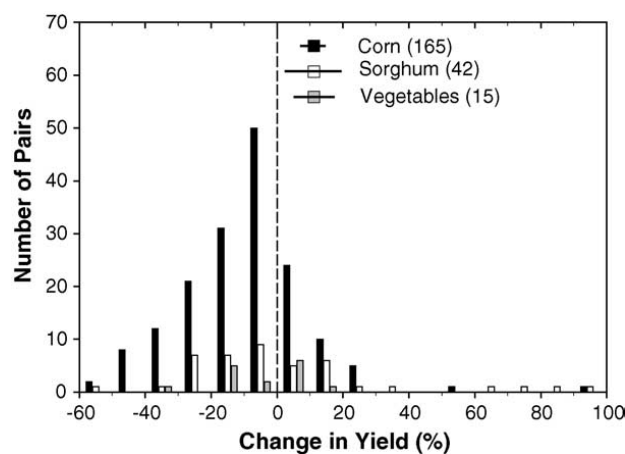
De effecten van vanggewassen op de denitrificatie blijken, gebaseerd op bovenstaande onderzoeksresultaten, niet zo eenduidig. Er werden zowel geen als positieve effecten van vanggewassen op de denitrificatiesnelheid aangetoond. De aanwezigheid van vanggewassen in de winter zou wel de omzetting van  $N_2O$  tot  $N_2$  bevorderen. Het inwerken van vanggewassen zou dan weer de productie van  $N_2O$  verhogen, een effect dat toeneemt bij het toedienen van mengmest in het voorjaar en naarmate de vanggewassen dieper ingewerkt worden.



## 10 VANGGEWASSEN EN N-FIXATIE IN DE BIOLOGISCHE LANDBOUW

In de biologische landbouw worden geen minerale meststoffen gebruikt en is de gewasgroei meestal gelimiteerd door de stikstofbeschikbaarheid (Lu et al., 1999). Er worden vaker vlinderbloemige vanggewassen gebruikt, aangezien deze een grotere netto N-opbrengst opleveren. In de biologische landbouw mogen geen minerale meststoffen gebruikt worden en dus wordt er deels gerekend op de nalevering van de N die vrijgesteld wordt na het inwerken van het vanggewas.

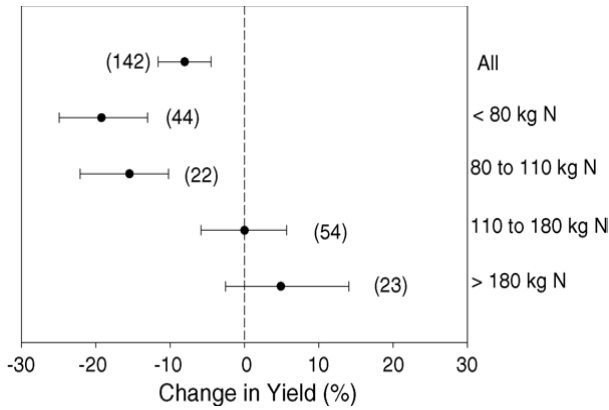
Tonitto et al. (2006) analyseerden resultaten uit 35 Amerikaanse en Europese studies die conventionele systemen (bemesting onder anorganische vorm en geen vanggewas in het najaar) vergeleken met systemen die volledig afhankelijk zijn van de stikstof aangeleverd door N-fixerende vanggewassen (zie ook deel 7). Voor de verschillende studies lag de gemiddelde gewasopbrengst van de hoofdteelt voor dergelijke biologische systemen 10% lager dan voor conventionele systemen (Figuur 48).



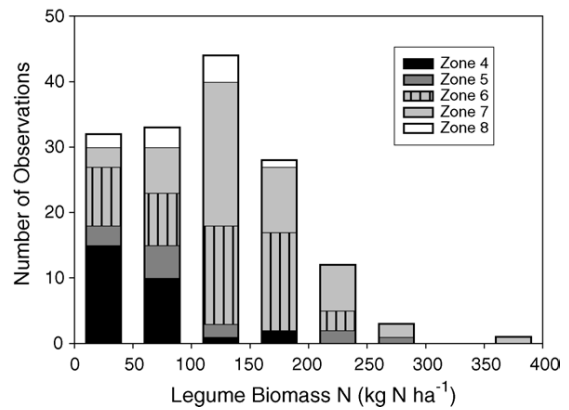
**FIGUUR 48: VERDELING VAN DE RELATIEVE OPBRENGSTEN VAN MAÏS, SORGHUM EN GROENTEN BEKOMEN IN EEN SYSTEEM VOLLEDIG AFHANKELIJK VAN N-FIXERENDE VANGGEWASSEN T.O.V. DE OPBRENGSTEN BEKOMEN IN EEN CONVENTIONEEL SYSTEEM. HET 95% BETROUWBAARHEIDINTERVAL EN HET AANTAL VERGELEKEN PAREN PER HOOFDTEELT ZIJN IN DE LEGENDE WEERGEGEVEN.**

Door de studies te sorteren op N-input uit het vanggewas, kon aangetoond worden dat er geen significante verschillen waren voor de gewasopbrengsten voor een N-input tussen  $110 \text{ kg N ha}^{-1}$  en  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  (zie Figuur 49). 54% van alle waarnemingen toonde voor de N-fixerende vanggewassen een N-opbrengst van meer dan  $110 \text{ kg N ha}^{-1}$ . De waarnemingen met lagere N-opbrengsten waren meer vertegenwoordigd in de klimaatzones met extreme winters (zie Figuur 50).

Vlinderbloemigen zouden in het najaar echter minder  $N_{\min}$  uit de bodem opnemen aangezien een deel van de nodige N aangeleverd wordt door symbiotische N-fixerende bacteriën. Bovendien is het risico op uitspoeling in de biologische landbouw niet kleiner dan in de gangbare landbouw. In een veldproef in Denemarken (Sapkota et al., 2012) was de N-uitspoeling groter voor de biologische teeltwijze dan voor de conventionele. De bemesting op de zomergerst was ofwel  $130 \text{ kg N ha}^{-1}$  onder de vorm van kunstmest, ofwel tussen de  $56$  en  $65 \text{ kg N ha}^{-1}$  onder de vorm van varkensmest. De mineralisatie van N uit de organische mest in het najaar leidt wellicht tot de hogere N-uitspoeling. Het is dus belangrijk na te gaan of ook vlinderbloemige vanggewassen voldoende  $N_{\min}$  kunnen opnemen om dit effect tegen te gaan.

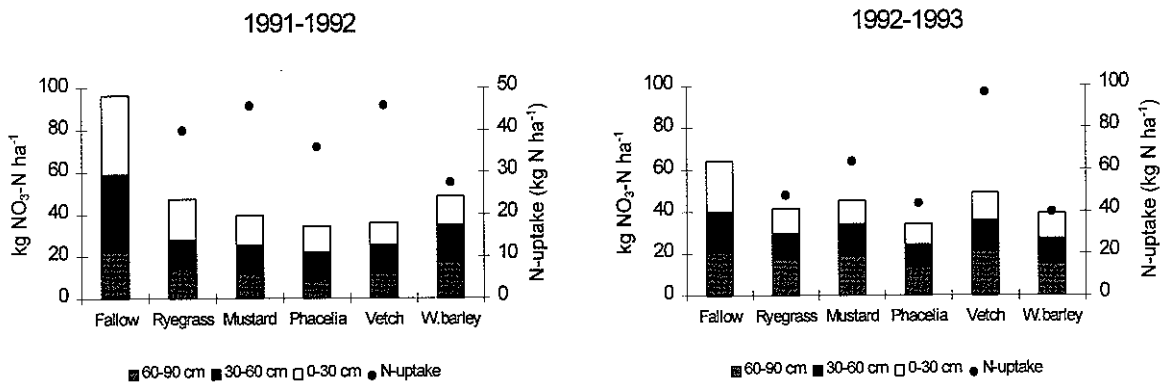


FIGUUR 49: RELATIEVE OPBRENGSTEN VAN DE HOOFDTEELT BEMEST MET N-FIXERENDE VANGGEWASSEN T.O.V. DE OPBRENGSTEN BEKOMEN IN EEN CONVENTIONEEL SYSTEEM. HET GEMIDDELDE, HET 95% BETROUWBAARHEIDINTERVAL EN HET AANTAL VERGELEKEN PAREN ZIJN WEERGEGEVEN PER INTERVAL VOOR DE N-OPBRENGST VAN DE N-FIXERENDE VANGGEWASSEN.



FIGUUR 50: VERDELING VAN DE WAARNEMINGEN OVER DE N-OPBRENGST VAN DE N-FIXERENDE VANGGEWASSEN, INGEDEELD IN INTERVALLEN VAN 50 KG N HA<sup>-1</sup>. DE WAARNEMINGEN ZIJN TEVEN OPGEDEELD IN DE USDA WINTERKLIAMATZONES (HOE KLEINER HET CIJFER, HOE STRENGER DE WINTER. VLAANDEREN LIGT IN ZONE 8).

Onderzoek van Vandendriessche et al. (1996) over 2 proefjaren toont een uitgesproken effect van vanggewassen op het N<sub>min</sub>-gehalte in de bodem in het najaar (Figuur 51). Bij een hogere N-beschikbaarheid in het 1<sup>e</sup> proefjaar wordt voor alle vanggewassen met uitzondering van wintergerst een gelijkaardig nitraat-N-residu in de bodem en een gelijkaardige opname vastgesteld. Bij een lagere N-beschikbaarheid in de bodem in het 2<sup>e</sup> proefjaar was vooral de opname door wikke opvallend groter dan die van de andere vanggewassen, terwijl het N<sub>min</sub>-gehalte in de bodem onder wikke vergelijkbaar tot slechts iets hoger is dan onder de andere vanggewassen. Er is dus duidelijk een effect van de symbiose tussen wikke en de N-fixerende bacteriën. Bovendien is wikke dus zeker in staat het N<sub>min</sub>-gehalte in de bodem in het najaar terug te dringen tot op een niveau vergelijkbaar aan dat voor de andere vanggewassen.



FIGUUR 51: NITRAAT-N-RESIDU (KG NO<sub>3</sub>-N HA<sup>-1</sup>) IN HET BODEMPROFIEL OP 23/10/1991 EN 04/11/1992 VOOR HET PLOEGEN EN DE STIKSTOFOPNAME (KG N HA<sup>-1</sup>) DOOR DE VANGGEWASSEN (VANDENDRIESSCHE ET AL., 1996).

## 11 REFERENTIES

- Abawi, G.S. & Widmer, T.L., 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology* 15, 37-47.
- Aoyama, M., Angers, D.A., N'Dayegamiye, A. & Bissonnette, N., 2000. Metabolism of <sup>13</sup>C-labeled glucose in aggregates from soils with manure application. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 295-300.
- Anoniem, 2011. Gids demoveldbezoeken najaar 2011 'Groenbedekkers, een brongerichte maatregel' Landbouw & Visserij en Inagro. [http://www.inagro.be/Publicaties/Documents/Brochure\\_Groenbedekkers\\_2011.pdf](http://www.inagro.be/Publicaties/Documents/Brochure_Groenbedekkers_2011.pdf)
- Berntsen, J., Olesen, J.E., Petersen, B.M. & Hansen, E.M., 2006. Long-term fate nitrogen uptake in catch crops. *Eur. J. Agr.* 25, 383-390.
- Blanco-Canqui, H. & Lal, R., 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Crit Rev Plant Sci* 28, 139-163.
- Bodemkundige Dienst van België vzw, Afdeling Land- en tuinbouw., 2003. Nitraatresidumetingen voor de beheerovereenkomsten water: mogelijkheden en uitdagingen. Niet gepubliceerd artikel BDB.
- Bodemkundige Dienst van België vzw (BDB) en Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne, 2006. Analyse van Nitraatstikstofresidumetingen in de tuinbouw – Eindrapport. Vlaamse Landmaatschappij Afdeling Mestbank, Brussel. 177 p.
- Bonthuis, H., Donner, D.A., & van Vliegen, A., 2007. 82e Rassenlijst voor Landbouwgewassen 2007. Geraadpleegd op: <http://edepot.wur.nl/282844>
- Brust, J., Gerhards R., Karanisa, T., Ruff, L. & Kipp, A., 2011. Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. *Gesunde Pflanzen* 63, 191-198.
- Cavigelli, M.A. & Robertson, G.P., 2000. The functional significance of denitrifier community composition in a terrestrial ecosystem. *Ecology* 81, 1402-1414.
- Cavigelli, M.A. & Robertson, G.P., 2001. Role of denitrifier diversity in rates of nitrous oxide consumption in a terrestrial ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry* 33, 297-310.
- Chen, G. & Weil, R., 2010. Penetration of cover-crop roots through compacted soils. *Plant Soil* 331, 31-43.
- Cheng, W., Zhang, Q., Coleman, D.C., Carroll, C.R. & Hoffman, C.A., 1996. Is available carbon limiting microbial respiration in the rhizosphere? *Soil Biology & Biochemistry* 28, 1283-1288.
- Cheng, W., Johnson, D.W. & Fu, S., 2003. Rhizosphere effects on decomposition: controls of plant species, phenology and fertilization. *Soil Science Society of America Journal* 67, 1418-1427.
- Clement, J.C., Pinay, G. & Marmonier, P., 2002. Seasonal dynamics of denitrification along topohydrosequences in three different riparian wetlands. *J. Environ. Qual* 31, 1025-1037.
- Ciarlo, E., Conti, M., Bartolini, N. & Rubio, G., 2007. The effect of moisture on nitrous oxide emissions from soil and the N<sub>2</sub>O/(N<sub>2</sub>O+N<sub>2</sub>) ratio under laboratory conditions. *Biol. Fertil. Soils* 43, 675-681.

- Constantin, J., Mary, B., Laurent, F., Aubrion, G., Fontaine, A., Kerveillant, P. & Beaudoin, N., 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 268-278.
- Constantin, J., Beaudoin, N., Laurent, F., Cohan, J.P., Duyme, F. & Mary, B., 2011. Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. *Plant Soil* 341, 137-154.
- Cosandey, A.C., Maitre, V. & Guenat, C., 2003. Temporal denitrification patterns in different horizons of two riparian soils. *European Journal of Soil Science* 54, 25-37.
- Darwinkel, A., 1997. Teelthandleiding wintertarwe. PPO-agv, via Kennisakker.nl.
- Debussche, B., 2010. Presentatie: Groenbedekking: teelttechnische en financiële aspecten. [http://www.prosensols.eu/nl/agenda/presentatie\\_bart.pdf](http://www.prosensols.eu/nl/agenda/presentatie_bart.pdf)
- De Neve, S., 2000. Modelling and non-destructive real-time monitoring of nitrogen mineralization from vegetable crop residues and from soil organic matter. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 181 p.
- De Neve, S., Pannier, J. & Hofman, G., 1996. Temperature effects on C- and N-mineralization from vegetable crop residues. *Plant and Soil* 181, 25-30.
- Destain, J.P., Reuter, V. & Goffart, J.P., 2010. Les cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) et engrais verts: protection de l'environnement et intérêt agronomique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(S1), 73-78.
- De Toffoli, M., Bontemps, P.-Y., Lambert, R., 2010. Synthèse de résultats d'essais de cultures intermédiaires pièges à nitrate à l'Université catholique de Louvain. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(S1), 79-89.
- Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K., Workneh, F., Van Bruggen, A.H.C. & Shennan C., 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 5, 1098-1112.
- Drinkwater, L.E. & Snapp, S.S., 2007. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. *Advances in Agronomy* 92.
- Drury, C.F., Zhang, T.Q. & Kay, B.D., 2003. The non-limiting and least limiting water ranges for soil nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Journal* 67, 1388-1404.
- Fliessbach, A., Mader, P. & Niggli, U., 2000. Mineralization and microbial assimilation of <sup>14</sup>C--labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 1131-1139.
- Formesyn, M., 1994. Modelling van de C- en N-mineralisatie uit oogstresidu's van groenten. Afstudeerwerk, Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 135 p.
- Geypens M. & Honnay J.P., 1995. Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem. IWONL, Brussel, 168 p.
- Goffart, J.P., Destain, J.P., Ninane, V. & Meeus-Verdinne, K., 1997. Gérer l'interculture pour vise rune meilleure maîtrise de l'azote. Applications aux cultures intermédiaires. In: *Beheersing van*

- mineralenstromen in de ruwvoederwinning. Studie- en vervolmakingsdag, K.VIV.-Technologisch Instituut, Meise, 1997.
- 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.
- Harris, G.H., Hesterman, O.B., Paul E.A., Peters, S.E. & Janke, R.R., 1994. Fate of legume and fertilizer N-15 in a long-term cropping systems experiment. *Agronomy Journal* 86, 910-915.
- Hendrickx G., Boon W., Bries J., Kempeneers L., Vandendriessche H., Deckers S. & Geypens M., 1992. De chemische bodemvruchtbaarheid van het Vlaamse akkerbouw- en weilandareaal (1989-1991). Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 143 p.
- Herelixa E., Vogels N., Vanongeval L., Geypens M., Oorts K., Rombauts S., Sammels L., Verstraeten W.W., El-Sadek A., Feyen, J., Coppens F., Merckx R., D'Haene K., Moreels E., De Neve S., Salomez J., Boeckx P., Hofman G., Van Cleemput O., Librecht I., Wellens, J. & Van Orshoven J., 2002. Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument. Eindrapport deel 2. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 247 p.
- Hermans, I., Elsen, A. & Bries, J., 2010. Groenbemesters en nitraatresidu. BDB, Heverlee, 41 p.
- Hill, A.R., Vidon, P.G.F. & Langat, J., 2004. Denitrification potential in relation to five headwater riparian zones. *J. Environ. Qual.* 33, 911-919.
- Hoek, H., 2011. Aaltjes en groenbemesters. <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/aaltjes-en-groenbemesters>
- Jahangir, M.M.R., Khalil, M.I., Johnston, P., Cardenas, L.M., Hatch, D.J., Butler, M., Barrett, M., O'flaherty, V. & Richards, K.G., 2012. Denitrification potential in subsoils: a mechanism to reduce nitrate leaching to groundwater. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 13-23.
- Justes, E., Mary, B. & Nicolardot, B., 2009. Quantifying and modeling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in the soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non-mature residues. *Plant and Soil* 325, 171-185.
- Khalil, M.I. & Baggs, E.M., 2005. Soil water-filled pore space affects the interaction between CH<sub>4</sub> oxidation, nitrification and N<sub>2</sub>O emissions. *Soil Biology & Chemistry* 37, 1785-1794.
- Knobeloch, L., Salna, B., Hogan, A., Postle, J. & Anderson, H., 2000. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environmental Health Perspectives* 108, 7.
- Koch, B., Worm, J., Jensen, L.E., Højberg, O. & Nybroe, O., 2001. Carbon limitation induces  $\sigma(s)$ -dependent gene expression in *Pseudomonas fluorescens* in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 3363-3370.
- Korsaeth, A., Henriksen, T.M. & Bakken, L.R., 2002. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and N losses. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 789-799.
- Kramer, A.W., Doane, T.A., Horwath, W.R. & van Kessel, C., 2002. Short-term nitrogen-15 recovery vs. long-term total soil N gains in conventional and alternative cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 43-50.

- Kuhlmann, H., Barraclough, P.B. & Weir, A.H., 1989. Utilization of mineral nitrogen in the subsoil by winter wheat. *Zeitung Fur Pflanzenernahrung Bodenkunde* 152, 291-295.
- Kustermann, B., Christen, O. & Hulsgergen, K., 2010. Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 70-80.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627.
- Lee, J., Six, J., King, A.P., Van Kessel, C. & Rolston, D.E., 2006. Tillage and field scale controls on greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Quality* 35, 714-725.
- Leeuwen-Haagsma, W. van en Schröder, J.J., 2002. Groenbemesters en rustgewassen: noodzakelijke bouwstenen voor een optimale vruchtwisseling. *Biologisch bedrijf onder de loep: biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt in perspectief / Wijnands, F.G., J.J. Schröder & R. Booij (eds). Lelystad : PPO, 2002. - PPO-rapport 303, 175-190.*
- Lu, Y.C., Watkins, B. & Teasdale, J. (1999). Economic analysis of sustainable agricultural cropping systems for mid-Atlantic states. *Journal of Sustainable Agriculture* 15, 77-93.
- Maes S., Elsen A., Tits M., Boon W., Deckers S., Bries J., Vogels N. & Vandendriessche H., 2012. *Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw- en weilandpercelen (2008-2011). Bodemkundige Dienst van België, 198 p.*
- Marschner, H., 1995. *Mineral nutrition of higher plants. Academic Press 889, Londen, VK.*
- Marschner, H. & Dell, B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *International Symposium on Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry. Perth, Australië, 1992.*
- Mary, B., Laurent, F. & Beaudoin, N., 2002. Sustainable management of nitrogen fertilization. In: *Proceedings of the 65<sup>th</sup> IIRB Congress, 59-65, Brussel.*
- Misra, R.K., 1997. Maximum axial growth pressures of the lateral roots of pea and eucalypt. *Plant Soil* 188, 161-170.
- Mørkved, P.T., Dörsch, P., Henriksen, T.M. & Bakken, L.R., 2006. N<sub>2</sub>O emissions and product ratios of nitrification and denitrification as affected by freezing and thawing. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 3411-3420.
- Mutegi, J.K., Petersen, B.M., Munkholm, L.J. & Hansen, E.M., 2011. Belowground carbon input and translocation potential of fodder radish cover-crop. *Plant Soil* 344, 159-175.
- Nett, L., Feller, C., George, E. & Fink, M., 2011. Effect of winter catch crops on nitrogen surplus in intensive vegetable crop rotations. *Nutr Cycl Agroecosyst* 91, 327-337.
- Ninane, V. et al., 1995. Les engrais verts. In: Geypens, M. & Honnay, J., (eds). *Matières organiques dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales, IRSIA, Brussel.*
- Nutrinorm, 2012. De stikstofbemesting van wintertarwe. <http://www.nutrinorm.nl/Kennisbank/Bemestingsadviezen/Bemestingsadviezen-bouwland/De-stikstofbemesting-van-wintertarwe.aspx>.
- Odeurs, W. & Bries, J., 2012. Stikstofmineralisatie in de maïsteelt. Niet gepubliceerd artikel in kader van onderzoek in opdracht van LCV "Stikstofmineralisatie op maïspcelen".

- Petersen, S.O., Mutegei, J.K., Hansen E.M., Munkholm, L.J. et al., 2011. Tillage effects on N<sub>2</sub>O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 1509-1517.
- Premrov, A., Coxon, C.E., Hackett, R., Brennan, D., Sills, P. & Richards, K.G., 2009. Over-winter green cover in a spring barley system: role in exporting dissolved organic carbon to shallow groundwater and implications for denitrification. In: Grignani, C., Acutis, M., Zavattaro, L., Bechini, L., Bertora, C., Marino Gallina, P. & Sacco, D. (eds). *Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop: Connecting different scales of nitrogen use in agriculture*. Turijn, Italië, pp. 11-12.
- Rasse, D., Rumpel, C. & Dignac, M.F., 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant Soil* 269, 341-356.
- Rosolem, C.A., Calonego, J.C. & Foloni, J.S.S., 2005. Leaching of nitrate and ammonium from cover crop straws as affected by rainfall. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36, 819-831.
- Saffih-Hdadi, K. & Mary, B., 2008. Modelling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 594-607.
- Salisbury, F.B. & Ross, C.W., 1992. *Plant Physiology*, 4<sup>e</sup> druk, Wadsworth Publishing Company, Belmont, USA.
- Sapkota, T.B., Askegaard, M., Laegdsmand, M. & Olesen, J.E., 2012. Effects of catch crop type and root depth on nitrogen leaching and yield of spring barley. *Field Crops Research* 125, 129-138.
- Scholefield, D., Hawkins, J.M.B. & Jackson, S.M., 1997. Use of flowing helium atmosphere incubation technique to measure the effects of denitrification controls applied to intact cores of a clay soil. *Soil Biology & Biochemistry* 29, 1337-1344.
- Silver, W.L., Herman, D.J. & Firestone, M.K., 2001. Dissimilatory nitrate reduction to ammonium in upland tropical forest soils. *Ecology* 82, 2410-2416.
- Smith, M.S. & Tiedje, J.M., 1979. The effect of roots on soil denitrification. *Soil Science Society of America Journal* 43, 951-955.
- Stavridou, E., Nielsen, O. & Kristensen, H.L., 2012. Effects of catch crop and tillage systems on nitrogen management in sugar beet production. In: Richards, K.G., Fenton, O. & Watson, C.J. (eds). *Proceedings of the 17<sup>th</sup> Nitrogen Workshop - Innovations for sustainable use of nitrogen resources*. 26<sup>th</sup>-29<sup>th</sup> June 2012, Wexford, Ireland, pp. 86-87.
- Taiz, L. & Zeiger, E., 1991. *Plant physiology*, 3<sup>e</sup> druk, Sinauer Associates, Sunderland, VK.
- Thomsen, I.K. & Christensen, B.T., 2004. Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops. *Soil Use Management* 20, 432-438.
- Thorup-Kristensen, K., 1994. An easy pot incubation method for measuring nitrogen mineralization from easily decomposable organic material under well-defined conditions. *Fert. Res.* 38, 239-247.
- Thorup-Kristensen, K., 1998. Root development of green pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *Crop Science* 38, 1445-1451.
- Thorup-Kristensen, K., 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant and Soil* 230, 185-195.

- Thorup-Kristensen, K., Cortasa, M.S. & Loges, R., 2009. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant Soil* 322, 101-114.
- 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.
- Thorup-Kristensen, K. & Nielsen, N.E., 1998. Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on the nitrogen supply for succeeding crops. *Plant and Soil* 203, 79-89.
- Timmer R.D., Korthals G.W. & Molendijk L.P.G., 2004. Teelthandleiding groenbemesters. PPO-agv, via Kennisakker.nl.
- Tirez, K., 2007. Code van goede praktijk bodembescherming. VITO, Studie uitgevoerd in opdracht van de afdeling Land- en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen. Geraadpleegd op: [https://esites.vito.be/sites/reflabos/2007/Online%20documenten/code\\_van\\_goede\\_praktijk\\_versie\\_mei\\_2007.pdf](https://esites.vito.be/sites/reflabos/2007/Online%20documenten/code_van_goede_praktijk_versie_mei_2007.pdf)
- Tits M., Van Overtveld K., Van De Vreken P., Vandervelpen D., Peetres L., Batelaan O., Van Orshoven J., Vanderborgh J., Elsen A., Bries J., Vandendriessche H., Kuhr P., Wendland F. & Diels J., 2010. Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresiduenorm. Eindrapport fase 1. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen (K.U.Leuven), de Bodemkundige Dienst van België en het Agrosphere Institute, Forschungszentrum Jülich. 157 p.
- Tonitto, C., David, M.B. & Drinkwater, L.E., 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, 58-72.
- Ulén, B., Von Brömssen, C., Johansson, G., Torstensson, G. & Forsberg, L.S., 2012. Trends in nutrient concentrations in drainage water from single fields under ordinary cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 151, 61-69.
- Van Dam, A.M., 2006. Understanding the reduction of nitrogen leaching by catch crops. Wageningen, Nederland, 171 p.
- Vandendriessche H., Vanongeval L., Smeets E. & Geypens M., 1996. Monitoring of N-uptake by green manures and of the influence of N-release on N-availability, production and quality of sugar beet. *Progress in Nitrogen Cycling Studies*, 147-151.
- Van Schöll, L., Van Dam, A.M. & Leffelaar, P.A., 1997. Mineralisation of nitrogen from an incorporated catch crop at low temperatures: experiment and simulation. *Plant and Soil* 188, 211-219.
- Van Waes J., Chaves B., Marynissen B., De Vlieghe A. & Carlier L., 2007. Belgische beschrijvende en aanbevelende rassenlijst voor voedergewassen en groenbedekkers 2007. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek, Merelbeke, 112 p.
- Velthof GL., Van Erp PJ. & Steevens J.C.A., 1998. Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning stikstofadviesing. *Meststoffen 1997/1998*, 20-28.
- Ver Elst P., 2001. Groenbemesters als stikstofvangplant na granen en stikstofleverancier voor de volgteelt. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2000, 82-85.



- Ver Elst P., 2006. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2005, 98-106.
- Ver Elst, P., 2007. Beheersen van nitraatresidu: wat kan op dit ogenblik nog gebeuren?. Landbouw&Techniek. Jaargang 12 / 14, 9-12.
- Ver Elst P. & Bries J., 2002. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2001 , 93-98.
- Ver Elst P., Vanongeval L. & Bries J., 1999. Praktijk gids bemesting suikerbieten. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 62 p.
- Ver Elst P. & Vogels N., 2003. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2002, 98-104.
- Ver Elst P. & Vogels N., 2004. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2003, 97-104.
- Ver Elst P. & Vogels N., 2005. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2004, 103-110.
- Vigil, M.F. & Kissel, D.E., 1991. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. Soil Science Society of America Journal 55, 757-761.
- VLM, 2014. Nitraatresidurapport 2014. VLM, Brussel. 77 p. Geraadpleegd op: [http://www.vlm.be/SiteCollectionDocuments/Mestbank/Studies/Nitraatresidurapport\\_2014.pdf](http://www.vlm.be/SiteCollectionDocuments/Mestbank/Studies/Nitraatresidurapport_2014.pdf)
- Vos, J., 1992. Growth and nitrogen accumulation of catch crops. In: François E., Pithan K. & Bartiaux-Thill N. (eds). Nitrogen cycling and leaching in cool and wet regions of Europe - COST 814, 103-109.
- Vos, J. & van der Putten, P.E.L., 1997. Field observations on nitrogen catch crops. I. Potential and actual growth and nitrogen accumulation in relation to sowing date and crop species. Plant and Soil 195, 299-309.
- Vos, J. & van der Putten, P.E.L., 2001. Field observations on nitrogen catch crops. III. Transfer of nitrogen to the succeeding main crop. Plant and Soil 236, 263-273.
- Vos, J., van der Putten, P.E.L., Hussein, M.H., van Dam, A.M. & Leffelaar, P.A., 1998. Field observations on nitrogen catch crops. II. Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply. Plant and Soil 201, 149-155.
- Ward, M.H., deKok, T.M., Levallois, P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, B.T. & VanDerslice, J., 2005. Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health - Recent Findings and Research Needs. Environmental Health Perspectives 113, 11, 1607-1614.
- Zanatta, J.A., Bayer, C., Dieckow, J., Vieira, F.C.B. & Mielniczuk, J., 2007. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. Soil Till. Res. 94, 510-519.

## 12 BIJLAGE 1: VLAAMSE REFERENTIEPROJECTEN

### ADLO-PROJECT “BEHEERSING VAN HET NITRAATRESIDU IN DE AKKERBOUW: EEN PERMANENTE UITDAGING”

- 1/03/2008-28/02/2010
- Financiering door Europese Unie en het Departement Landbouw en Visserij van de Vlaamse Overheid.
- In 3 akkerbouwregio's in Vlaanderen werden gedurende de 2 groeiseizoenen (2008 en 2009) telkens 3 uitgebreide proefvelden aangelegd en opgevolgd. In deze proefvelden werd ingespeeld op de nieuwste ontwikkelingen op vlak van groenbemesting: keuze van soorten en variëteiten, tijdstip en methode van inzaai, voorafgaandelijke grondbewerking en dit al dan niet in combinatie met een (drijf)mesttoediening. Concreet werden de volgende combinaties aangelegd:
  - Grondbewerking: ploegen of inzaai na stoppelbewerking
  - Soorten vanggewas: gras, mosterd, bladrammenas, facelia, Japanse haver
  - Zaitijdstip: vroeg, laat
  - Mesttoediening: mestinjectie, geen mestinjectie

Dit resulteerde in 20 behandelingen die in 3 herhalingen werden aangelegd. De proefvelden waren gelegen in Lierde, Leefdaal, Tongeren (2 jaren), Linter en Zwalm. Op deze velden werden drogestofopbrengst, N-opname en nitraat-N-residu opgemeten in functie van de diverse behandelingen.

Een ganse reeks van voorlichtings- en sensibiliseringsacties (bezoekdagen, artikels en wintervergaderingen) werd gerealiseerd om de telers te informeren en te sensibiliseren over de optimale inzet van vanggewassen als sluitstuk van een rationele en efficiënte beheersing van het nitraat-N-residu.

### DEMONSTRATIEPROJECT “BEPERKEN VAN NITRAATRESIDU IN DE VOLLEGRONDSGROENTETEELT VIA BEREDENEERDE N-BODEMBALANS”

- 2007 & 2008
- In dit project werd de vollegrondsgroenteteler gesensibiliseerd voor een meer beredeneerde aanpak van de N-bemesting en het gebruik van aangepaste bemestingsmethoden via het berekenen van de N-bodembalans op perceelsniveau en hierdoor een substantiële verlaging te bekomen van het nitraat-N-residu in het najaar. Geografisch verspreid over de drie belangrijkste productieregio's van vollegrondsgroenten werden in 2007 en 2008 in totaal zeventien demonstratievelden aangelegd op zeven voorbeeldbedrijven. Zeven van de demonstratievelden werden 2 jaar na elkaar opgevolgd. In dit project werd ook het gebruik van vanggewassen om het nitraat-N-residu in het najaar te beperken gedemonstreerd.

### N-(ECO)<sup>2</sup>-STUDIE

- 1/07/2000 – 30/09/2002
- Promotor: Bodemkundige Dienst van België. In samenwerking met de KULeuven (Instituut voor Land- en Waterbeheer en Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en –biologie en SADL) en de RUGent (Bodemkunde en fertiliteit).
- In opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij
- In dit project werd de relatie gelegd tussen het nitraatgehalte in het oppervlaktewater en het nitraat-N-residu na de oogst. Tevens werd onderzoek gedaan naar de factoren die een invloed hebben op het nitraat-N-residu in het najaar. Tijdens dit project zijn een ganse reeks relevante wetenschappelijke

gegevens verzameld om de bodembalans op perceelsniveau te kunnen opstellen. Ook het effect van vanggewassen werd hierbij bestudeerd.

#### “BEPALEN VAN PROCESFACTOREN VOOR OPPERVLAKTEWATER EN GRONDWATER TER EVALUATIE VAN DE NITRAATSTIKSTOFRESIDU-NORM”

- 2008-2011
- Uitvoering door KULeuven (Departement Aard- en Omgevingswetenschappen), Bodemkundige Dienst van België en Forschungszentrum Jülich.
- In opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij
- In het kader van dit project werd o.a. het effect van de aanwezigheid van vanggewassen op het nitraat-N-residu bestudeerd op basis van de volledige dataset van nitraat-N-residumetingen in Vlaanderen van 2001 t/m 2008. Daarnaast werd, op basis van de databank van de Bodemkundige Dienst van België, een studie gemaakt van het effect van het gebruik van vanggewassen op de verdeling van de nitraatstikstof in het bodemprofiel in het voorjaar bij suikerbieten (Tits *et al.*, 2011; Van Overtveld *et al.*, 2011).

#### “ANALYSE VAN NITRAATSTIKSTOFRESIDUMETINGEN IN DE TUINBOUW”

- 12/2006-12/2007
- Uitvoering door Bodemkundige Dienst van België in samenwerking met Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne
- In opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij
- De studieopdracht bestond er uit een uitgebreide analyse te maken van de nitraatstikstofresidumetingen van het najaar 2006 op percelen voor vollegrondsgroenten. De metingen werden gecorreleerd met de bemestings-, teeltechnische en andere gegevens. Daarnaast werden in een tweede deel in een deskstudie de beïnvloedende factoren voor de nitraat-N-residu's vanuit wetenschappelijk standpunt kwalitatief en kwantitatief opgelijst. Vanggewassen werden in het kader van deze studie uitvoerig bestudeerd als één van de beïnvloedende factoren/teeltechnische maatregelen.

#### “N-MONITORING IN RELATIE TOT DE MINERALISATIE VAN DIVERSE GROENBEMESTERS”

- 1991-1992 en 1992-1993
- Financiering door IWONL (Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw)
- Om de N-dynamiek te bestuderen in een teeltsysteem met vanggewassen werd op 2 proefvelden een monitoringprogramma opgezet om de N-opname en N-naleveringscapaciteit van *verschillende* types vanggewassen te evalueren (Vandendriessche *et al.*, 1996). De vanggewassen werden ingezaaid na de wintertarweoogst. Na de winter werden, na het inploegen van de vanggewassen, suikerbieten gezaaid. De resultaten toonden duidelijk aan dat indien een groenbemester als N-vanggewas gebruikt wordt, het van groot belang is om té vroege mineralisatie van de groenbemester te vermijden door het toepassen van teeltechnische maatregelen. Keuze van de groenbemester en tijdstip van inploegen zijn hierbij zeer belangrijk.

## “LANDBOUWKUNDIGE EN MILIEUGERICHTE FUNCTIES VAN DE ORGANISCHE STOF IN DE BODEM”

- 1989-1995
- Uitvoering door het Comité voor Onderzoek van de Organische Stof in de Bodem, waartoe de Bodemkundige Dienst van België behoorde.
- Financiering door het IWONL (Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw)
- Dit onderzoek had als doelstelling de organische-stoftoestand van de bodems in België te karakteriseren en om, voor enkele representatieve situaties, de betekenis en de invloed te meten van de verschillende organische stoffen op de bodemvruchtbaarheid, de kinetiek van de afbraak van deze stoffen na te gaan en de uitspoelingsverliezen van voedingselementen, meer bepaald van stikstof, te bepalen. De werkzaamheden werden onderverdeeld in 5 secties (Geypens en Honnay, 1995). In de derde sectie werden de inbreng van organisch materiaal en de gevolgen op landbouwkundig en milieukundig vlak bestudeerd. In deze derde sectie werd ook uitvoerig de impact van vanggewassen bestudeerd: biomassaproductie en N-opname door vanggewassen, afbraak van ingewerkte vanggewassen, impact op de volgteelt en impact op de milieudoelstellingen.

## 13 BIJLAGE 2: FICHES VAN DE MEEST VOORKOMENDE VANGGEWASSEN

### GELE MOSTERD (*SINAPIS ALBA*)



- Familie: kruisbloemigen
- Zaaitijdstip: tot begin-half september
- Zaaidiepte: 2 cm
- Zaaidichtheid: 10-20 (25) kg ha<sup>-1</sup>
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: snelle bedekking
- Groei: snelle bovengrondse ontwikkeling, structuurgevoelig
- Wortels: niet verdikte penwortel
- Vorstgevoeligheid: sterk vorstgevoelig
- EOS: 850 kg ha<sup>-1</sup>
- Aaltjes:
  - Bietencystenaaltje: bij vroege zaai reductie, bij zaai na 1 augustus is bestrijding echter beperkt.
  - Andere aaltjes matige tot sterke toename.
- Niet in rotatie met kolen omwille van sterke vatbaarheid voor knolvoet

## BLADRAMMENAS (*RAPHANUS SATIVUS*)



Bron: BDB

- Familie: kruisbloemigen
- Zaaitijdstip: tot eind augustus
- Zaaidiepte: 2 cm
- Zaaidichtheid: 12-20 kg ha<sup>-1</sup>
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: snelle bedekking
- Groei: snelle bovengrondse groei, trager dan gele mosterd
- Wortels: diepe penwortel
- Vorstgevoeligheid: vorstgevoelig, iets minder dan gele mosterd
- EOS: 850 kg ha<sup>-1</sup>
- Aaltjes:
  - o Bietencystenaaltje: bij vroege zaai (zaai vóór 1 augustus) reductie
  - o *Meloidogyne chitwoodi*: neutraal
  - o Andere aaltjes matige tot sterke toename
- Hergroei na maaien

## FACELIA (*PHACELIA TANACETIFOLIA*)



- Familie: bosliefjesfamilie
- Zaaitijdstip: tot half augustus
- Zaaidiepte: 1 cm, ondiep maar goed bedekt
- Zaaidichtheid: 8-12 kg ha<sup>-1</sup>
- Opkomst: vlotte kieming
- Bodembedekking: tragere beginontwikkeling, waarna goede bedekking
- Groei: tot vierde bladstadium langzame groei, daarna zeer snelle ontwikkeling; gevoelig voor structuur- en waterproblemen
- Wortels: intensieve doorworteling bovenste laag
- Vorstgevoeligheid: zeer vorstgevoelig
- EOS: 850 kg ha<sup>-1</sup>
- Aaltjes:
  - o *Pratylenchus penetrans*: sterke toename
- Veel gebruikt in rotaties met groenten. Geliefd bij bijenhouders omwille van grote nectarproductie.

## ITALIAANS RAAIGRAS (*LOLIUM MULTIFLORUM*)



- Familie: grassen
- Zaaitijdstip: tot oktober
- Zaaidiepte: (1)-2 cm
- Zaaidichtheid: 25-40 (50) kg ha<sup>-1</sup>
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: tragere bedekking in het begin, daarna blijvende bedekking
- Groei: minder snelle bovengrondse groei, voornamelijk ontwikkeling wortelgestel
- Wortels: goede doorworteling bouwvoor, oppervlakkig
- Vorstgevoeligheid: niet vorstgevoelig, vaak chemisch afdoden met herbicide
- EOS: 700-1200 kg ha<sup>-1</sup>
- Aaltjes: matige tot sterke toename van meeste aaltjes
- Gevaar voor optreden van kroonroest



## SNIJROGGE (*SECALE CEREALE*)



- Familie: grassen
- Zaatijdstip: tot eind oktober (veel toegepast voor later geogste gewassen)
- Zaaidiepte: 2-3 cm
- Zaaidichtheid: 75-125 kg ha<sup>-1</sup>
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: snelle bedekking
- Groei: snelle bovengrondse en ondergrondse groei
- Wortels: zeer goede doorworteling van de bouwvoor met vezelige wortels
- Vorstgevoeligheid: niet vorstgevoelig
- EOS: 850 kg ha<sup>-1</sup>
- Aaltjes: matige tot sterke toename van de meeste aaltjes
- Mogelijk opbouw hoge dichtheden slakken
- Bij maaien in voorjaar kan maaisel eventueel dienen als groenvoeder

## JAPANSE HAVER (*AVENA STRIGOSA*)



- Familie: grassen
- Zaaitijdstip: tot in oktober
- Zaaidiepte: 2 (3) cm
- Zaaidichtheid: 50-80 kg ha<sup>-1</sup> (bodembedekker-aaltjesbestrijding)
- Opkomst: snelle opkomst, ook bij droogte
- Bodembedekking: snelle bedekking, sterk onkruidonderdrukkend
- Groei: snelle en massale bovengrondse groei,
- Wortels: goede doorworteling van de bodem, oppervlakkig
- Vorstgevoeligheid: matig vorstgevoelig
- EOS: 1500 kg ha<sup>-1</sup>
- Aaltjes: onderdrukkende werking voor *Pratylenchus penetrans*, alternatief voor *Tagetes*

## WIKKE (*VICIA SATIVA*)



- Familie: vlinderbloemigen
- Zaaitijdstip: tot eind augustus
- Zaaidiepte: 2-5 cm
- Zaaidichtheid: 100-125 kg ha<sup>-1</sup>
- Opkomst: snelle opkomst bij voldoende vochtig zaaibed
- Bodembedekking: goed maar kan soms even duren
- Groei: tamelijk snelle bovengrondse groei
- Wortels: goede doorworteling, penwortel met goed ontwikkelde zijwortels
- Vorstgevoeligheid: sterk vorstgevoelig
- EOS: 600-800 kg ha<sup>-1</sup>
- Aaltjes:
  - o *Pratylenchus penetrans*: sterke-extreme vermeerdering
  - o *Meloidogyne chitwoodi*: geen waardplant
  - o Erwtencystenaaltje: waardplant
- Voederwikke kan gemaaid en als voeder gebruikt worden

