



# Afvoer en verwerking van N-rijke gewasresten

Vergisting en compostering

F.J. de Ruijter







# Afvoer en verwerking van N-rijke gewasresten

Vergisting en compostering

F.J. de Ruijter

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Business Unit Agrosysteemkunde.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is onderdeel van BO-programma Verduurzaming Plantaardige Productieketen van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (BO-12.03-002-004)



Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie

Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I).  
Postbus 20101  
2500 EC Den Haag

## **Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde**

Adres : Postbus 616, 6700 AP Wageningen  
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 05 31  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Vergisting	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Werkzaamheid van N in de vaste fractie van digestaat van vergisting van plantaardig materiaal (experiment 1)	5
2.2.1 Samenvatting	5
2.2.2 Materiaal en methoden	6
2.2.3 Resultaten en discussie	7
2.2.4 Conclusies	8
2.3 Maaien en afvoer van bladrammenas groenbemester (experiment 2)	9
2.3.1 Samenvatting	9
2.3.2 Inleiding	9
2.3.3 Materiaal en methoden	9
2.3.4 Resultaten	10
2.3.5 Totaaloverzicht wel of niet afvoeren van bladrammenas	14
2.3.6 Conclusies	15
2.4 Discussie	15
2.5 Conclusies vergisting	17
3. Compostering op boerderijschaal (experiment 3)	19
3.1 Samenvatting	19
3.2 Inleiding	19
3.3 Materiaal en methoden	20
3.4 Resultaten	21
3.4.1 Weersgegevens Vredepeel	21
3.4.2 Analyses natuurcompost, preiresten en eindproduct	21
3.4.3 Temperatuurverloop in de hoop en geuremissie	23
3.4.4 Opvangen neerslag en percolatievocht en N-inhoud	24
3.4.5 Balansberekening compostering op boerderijschaal	25
3.5 Discussie	26
3.6 Conclusies compostering	28
4. Discussie	31
5. Literatuur	33



# Samenvatting

Afvoeren van stikstofrijke gewasresten in het najaar verlaagt de nitraatuitspoeling. Na afvoer moeten de gewasresten op een goede manier worden verwerkt, zodat de verliezen niet op een andere plaats of in een andere vorm plaatsvinden.

Deze studie richt zich op de meest geschikte methoden voor verwerking van afgevoerde gewasresten en kijkt naar aspecten uit de gehele keten van afvoer t/m hergebruik. Drie praktijkproeven zijn uitgevoerd om ontbrekende kennis in te vullen, en gebruikt ter aanvulling van verkenningen uit eerdere studies:

1. Stikstofwerking van digestaat na vergisting van puur plantaardig materiaal samen met de suikerindustrie, die werkt aan grootschalige vergisting van bietenresten, waaronder bietenloof,
2. Maaien en afvoer van niet-winterharde groenbemester (bladrammenas) en het effect hiervan op het volggewas,
3. Compostering van prei met jonge natuurcompost op boerderijschaal in de verhouding 2:1 en 1:1 samen met preiteler en compostleverancier.

De stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal bedroeg 26% en was daarmee lager dan de wettelijke forfaitaire norm van 40%. De dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal had een relatief hoge verhouding tussen  $P_2O_5$ -gehalte en organische-stofgehalte in vergelijking met andere mestsoorten, wat invloed kan hebben op de afzetmogelijkheden wanneer telers organische stof willen aanvoeren binnen de aanvoerruimte van  $P_2O_5$ .

In vergelijking met op het land laten van bietenloof geeft afvoeren, vergisten en gebruik van digestaat een besparing tot  $56 \text{ kg ha}^{-1}$  op het gebruik van kunstmest-N en verlaagt het emissies van  $NH_3$  naar de lucht met  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  en emissies van  $NO_3$  naar het grond- en oppervlaktewater met  $11 \text{ kg ha}^{-1}$ . Wanneer het digestaat van vergisting van bietenloof wordt gezuiverd tot struviet en resterende organische stof wordt in vergelijking met op het land laten van het bietenloof de N-werking met  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  verlaagt waardoor meer N nodig is uit andere bronnen. Emissie van  $NH_3$  naar de lucht wordt verlaagd met  $9 \text{ kg ha}^{-1}$ , van  $NO_3$  naar het grondwater met  $11 \text{ kg ha}^{-1}$ . Bij vergisting en hergebruik van digestaat wordt de aanvoer aan effectieve organische stof meer dan gehalveerd in vergelijking met op het land laten van bietenloof.

Maaien en afvoeren van bovengrondse biomassa van bladrammenas gaf een afvoer van  $77 \text{ kg N ha}^{-1}$  en  $31.5 \text{ kg P}_2O_5 \text{ ha}^{-1}$  maar had geen effect op de N-werking in het volggewas mais. Dit biedt perspectief voor terugdringen van nitraatuitspoeling bij behoud van bodemvruchtbaarheid en vraagt verder onderzoek.

Uit composthoppen met een 1:1 of 2:1 mengsel van preiresten met jonge natuurcompost op een 20 cm dikke onderlaag van jonge natuurcompost en afgedekt met vliesdoek lekte vrijwel geen N of P. Door koude omstandigheden bij aanvang van de composthoppen bleef de hittefase achterwege en werd een maximum temperatuur van  $20\text{-}30^\circ\text{C}$  bereikt. Van de N-inhoud van de composthoppen verdween 8 tot 16% via vervluchtiging. De hoeveelheid organische stof daalde tijdens de compostering met ongeveer 20%.

Berekeningen op basis van literatuur en vuistgetallen geven aan dat de hoeveelheid werkzame N in het volgende jaar hoger is bij uitrijden van preiresten in het najaar dan bij composteren. Voor de teler lijkt het vanuit oogpunt van werkzame N daarom raadzaam niet te composteren. Redenen voor compostering kunnen liggen in voorkomen van structuurschade bij uitrijden van preiresten in het najaar, vermindering van ziektedruk (daarvoor dient wel een voldoende hittefase bereikt te worden) en het de winter over tillen van kalium. Deze aspecten waren echter in het voorliggende onderzoek niet meegenomen.





# 1. Inleiding

Voor het terugdringen van stikstofverliezen bij de teelt van gewassen op zand is het noodzakelijk om het stikstofoverschot te beperken. Sommige gewassen, zoals suikerbieten, broccoli en andere koolsoorten, hebben veel N in de gewasresten en daardoor een relatief hoog N-overschot. Om dit N-overschot te verlagen hebben maatregelen om efficiënter te bemesten een beperkt effect omdat deze gewassen N al efficiënt uit de bodem opnemen en bij de oogst vaak een lage Nmin-voorraad in de bodem hebben. Er blijft veel N aanwezig in de gewasresten. Verdere verlaging van de bemesting is daarbij geen effectieve maatregel omdat dit eerder de gewasopbrengst verlaagt dan het N-overschot. Het bietenblad en de koolplant zijn immers nodig voor productie van de marktbaar delen. Om het stikstofoverschot bij deze gewassen terug te dringen is afvoer van de gewasresten daarom een effectievere maatregel dan aanscherping van de gebruiksnormen.

Afvoer van gewasresten is het meest zinvol in het najaar wanneer er geen volggewas, groenbemester of N-vanggewas meer geteeld kan worden. Afvoer van gewasresten kan dan een aanzienlijke reductie van de N-uitspoeling geven. Uit eerder onderzoek bleek dat bij oogst rond 1 november 20 tot 60 procent van de N in gewasresten van broccoli en prei in de wintermaanden uit spoelde (De Ruijter, 2008). Bij suikerbietenloof was dit aandeel lager. Naast uitspoeling waren er ook verliezen naar de lucht als  $\text{NH}_3$  en  $\text{N}_2\text{O}$  waardoor er van alle N in de gewasresten maar een klein deel terugkwam als werkzame N voor het volgende hoofdgewas zomergerst. In de proeven was de werking van de N uit gewasresten van broccoli gemiddeld 13 procent, van prei 16 procent en van suikerbiet 22 procent.

Afgevoerde gewasresten dienen verwerkt te worden. De wijze van verwerking is belangrijk om de emissie niet naar elders te verplaatsen of af te wentelen op andere milieucapaciteiten. In het ideale geval worden de gewasresten dusdanig verwerkt dat de nutriënten 'de winter overgetild worden' en in het voorjaar als meststof gebruikt worden. Nu is afvoeren van gewasresten voor telers niet aantrekkelijk omdat het vooral kosten met zich meebrengt. Inzicht in mogelijkheden van verwerking en de effectiviteit daarvan op nitraatuitspoeling en bijkomende voor- en nadelen is behulpzaam bij het opstellen van mogelijke regelgeving rondom gewasresten. Om mogelijke verplaatsing of afwenteling te voorkomen dient naar de gehele keten gekeken te worden, van afvoer t/m hergebruik.

Dit onderzoek richt zich op het identificeren van de meest effectieve wijzen van verwerking van gewasresten ter vermindering van nitraatuitspoeling en verhoging van de N-benutting in het volggewas, rekening houdend met wetgeving en praktische uitvoering. Hierbij worden twee sporen van verwerking van gewasresten gevolgd:

1. Vergisting: hierbij is ervan uitgegaan dat de gewasresten van het bedrijf worden afgevoerd naar een vergistingsinstallatie op een andere locatie,
2. Compostering: hierbij is uitgegaan van compostering op het eigen bedrijf, waarbij nutriënten en organische stof binnen de bedrijfsgrenzen blijven (compostering op boerderijschaal).

Er zijn al verschillende burostudies en demo's uitgevoerd rondom afvoer en verwerking van N-rijke gewasresten. Bij kwantificering van de effecten van afvoer en verwerking ontbreken vaak experimentele gegevens. Daarom is een drietal experimenten uitgevoerd om ontbrekende gegevens in te kunnen vullen:

1. Werkzaamheid van N in de vaste fractie van digestaat van vergisting van puur plantaardig materiaal
2. Maaien en afvoer van bladrammenas groenbemester (voor mogelijke verwerking in een vergistingsinstallatie)
3. Compostering van gewasresten op boerderijschaal, uitgevoerd met preiresten en jonge natuurcompost

Dit rapport gaat in op de kansen en knelpunten rondom verwerking van gewasresten via vergisting en compostering en beschrijft daarbij bovengenoemde experimenten. Hierbij ligt de nadruk op nutriëntenbeschikbaarheid en het effect op nitraatuitspoeling.



## 2. Vergisting

### 2.1 Inleiding

Vergisting is een van de mogelijkheden voor het verwerken van afgevoerde stikstofrijke gewasresten. Binnen Nederland draaien vergistingsinstallaties meestal op dierlijke mest waarbij co-producten worden toegevoegd. Er zijn echter ook enkele installaties die volledig draaien op plantaardig materiaal, zoals de vergistingsinstallatie van Ecofuels in Well ([www.ecofuels.nl](http://www.ecofuels.nl)) en Kloosterman BV in Nieuweroord (<http://www.kloostermanbiogas.com>).

Vergisting van gewasresten heeft als voordeel dat het gas oplevert met een marktwaarde, wat kosten voor inzameling en transport kan compenseren. Vergisting van suikerbietenloof is onderzocht in burestudies (Corré en Langeveld, 2008; De Ruijter *et al.*, 2009) en in praktijkproeven van de Suikerunie. Vergisting van suikerbietenloof lijkt voldoende perspectiefvol om het naast de reeds aanwezige organische reststromen als extra grondstof te kunnen laten dienen voor de vergistingsinstallaties in Dinteloord (geopend eind 2011) en Vierverlaten (in aanbouw). De economische aspecten van deze vergistingsinstallaties worden mede bepaald door organische reststromen die al aanwezig zijn. Verder kan transport een belangrijke kostenpost vormen, aangezien afgevoerde gewasresten veelal van het boerenbedrijf worden afgevoerd en op een andere locatie vergist. Het digestaat dat na vergisting ontstaat is een waterrijk product, vooral bij vergisting van natte gewasresten. Bij onbewerkte afzet moet er veel water getransporteerd worden met bijbehorende kosten. Ook is opslagcapaciteit nodig voor digestaat dat in najaar en winter geproduceerd wordt omdat het in die periode niet op het land kan worden uitgereden. Om opslag en transport van grote hoeveelheden water te voorkomen kan het digestaat gescheiden worden in een vaste fractie en een vloeibare fractie. De vaste fractie kan eenvoudig opgeslagen worden, en afgezet worden als bodemverbeteraar. Bij Ecofuels wordt uit de vloeibare fractie eerst het fosfaat en een deel van de ammonium verwijderd als struviet (ammoniummagnesiumfosfaat). Vervolgens wordt via een waterzuivering de nog aanwezige ammonium omgezet in stikstofgas via nitrificatie en denitrificatie, en het zuiveringsslib gescheiden van het water ([www.ecofuels.nl](http://www.ecofuels.nl)). Het gezuiverde water kan geloosd worden op het oppervlaktewater. Dit water bevat nog verschillende nutriënten zoals kalium en spoorelementen.

Kennis over de werkzaamheid van stikstof in mestproducten die ontstaan na vergisting en bewerking is nodig om het totale effect van afvoeren en verwerking van gewasresten op nitraatuitspoeling te kunnen vaststellen. In een veldproef is daarom de stikstofwerking van de vaste fractie van digestaat van vergisting van plantaardig materiaal onderzocht (hoofdstuk 2.2).

Maaien en afvoeren van niet-winterharde groenbemesters kan ook een substantiële bijdrage leveren aan het verlagen van de nitraatuitspoeling, omdat opgenomen N na bevriezing van het gewas alsnog kan uitspoelen. Het verzamelde materiaal kan gebruikt worden als input voor een vergistingsinstallatie. De N-afvoer en het effect van maaien en afvoeren van bladrammenas op N-nawerking in het volggewas is onderzocht in een veldproef op zandgrond (hoofdstuk 2.3).

## 2.2 Werkzaamheid van N in de vaste fractie van digestaat van vergisting van plantaardig materiaal (experiment 1)

### 2.2.1 Samenvatting

De stikstofwerking van de dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal is onderzocht in 2010 in een veldproef op zandgrond waarin ook de stikstofwerking is bekeken van onbewerkte mesten en van organische meststoffen uit mestverwerking. De stikstofwerking is bepaald door het effect te bepalen van de mestsoorten en van KAS-kunstmest op de opbrengst van snijmais. De gevonden stikstofwerking bedroeg voor de

dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal 26%. Dit is lager dan de wettelijke waarde van 40%. In vergelijking met andere mestsoorten bevatte de dikke fractie relatief veel  $P_2O_5$  ten opzichte van organische stof. Dit kan invloed hebben op de afzetmogelijkheden wanneer telers veel organische stof willen aanvoeren binnen de aanvoerruimte van  $P_2O_5$ .

Het onderzoek en de resultaten rondom de stikstofwerking van de overige mestsoorten zijn beschreven in Schröder *et al.* (2010).

## 2.2.2 Materiaal en methoden

In het voorjaar van 2010 is op een zandgrond in Achterberg een bouwlandproef aangelegd. Details van deze proef zijn beschreven in Schröder *et al.* (2010) en verschijnen in voorjaar 2012 in een definitief rapport van Schröder *et al.* (in voorbereiding). Onderstaande informatie heeft betrekking op de dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal.

Het product was afkomstig van de vergistingsinstallatie van Ecofuels, gekoppeld aan Laarakker Groenteverwerking. In de vergistingsinstallatie worden snijafval en reststoffen uit de voedings- en genotsmiddelindustrie vergist. Het digestaat wordt met behulp van een centrifuge gescheiden in een vaste fractie en een vloeistof.

De dosering van de dikke fractie was gericht op een gift aan werkzame N van  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  en werd bepaald vanuit een forfaitaire werkingscoëfficiënt van 40% en de resultaten van een voorlopig monster van het product (Tabel 2.1). Bij uitrijden van de dikke fractie werd de samenstelling opnieuw bepaald voor het vaststellen van de uiteindelijke gift (Tabel 2.1). De mest werd eind april toegediend en ingewerkt, waarna begin mei de mais werd gezaaid (Tabel 2.2). Voor bepaling van de stikstofwerking van de dikke fractie werd de maisopbrengst vergeleken met een onbemeste behandeling en een behandeling bemest met KAS-kunstmest met een vergelijkbare aanvoer aan werkzame N.

*Tabel 2.1. Mestsamenstelling van voorlopig monster op basis waarvan de productdosering (kg versgewicht per ha) is vastgesteld, en samenstelling bij uitrijden (gemiddelde van duplo).*

Mestsoort	Datum monstername	Samenstelling (g/kg vers)							
		Droge- stof	Organ. stof	Ntot	Nm	$P_2O_5$	$K_2O$	MgO	$Na_2O$
Dikke fractie – voorlopig monster	6 april 2010	193	117	5,9	1,6	10,1	4,3	2,2	1,1
Dikke fractie –bepaling bij uitrijden	23 april 2010	171	99	5,0	1,7	9,9	4,0	2,1	1,0

*Tabel 2.2. Veldwerkzaamheden 2010.*

Activiteit	Datum
Toediening Dikke fractie suikerbietenloof (SBDF)	23 april
Inwerken mest	26 april
Ploegen	29 april
Zaaien snijmaïs	4 mei
Oogst snijmaïs	20 september

Het effect van bemesting op de gewasopbrengst is gedefinieerd als het verschil ten opzichte van de onbemeste controle, en wel in de vorm van de berekende apparent N recovery (ANR) en apparent N efficiency (ANE) van de (kunst)mestgift:

$$ANR = \frac{(N \text{ opbrengst bemest gewas} - N \text{ opbrengst controle})}{(\text{toegediende hoeveelheid - totaal})}$$

*Uitgedrukt in kg N opgenomen per kg N toegediend*

$$ANE = \frac{(DS \text{ opbrengst bemest gewas} - DS \text{ opbrengst controle})}{(\text{toegediende hoeveelheid N-totaal})}$$

*Uitgedrukt in kg DS geproduceerd per kg N toegediend*

Uit bovenstaande berekeningen kan ook de werkingscoëfficiënt (NWC) van de organische meststof berekend worden om deze te kunnen vergelijken met de vooraf geschatte NWC:

$$NWC-ANR = 100 \times ANR \text{ organische mest} / ANR \text{ kunstmest}$$

$$NWC-ANE = 100 ANE \text{ organische mest} / ANE \text{ kunstmest}$$

## 2.2.3 Resultaten en discussie

De groeiomstandigheden voor de snijmaïs waren in 2010 qua temperatuur vergelijkbaar met het meerjarig gemiddeld. In het voorseizoen (1 april – 30 juni) was droger en het naseizoen (1 juli – 30 september) natter dan normaal (Tabel 2.3).

*Tabel 2.3. Gemiddelde dagtemperatuur en neerslag te Wageningen gedurende het groeiseizoen 2010, en het meerjarig gemiddelde ('Normaal') in De Bilt.*

Kenmerk	Periode	Gemiddelde	Normaal*
Temperatuur, °C	1 april – 30 juni	12,1	12,1
	1 juli – 30 september	16,8	16,3
Neerslag, mm	1 april – 30 juni	108**	178
	1 juli – 30 september	344**	200

\* 1971-2000.

\*\* exclusief 24 en 25 mm berekening op 9 juni en 10 juli.

De bemesting was gericht op een dosering van 50 kg ha<sup>-1</sup> werkzame N. Tabel 2.4 geeft de uiteindelijke toediening van organische stof en mineralen.

*Tabel 2.4. Toediening van organische stof en mineralen op basis van de mestmonsters genomen tijdens de toediening.*

Mestsoort	Toegediend (kg ha <sup>-1</sup> )							
	Org. stof	N-totaal	Nm	Norg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O
Dikke fractie	2466	125	34	91	213	91	46	23

Na de maisoogst was de N<sub>min</sub> in de laag 0-60 cm laag en varieerde tussen 10 en 18 kg ha<sup>-1</sup> (Tabel 2.5). De drogestofopbrengst was verhoogd door bemesting, en bedroeg bij de verschillende behandelingen 11 tot 13 ton ha<sup>-1</sup>. Doordat de N-gehalten in evenredig verschilden waren er grotere relatieve verschillen in N-opbrengst tussen de behandelingen.

Tabel 2.5. N<sub>min</sub> (060 cm) na de oogst van snijmaïs, drogestofopbrengst, N-gehalte en N-opbrengst.

	Onbemest	Kas 50 kg N ha <sup>-1</sup>	Dikke fractie
N <sub>min</sub> na oogst (0-60 cm; kg ha <sup>-1</sup> )	10	18	11
Drogestofopbrengst snijmaïs (ton ha <sup>-1</sup> )	11.1	13.3	12.7
Drogestofgehalte snijmaïs (%)	26.6	27.9	26.3
N-gehalte in de drogestof	0,89	1,08	0,97
N-opbrengst van snijmaïs (kg ha <sup>-1</sup> )	99	145	124

Tabel 2.6. Apparent N efficiency (ANE) en Apparent N recovery (ANR). Werkzaamheid van KAS is op 100% gesteld, en de werkzaamheid van de dikke fractie is berekend ten opzichte van die van KAS.

	Kas 50 kg N ha <sup>-1</sup>	Dikke fractie
Apparent N efficiency (ANE; kg ds/kg N-totaal)	44,2 (100%)	13,1 (30%)
Apparent N recovery (ANR; kg N opname/kg N-totaal)	0,91 (100%)	0,20 (22%)

De stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie verschilde iets tussen ANE en ANR, en bedroeg gemiddeld 26% (Tabel 2.6). Dit is lager dan de wettelijke forfaitaire waarde van 40%. De bepaalde werkingscoëfficiënt geldt voor de eerstejaars werking, en in latere jaren kan er nog nawerking zijn vanuit mestsoorten met een relatief hoog aandeel organisch gebonden N. Bij jaar-op-jaar gebruik van de dikke fractie zal de N-werking hoger worden. In welke mate deze hoger wordt is ook afhankelijk van de N-verliezen die optreden in het najaar wanneer er op bouwland geen N-opname door gewassen is (tenzij er effectieve stikstofvanggewassen worden geteeld).

De dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal had een relatief hoog P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gehalte ten opzichte van het gehalte aan organische stof (Tabel 2.1). Deze verhouding was hoger dan de meeste dierlijke mestsoorten en composten (Van Dijk & Van Geel, 2010). Dit kan invloed hebben op de afzetmogelijkheden wanneer telers organische stof willen aanvoeren binnen de ruimte die er is voor aanvoer van P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## 2.2.4 Conclusies

- De stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal bedroeg 26% en was daarmee lager dan de wettelijke forfaitaire norm van 40%.
- De verhouding tussen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> -gehalte en organische-stofgehalte van de dikke fractie was relatief hoog in vergelijking met andere mestsoorten, wat invloed kan hebben op de afzetmogelijkheden wanneer telers organische stof willen aanvoeren binnen de aanvoerruimte van P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## 2.3 Maaien en afvoer van bladrammenas groenbemester (experiment 2)

### 2.3.1 Samenvatting

Het effect van maaien en afvoer van bovengrondse biomassa van bladrammenas op de N-nawerking in een volggewas mais is onderzocht. Om een goed ontwikkelde groenbemester te krijgen is de bladrammenas met 100 kg N ha<sup>-1</sup> bemest. Bij maaien en afvoeren werd eind november werd 27.5 ton ha<sup>-1</sup> verse biomassa afgevoerd met daarin 77 kg N ha<sup>-1</sup> en 31.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Er werden geen verschillen gevonden tussen wel of geen afvoer in N<sub>min</sub> in het volgende jaar, en in N-nawerking in het volggewas mais. De N-nawerking bedroeg ongeveer 50 kg ha<sup>-1</sup> bij beide behandelingen. Voor de behandeling met afvoer van de bovengrondse biomassa in het voorgaande najaar is dit hoger dan verwacht. Er is geen duidelijke verklaring voor de afwezigheid van verschillen tussen wel/niet afvoeren in het najaar, of voor de hoge waarde van de nawerking bij afvoer.

### 2.3.2 Inleiding

Groenbemers kunnen, mits tijdig gezaaid, een aanzienlijke hoeveelheid N opnemen in het najaar en daarmee bijdragen aan verlaging van de nitraatuitspoeling. Bij vorstgevoelige groenbemers zoals bladrammenas en gele mosterd komt een deel van de opgenomen stikstof weer vrij na bevriezing van het gewas. Deze stikstof kan alsnog uitspoelen voor aanvang van het volgende groeiseizoen. Maaien en afvoer van een groenbemester in najaar/winter kan daarom bijdragen aan verdere verlaging van de nitraatuitspoeling. Het verzamelde materiaal kan gebruikt worden als input voor een vergistingsinstallatie of voor bioraffinage. Maaien en afvoer van een groenbemester kan echter ook de stikstofnawerking in het volggewas verlagen, waardoor er dan extra N-bemesting nodig is in vergelijking met op het veld laten van de groenbemester. Om het perspectief van maaien en afvoer van een groenbemester op nitraatuitspoeling te kunnen inschatten dient daarom zowel naar N-afvoer als nawerking in het volggewas gekeken te worden.

Dit experiment is gericht op twee aspecten:

1. Wat is de samenstelling van afgevoerde biomassa van een goede groenbemester?
2. Wat is de N-nawerking van de groenbemester in het volggewas bij wel of niet afvoeren van de bovengrondse biomassa?

### 2.3.3 Materiaal en methoden

Het onderzoek 'Afvoer en verwerking N-rijke gewasresten (BO-12.03-002-004)' is in een gezamenlijke proef uitgevoerd met het onderzoek 'Inwerktijdstip winterharde N-vanggewassen (BO-12.03-002-002)'. Hierbij is in najaar 2010 een veldproef aangelegd op zandgrond op proefbedrijf Vredepeel met de volgende behandelingen:

- Braak (geen groenbemester); 5 objecten voor N-bemestingstrappen in het volgende voorjaar (0, 50, 100, 150, 200 kg N ha<sup>-1</sup>);
- Bladrammenas; 2 objecten: wel en geen maaien en afvoeren van de bovengrondse biomassa;
- Winterrogge; objecten met verschillende inwerktijdstippen (beschreven in Van Geel *et al.*, 2011).

In voorjaar 2011 is op alle veldjes een volggewas mais gezaaid. Tabel 2.7 geeft een overzicht van werkzaamheden en waarnemingen en wanneer deze zijn uitgevoerd. De bladrammenas is kort voor zaai en ruim vijf weken na zaai bemest met in totaal 100 kg N ha<sup>-1</sup> om een goed geslaagd gewas te krijgen.

Tabel 2.7. *Overzicht van werkzaamheden met uitvoeringsdatum aan de plotjes met bladrammenas. Op de braakveldjes is de Nmin op dezelfde tijdstippen gemeten.*

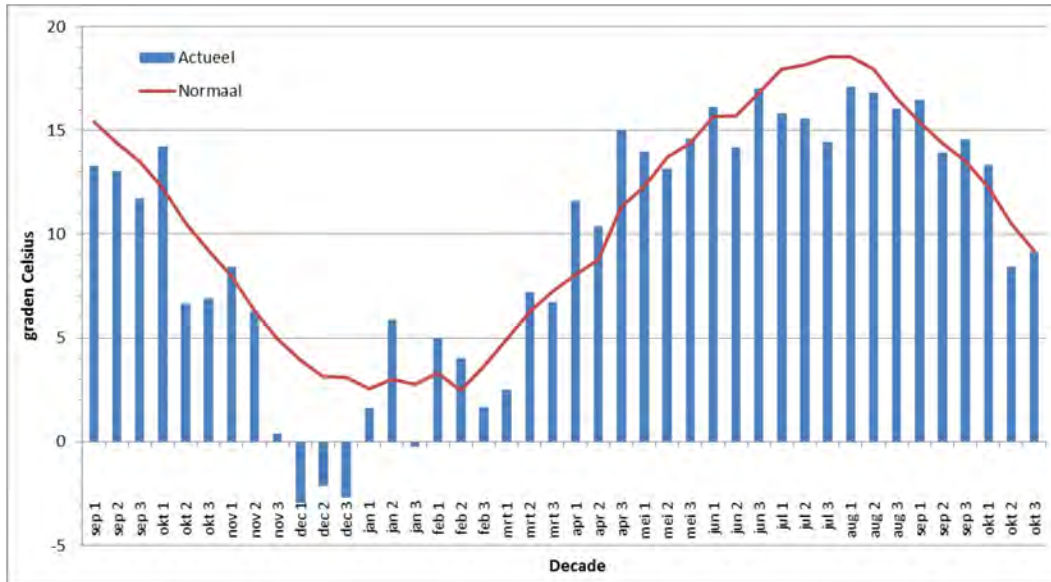
Datum	Actie
-	Voorvrucht triticale
17-08-2010	Nmin bepaling (0-30 cm, 30-60 cm)
18-08-2010	Bemesting bladrammenas, 50 kg N/ha
20-08-2010	Zaai bladrammenas, ras Terranova
13-09-2010	Gewaswaarnemingen bladrammenas (bodembedekking, kleur, stand)
27-09-2010	Bemesting bladrammenas, 50 kg N/ha
22-10-2010	Gewaswaarnemingen bladrammenas (bodembedekking, kleur, stand, lengte)
22-11-2010	Gewaswaarnemingen bladrammenas (bodembedekking, kleur, stand, lengte)
22-11-2010	Oogst bladrammenas bij object 'maaien en afvoeren'
30-11-2010	Nmin bepaling (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm)
08-12-2010	Gewaswaarnemingen bladrammenas (stand)
13-12-2010	Gewaswaarnemingen bladrammenas (stand)
08-02-2011	Nmin bepaling (0-30 cm, 30-60 cm) – alleen braakveldjes
23-03-2011	Nmin bepaling (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm)
12-04-2011	Nmin bepaling (0-30 cm, 30-60 cm)
18-04-2011	Aanleggen stikstoftrappen met KAS op braakveldjes: 0, 50, 100, 150 en 200 kg N/ha
02-05-2011	Ploegen proefveld, met vorenpakker en diepwoelers. Bewerkingsdiepte ca. 25 cm
03-05-2011	Zaai snijmaïs, ras Torres
19-05-2011	Gewaswaarnemingen snijmaïs (bodembedekking, kleur, stand)
16-06-2011	Nmin bepaling (0-30 cm, 30-60 cm)
17-06-2011	Gewaswaarnemingen snijmaïs (stand)
10-07-2011	Beregening 25-30 mm
15-07-2011	Gewaswaarnemingen mais (stand)
17-10-2011	Oogst snijmaïs
18-10-2011	Nmin bepaling (0-30 cm, 30-60 cm)

## 2.3.4 Resultaten

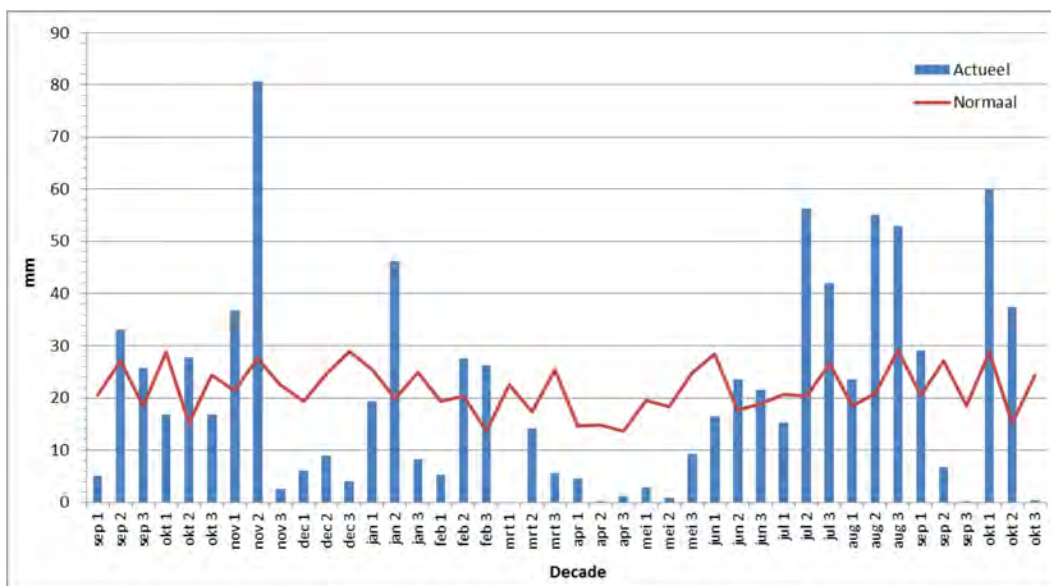
### 2.3.4.1 Weersgegevens Vredepeel

In Figuur 2.1 en 2.2 zijn de gemiddelde dagtemperatuur en neerslagsom te Vredepeel per decade weergegeven (uit: Van Geel *et al.*, 2011). Decade 1 = dag 1 t/m 10, decade 2 = dag 11 t/m 20 en decade 3 = dag 21 t/m 30 of 31. Tevens is de normale temperatuur en normale hoeveelheid neerslag weergegeven. Dit betreft het gemiddelde van de jaren 1981-2010 (de normaalperiode). De normalen zijn genomen van de dichtstbijzijnde meetpunten van het KNMI. Voor de neerslag betrof dit IJsselsteyn en voor de temperatuur is het gemiddelde genomen van Volkel en Arcen.





Figuur 2.1. Gemiddelde dagtemperatuur per decade te Vredepeel (september 2010 t/m oktober 2011). De lijn geeft het gemiddelde van de jaren 1981-2010.



Figuur 2.2. Neerslag per decade te Vredepeel (september 2010 t/m oktober 2011). De lijn geeft het gemiddelde van de jaren 1981-2010. Aug 3 in 2010 bedroeg 66 mm.

#### 2.3.4.2 Gewasontwikkeling bladrammenas

Het gewas werd ongeveer 30 cm hoog en gaf een vrijwel volledige bodembedekking (Tabel 2.8). Op 22 november werd van de plotjes bestemd voor maaien en afvoer gemiddeld 27.5 ton ha<sup>-1</sup> vers gewicht met daarin 77 kg N en 31.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> afgevoerd.

Tabel 2.8. Gewasontwikkeling bladrammenas, en hoeveelheid en samenstelling van de gemaaide en afgevoerde bladrammenas.

	Eenheid	Waarde	Standaardfout van het gemiddelde
<i>Bodembedekking</i>			
13-sep	%	20	± 0
22-okt	%	90	± 0
25-nov	%	96	± 2.3
<i>Gewashoogte</i>			
22-okt	cm	27	± 2.2
25-nov	cm	31	± 2.6
<i>Analyses afgevoerd materiaal</i>			
drogestof	g/kg vers	109	± 9
N-totaal	g/kg drogestof	27	± 1
P-totaal	g/kg drogestof	4.7	± 0.2
C-totaal	g/kg drogestof	376	± 7.2
ruw as	g/kg drogestof	259	± 16
<i>Afgevoerde hoeveelheden</i>			
vers gewicht	kg/ha	27543	± 4781
droog gewicht	kg/ha	2881	± 339
N	kg/ha	77	± 11
P	kg/ha	13.7	± 2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg/ha	31.5	± 4.6
C	kg/ha	1084	± 132
<i>Verhoudingen</i>			
N/P	–	5.6	± 0.2
C/N	–	14.2	± 0.3

### 2.3.4.3 Nmin bodem

De Nmin-voorraad na de oogst van de triticale was 25 kg ha<sup>-1</sup> in de laag 0-60 cm, met slechts 6 kg ha<sup>-1</sup> in de bovenste 30 cm (Tabel 2.9). Om een voldoende ontwikkeld bladrammenas gewas te kunnen krijgen zijn twee N giften van 50 kg N ha<sup>-1</sup> toegediend op 18 augustus en 27 september 2010. Deze N is waarschijnlijk volledig opgenomen door de bladrammenas, aangezien op 30 november 2010 in de laag 0-60 cm geen significante verschillen in Nmin tussen bladrammenas en braak gevonden worden. In de laag 60-90 cm was de Nmin-voorraad in de bodem door teelt van bladrammenas met ongeveer 16 kg/ha verlaagd.

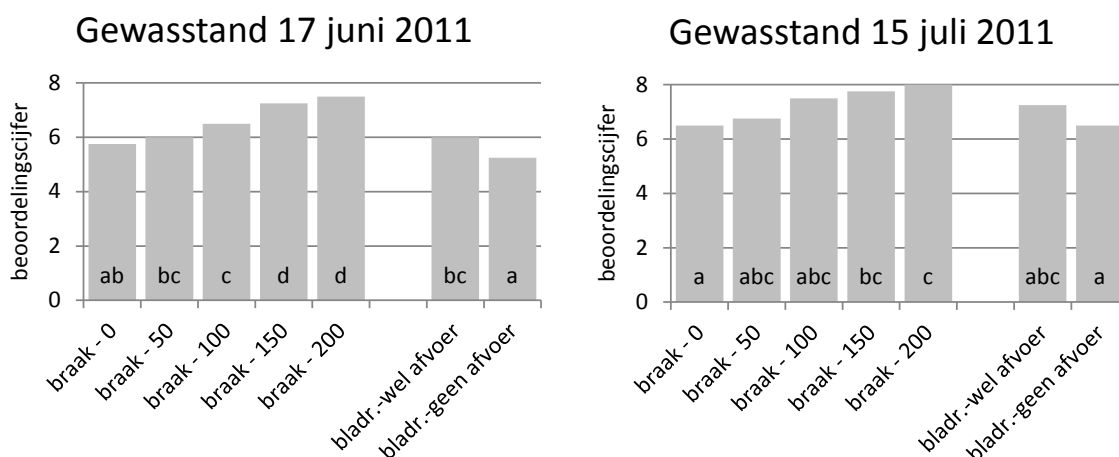
Op 23 maart 2011 was de Nmin op de braakveldjes laag, en was de Nmin 0-60 cm bij beide behandelingen met bladrammenas ongeveer 15-20 kg N/ha hoger. Op 12 april 2011 was dit verschil weer iets afgenomen. Dit kan niet veroorzaakt zijn door uitspoeling aangezien er in die periode vrijwel geen neerslag was gevallen. Op 16 juni 2011, zes weken na de zaai van de mais, was de Nmin in alle behandelingen duidelijk toegenomen. Dit is volledig het gevolg van mineralisatie omdat geen van de behandelingen bemest was. De Nmin 0-60 cm bij beide behandelingen met bladrammenas was op 16 juni 2011 bijna 40 kg N/ha hoger dan bij de braak, ook weer zonder verschil tussen wel of geen afvoer van de bladrammenas in het voorgaande najaar.

Tabel 2.9. Nmin-voorraad op verschillende diepte tijdens het verloop van de proef. Letters geven statistisch betrouwbare verschillen tussen behandelingen binnen een combinatie van tijdstip en diepte. Alle behandelingen werden in 2011 niet bemest.

		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	Totaal 0-60 cm	Totaal 0-90 cm
17 aug 2010	Gehele proefveld	6	20	—	25	—
30 nov 2010	braak – 0 kg N ha <sup>-1</sup>	5	9	22 b	14	35
	bladrammenas - geen afvoer	5	4	5 a	9	14
	bladrammenas - wel afvoer	8	3	6 a	11	17
8 feb 2011	braak – 0 kg N ha <sup>-1</sup>	6	6	—	12	—
23 mrt 2011	braak – 0 kg N ha <sup>-1</sup>	6 a	7 a	2	13 a	15 a
	bladrammenas - geen afvoer	20 c	13 b	3	33 b	36 b
	bladrammenas - wel afvoer	14 b	14 b	3	28 b	30 b
12 apr 2011	braak – 0 kg N ha <sup>-1</sup>	8	4 a	—	12 a	—
	bladrammenas - geen afvoer	10	9 b	—	19 ab	—
	bladrammenas - wel afvoer	13	9 b	—	22 b	—
16 jun 2011	braak – 0 kg N ha <sup>-1</sup>	60	30 a	—	90 a	—
	bladrammenas - geen afvoer	79	48 b	—	126 b	—
	bladrammenas - wel afvoer	84	47 b	—	130 b	—

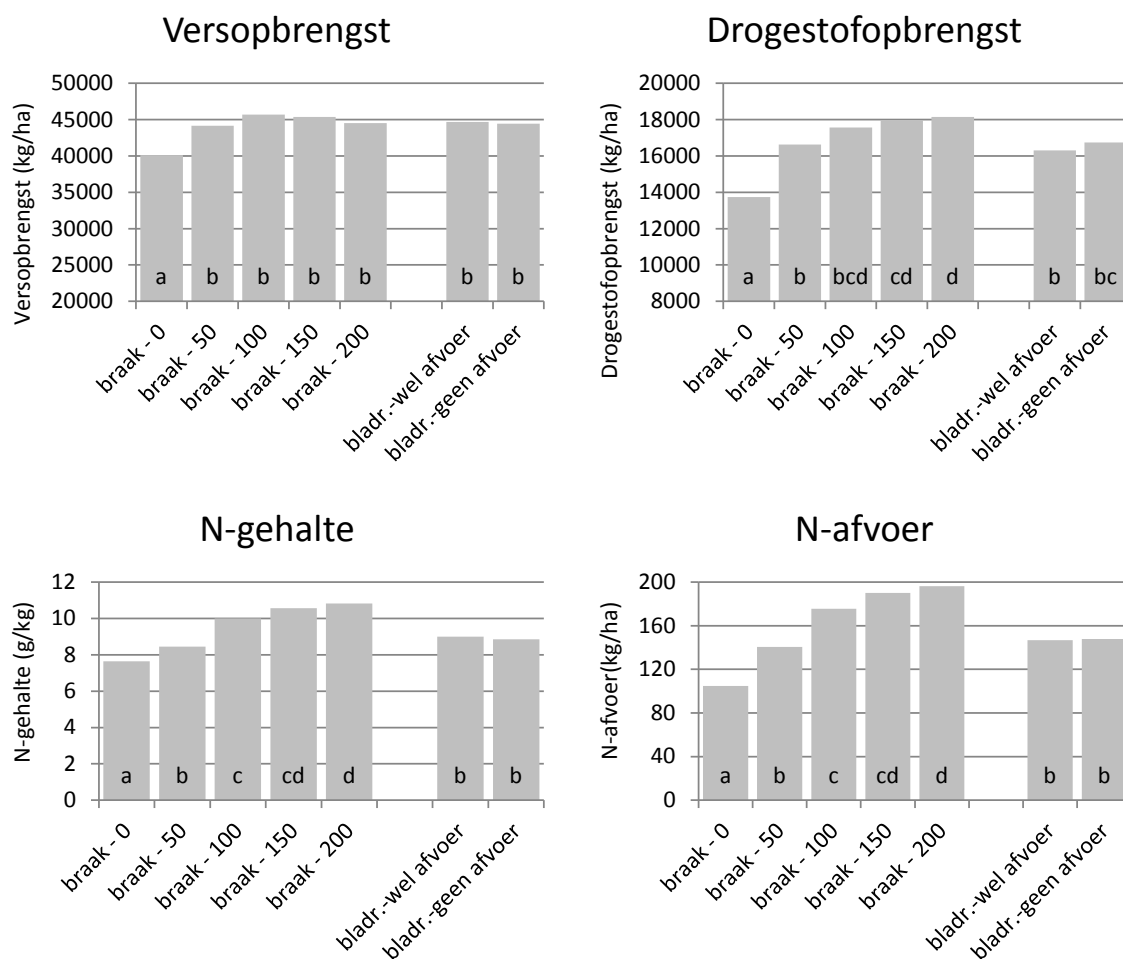
### 2.3.4.4 Volggewas maïs

Op 19 mei 2011, kort na opkomst van de maïs, waren er tussen de veldjes waar geen groenbemester had gestaan en de veldjes met wel of niet afgevoerde bladrammenas geen verschillen zichtbaar in bodembedekking, kleur of stand van het gewas. Bij de waarnemingen op 17 juni en 15 juli was het effect van de N-trappen op de veldjes waar in het najaar geen groenbemester had gestaan duidelijk zichtbaar: toenemende N-gift gaf een betere stand (Figuur 2.3). De gewasstand bij de veldjes met afvoer van bladrammenas was iets beter dan die zonder afvoer. De stand kwam overeen met die van braak met 0 of 50 kg N ha<sup>-1</sup>.



Figuur 2.3. Beoordeling gewasstand maïs. Braak betekent geen groenbemester in het voorgaande najaar, de cijfers geven de N-gift in het voorjaar weer in kg/ha. Verschillende letters geven een statistisch significant verschil weer tussen de behandelingen.

De versopbrengst van de snijmaïs was het laagst bij de onbemeste braakveldjes en verschilde niet tussen de andere behandelingen (Figuur 2.4). Bij de drogestofopbrengst was een duidelijke toename te zien in opbrengst met toenemende N-gift. Tussen beide behandelingen met bladrammenas in het najaar was geen verschil in opbrengst te zien. De verschillende bemestingstrappen hadden een duidelijk effect op het N-gehalte en de N-afvoer (Figuur 2.4 – onder). Tussen beide behandelingen met bladrammenas waren er geen verschillen in N-gehalte of N-afvoer. Het niveau van N-afvoer kwam overeen met die van veldjes met een gift van 50 kg N/ha.



Figuur 2.4. Gewasopbrengst maïs en de N-inhoud. Braak betekent geen groenbemester in het voorgaande najaar, de cijfers geven de N-gift in het voorjaar weer in kg/ha. Verschillende letters geven een statistisch significant verschil weer tussen de behandelingen.

### 2.3.5 Totaaloverzicht wel of niet afvoeren van bladrammenas

In de proef was de bladrammenas bemest met in totaal 100 kg N ha<sup>-1</sup> om een voldoende ontwikkelde groenbemester te krijgen zodat het effect van maaien en afvoeren van een dergelijke groenbemester op nawerking in het volggewas goed bekeken kan worden. Van de gift van 50 kg N ha<sup>-1</sup> van 18 augustus 2010 kan een deel zijn uitgespoeld omdat er eind augustus 66 mm neerslag viel. Na de tweede gift van 50 kg ha<sup>-1</sup> eind september viel er geen overmatige neerslag. Waarschijnlijk heeft de bladrammenas het merendeel van de N ook opgenomen, en een goede N-opname door bladrammenas bleek ook uit de lagere N<sub>min</sub> in de laag 60-90 cm ten opzichte van de braak. In de bovengrondse delen zat eind november 77 kg N ha<sup>-1</sup>. Deze N lijkt niet bij te dragen aan de nawerking in het volggewas maïs, aangezien er geen enkel verschil was tussen de behandelingen met en zonder afvoer. Waarom deze N niet wordt teruggevonden in het volggewas maïs is onduidelijk. De bladrammenas is eind november/begin

december doodgevroren. Het lijkt niet aannemelijk dat al deze N via nitraatuitspoeling verloren is gegaan, aangezien de temperatuur in de winter laag was en er geen overmatige neerslag is gevallen (Figuur 2.1 en 2.2). Een deel van de N kan als ammoniak vervluchtigd zijn: in eerder onderzoek vond De Ruijter *et al.* (2010) een emissie van 7% van de N-inhoud van bladrammenas.

In het volggewas mais werd een N nawerking gevonden overeenkomend met een voorjaars N-gift van 50 kg ha<sup>-1</sup>, zowel voor de behandelingen met als zonder afvoer van de bovengrondse biomassa. Voor de behandeling met afvoer van de bovengrondse biomassa zou de nawerking dan afkomstig moeten zijn uit de achtergebleven wortels en stoppels. De N-inhoud daarvan is in dit onderzoek niet gemeten. Van Dam en Leffelaar (1998) vonden echter slechts 10% van de N inhoud van bladrammenas in stengels en wortels, en 90% in groen blad en afgestorven blad. Van de totale biomassa van bladrammenas bestaat ongeveer een derde uit wortels (Talgre *et al.*, 2011). Over het algemeen hebben wortels een lager N-gehalte dan bovengrondse biomassa. De N nawerking uit wortels en stoppels van 50 kg ha<sup>-1</sup> is bij een bovengrondse N-inhoud van 77 kg ha<sup>-1</sup> daarom hoger dan verwacht. Dit verdient nader onderzoek. Wanneer afvoeren van de bovengrondse biomassa van bladrammenas weinig tot geen effect heeft op de N-nawerking in het volggewas kan het nitraatuitspoeling terugdringen terwijl landbouwkundige voordelen op peil blijven.

### 2.3.6 Conclusies

- In gemaaide en afgevoerde bovengrondse biomassa van bladrammenas zat 77 kg N ha<sup>-1</sup> en 31.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.
- Wel of niet afmaaien en afvoeren van bladrammenas gaf geen verschillen in N-nawerking in het volggewas mais, en de nawerking kwam overeen met een kunstmestgift van 50 kg ha<sup>-1</sup>

## 2.4 Discussie

Er zijn verschillen tussen gewassen in afbreekbaarheid, en niet alle gewasresten blijken even goed verwerkt te kunnen worden in een vergistingsinstallatie. In de thermofiele vergistingsinstallatie van Ecofuels wordt snijafval en reststoffen uit de voedings- en genotsmiddelindustrie vergist. Vergisting van preiresten is onderzocht in deze installatie, maar preiresten bleken te vezelig en onvoldoende af te breken, ook na hakselen of fijnmalen (pers.med. F. Laarakker). In de installatie van Ecofuels worden daarom geen preiresten of andere vezelrijke producten meer vergist. Preiresten geven per ton versproduct een lagere gasopbrengst dan suikerbietenloof (Tabel 2.10). Mogelijkheden om de gasopbrengst van moeilijk te vergisten materiaal te verhogen via thermische voorbehandeling worden onderzocht binnen Acrres ([www.acrres.nl](http://www.acrres.nl)).

Tabel 2.10. *Biogasopbrengst (m<sup>3</sup> biogas/ton vers materiaal) van mest, energiegewassen en agrarische afvalstromen (uit: Ryckaert et al., 2006).*

Mest		Energiegewassen		Agrarische afvalstromen	
Drijfmest varkens	30	Wintertarwe	629	Uienschillen	55
Drijfmest rundvee	27	Stro wintertarwe	312	Preiafval	49
		Kuilmais	198	Afgestookte witloofwortels	44
		Suikerbieten	163	Spruitstokken	40
		Suikerbietenloof	91		
		Raaigras	88		
		Aardappelen	88		
		Voederbieten	84		
		Voederbietenloof	74		

De nutriëntenkringloop is van belang om het totale effect van afvoeren en vergisten van gewasresten op nitraatuitspoeling en bodemvruchtbaarheid te kunnen maken. Na vergisting komen alle nutriënten van gewasresten terecht in het digestaat. Wanneer dit digestaat onbewerkt gebruikt wordt in de landbouw worden alle nutriënten die in de gewasresten zaten hergebruikt. Voor suikerbietenloof hebben De Ruijter *et al.* (2009) in een burostudie een vergelijking gemaakt tussen achterlaten op het veld en afvoeren+vergisten, waarbij voor het digestaat gekeken is naar onbewerkt hergebruik en hergebruik van de vaste fractie en struviet, met zuivering van de dunne fractie (Tabel 2.11). In die burostudie werd verondersteld dat de niet-afgebroken organische stof vrij stabiel is, en dat daarvan niet veel afbreekt kort na toedienen en daarom vergelijkbaar is met EOS. Deze veronderstelling wordt bevestigd door de resultaten van het onderzoek naar de N-werking van de vaste fractie van digestaat van puur plantaardig materiaal (hoofdstuk 2.2). De eerstejaars N-werking bedroeg 26% en was daarmee iets lager dan het aandeel minerale N in het product van 34% (Tabel 2.1). Dit betekent dat een deel van de vrijgekomen N tijdens vergisting in de vaste fractie terecht komt en niet in het zuiveringsproces van de dunne fractie. Conclusies van De Ruijter *et al.* (2009) rondom het effect van vergisting op N-stromen en organische stof blijven daarom grotendeels staan:

- Afvoeren van bietenloof, vergisten en gebruik van digestaat geeft een besparing tot 56 kg ha<sup>-1</sup> op het gebruik van kunstmest-N en verlaagt emissies van NH<sub>3</sub> naar de lucht met 5 kg ha<sup>-1</sup> en emissies van NO<sub>3</sub> naar het grond- en oppervlaktewater met 11 kg ha<sup>-1</sup>.
- Zuivering van het digestaat tot struviet en resterende organische stof verlaagt de N-werking met 20 kg ha<sup>-1</sup> waardoor meer N nodig is uit andere bronnen. Emissie van NH<sub>3</sub> naar de lucht wordt verlaagd met 9 kg ha<sup>-1</sup>, van NO<sub>3</sub> naar het grondwater met 11 kg ha<sup>-1</sup>.
- Aanvoer aan effectieve organische stof wordt door de vergisting meer dan gehalveerd.

Tabel 2.11. *Vergelijking van het achterlaten van bietenloof op het perceel met afvoer, vergisting en hergebruik. Hoeveelheden in kg ha<sup>-1</sup>jaar<sup>-1</sup>. Bietenloof heeft een N-inhoud van 110 kg ha<sup>-1</sup> (uit: De Ruijter *et al.*, 2009).*

	Achterlaten bietenloof	Afvoer bietenloof, vergisting en gebruik digestaat voor volggewas	<i>effect</i>	Afvoer, vergisting, zuivering digestaat en gebruik struviet en resterende organische stof	<i>effect</i>
Stikstof			<i>effect</i>		<i>effect</i>
- N-werking volggewas	30	86	+56	10 <sup>a</sup>	-20 <sup>a</sup>
- Ammoniakemissie	9 (lager op klei)	4	-5	>0	-9
- Denitrificatie	2 (hoger op klei)	pm	-2	pm	-2
- Resterend in organische stof	40	20	-20	20	-20
- Nitraatuitspoeling	11 (lager op klei)	>0	-11	0	-11
- Niet benoemd	18	0		0	
Fosfaat	36	36	0	36	0
K <sub>2</sub> O-uitspoeling	9 (0 op klei)	0	-9	<i>niet op perceel</i>	<i>pm</i>
Effectieve organische stof	900	<447	-453	<447	-453

<sup>a</sup> *Aangepast op basis voorliggend onderzoek.*

Het afmaaien, afvoeren en vergisten van niet-winterharde groenbemesters is een extra mogelijkheid voor reductie van nitraatuitspoeling. Als grondstof voor een vergistingsinstallatie is het een tijdelijke aanvulling vanwege de korte periode waarin het gewas beschikbaar is en de beperkte bewaarbaarheid. De N-inhoud van groenbemesters verschilt sterk tussen percelen en jaren en is afhankelijk van het zaaitijdstip en de bemesting. De gewasstand van het onderzochte gewas bladrammenas (hoofdstuk 2.3) werd gekwalificeerd als licht tot matig (pers. med. H. Versteegen)

en bevatte 77 kg N ha<sup>-1</sup>. Waarschijnlijk werd hiermee een substantiële nitraatuitspoeling voorkomen aangezien de N-nawerking in het volggewas niet verschilde tussen wel of geen afvoeren van de bovengrondse biomassa. Via stoppels en wortels werd een nawerking gevonden overeenkomend met een N-gift van 50 kg ha<sup>-1</sup>. Deze resultaten wijzen erop dat afvoeren van de bovengrondse biomassa van de groenbemester nitraatuitspoeling terugdringt zonder nadelig effect op stikstofoverdracht naar het volggewas. Deze uitkomst is verrassend en verdient nader onderzoek. Hierbij dient dan ook gekeken te worden naar het risico op verminderde bodemstructuur bij maaien en afvoeren van niet-winterharde groenbemesters in het najaar onder natte omstandigheden.

In plaats van zuivering van de dunne fractie kan deze ook verwerkt worden via omgekeerde osmose. De effectiviteit van deze methode is in de afgelopen jaren onderzocht bij verwerking van dierlijke mest (Velthof, 2011). Bij omgekeerde osmose blijven de nutriënten (inclusief stikstof) behouden als meststof en wordt mineralenconcentraat en permeaat geproduceerd. Het permeaat kan gebruikt worden als spoelwater of geloosd worden op het oppervlaktewater. Het mineralenconcentraat kan als meststof in de landbouw worden afgezet, en heeft een stikstofwerkingscoëfficiënt ten opzicht van KAS variërend van 76-90% op bouwland en op grasland van 67-81% (Velthof, 2011). Deze waarden komen overeen met de 78% als schatting van de werkingscoëfficiënt van onbewerkt digestaat van vergisting van bietenloof (86/110; zie Tabel 2.11). Het voordeel van omgekeerde osmose boven onbewerkt gebruik van digestaat is het lagere volume waardoor bespaard kan worden op kosten voor transport, opslag en toediening. Daar tegenover staan de kosten van het proces. Het voordeel van omgekeerde osmose boven zuivering van de dunne fractie is dat nutriënten behouden blijven in het landbouwsysteem. Haalbaarheid van verwerking van dierlijke mest met omgekeerde osmose staat of valt met de hoogte van mestprijzen, waarbij eventuele afzet van concentraat als kunstmestvervanger ook een rol speelt (De Hoop *et al.*, 2009). Producten uit omgekeerde osmose van digestaat van puur plantaardig materiaal concurreren met die van dierlijke mest, waarbij het al dan niet aanmerken als dierlijke mest effect kan hebben op de afzetmogelijkheden.

## 2.5 Conclusies vergisting

- De stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal bedroeg 26% en was daarmee lager dan de wettelijke forfaitaire norm van 40%.
- De dikke fractie van gescheiden digestaat van puur plantaardig materiaal had een relatief hoge verhouding tussen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> -gehalte en organische-stofgehalte in vergelijking met andere mestsoorten, wat invloed kan hebben op de afzetmogelijkheden wanneer telers organische stof willen aanvoeren binnen de aanvoerruimte van P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- Maaien en afvoeren van bovengrondse biomassa van bladrammenas gaf een afvoer van 77 kg N ha<sup>-1</sup> en 31.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> maar had geen effect op de N-nawerking in het volggewas mais. Dit biedt perspectief voor terugdringen van nitraatuitspoeling bij behoud van bodemvruchtbaarheid en vraagt verder onderzoek.
- In vergelijking met op het land laten van bietenloof geeft afvoeren, vergisten en gebruik van digestaat een besparing tot 56 kg ha<sup>-1</sup> op het gebruik van kunstmest-N en verlaagt het emissies van NH<sub>3</sub> naar de lucht met 5 kg ha<sup>-1</sup> en emissies van NO<sub>3</sub> naar het grond- en oppervlaktewater met 11 kg ha<sup>-1</sup>.
- Wanneer het digestaat van vergisting van bietenloof wordt gezuiverd tot struviet en resterende organische stof wordt in vergelijking met op het land laten van het bietenloof de N-werking met 20 kg ha<sup>-1</sup> verlaagt waardoor meer N nodig is uit andere bronnen. Emissie van NH<sub>3</sub> naar de lucht wordt verlaagd met 9 kg ha<sup>-1</sup>, van NO<sub>3</sub> naar het grondwater met 11 kg ha<sup>-1</sup>.
- Bij vergisting en hergebruik van digestaat wordt de aanvoer aan effectieve organische stof meer dan gehalveerd in vergelijking met op het land laten van bietenloof.





## 3. Compostering op boerderijschaal (experiment 3)

### 3.1 Samenvatting

Compostering van afgevoerde gewasresten op boerderijschaal heeft als voordeel dat organische stof en de verschillende nutriënten op het boerenbedrijf blijven. Voor compostering van preiresten is toevoeging van structuurrijk materiaal nodig. Aanvoer van C-rijke gewasresten van andere bedrijven is binnen de huidige wetgeving niet mogelijk. Aanvoer van jonge natuurcompost lijkt daarom perspectief te bieden voor goede compostering op boerderijschaal.

Twee composthopen zijn opgezet op een vloeistofdichte vloer, met een 20 cm dikke onderlaag van jonge natuurcompost en afgedekt met vliesdoek. Uit de hopen met een 1:1 of 2:1 mengsel van preiresten met jonge natuurcompost op lekte vrijwel geen N of P. Door koude omstandigheden bij aanvang van de composthopen bleef de hittefase achterwege en werd een maximum temperatuur van 20-30°C bereikt. Over de gehele periode van november tot april verdween 8 tot 16% van de N-inhoud van de composthopen via vervluchtiging en daalde de hoeveelheid organische stof met ongeveer 20%.

Berekeningen op basis van literatuur en vuistgetallen geven aan dat de hoeveelheid werkzame N in het volgende jaar hoger is bij uitrijden van preiresten in het najaar dan bij composteren. Voor de teler lijkt het vanuit oogpunt van werkzame N daarom raadzaam niet te composteren. Redenen voor compostering kunnen liggen in voorkomen van structuurschade bij uitrijden van preiresten in het najaar, vermindering van ziektedruk (daarvoor dient wel een voldoende hittefase bereikt te worden) en het de winter over tillen van kalium. Deze aspecten waren echter in het voorliggende onderzoek niet meegenomen.

### 3.2 Inleiding

Compostering van gewasresten is onderzocht binnen het praktijknetwerk Telen met toekomst. Hierbij is een netwerk compostering opgebouwd, begonnen rondom aardbeitelers die vanuit fyto-sanitair oogpunt de gewasresten composteren (Rovers, 2010). Voor compostering is een goede samenstelling van de hoop nodig, wat bij N-rijke en natte gewasresten betekent dat er structuurrijk materiaal aangevoerd moet worden. Uitwisseling tussen bedrijven van structuurrijk materiaal van bijvoorbeeld boomtelers met N-rijk materiaal van groentegewassen kan een goede samenstelling van composthopen geven (Rovers, 2008b). De mogelijkheden voor toevoeging van structuurrijk materiaal zijn binnen de huidige wetgeving echter beperkt omdat een bedrijf alleen afvalstoffen van een ander bedrijf mag verwerken als het voldoet aan de wettelijke eisen voor afvalverwerkers. Vanuit het praktijknetwerk Telen met toekomst is daarom gekeken naar compostering van preiresten met aangekochte compost. Ervaring hiermee was dat het geheel vrij nat was, en dat er beter geen uitgerijpte compost kan worden toegevoegd maar materiaal dat nog verder kan composteren (pers. med. J. Rovers). Daarom is in het voorliggende onderzoek gekeken naar compostering van preiresten met jonge, nog actieve natuurcompost. Bij dit compost product is het composteringsproces nog bezig. Voor compostering van N-rijke gewasresten bieden preiresten het meeste perspectief omdat deze al verzameld zijn. Voordelen van compostering van preiresten kunnen liggen in vermindering van de ziektedruk, behoud van organische stof op het bedrijf en verhoging van de benutting van nutriënten uit gewasresten. Het laatste punt gaat voor ondernemers een grotere rol spelen bij verdere aanscherping van gebruiksnormen. In welke mate compostering invloed heeft op de N-benutting is onvoldoende bekend en wordt in voorliggend experimenteel onderzoek bekeken. Het experiment is gericht op twee aspecten:

1. hoeveel N gaat verloren bij het composteringsproces, zowel via percolatie als verliezen naar de lucht?
2. Wat is het effect van verschillende verhoudingen jonge natuurcompost:preiresten op de N-verliezen?

### 3.3 Materiaal en methoden

De proef is uitgevoerd op proefbedrijf Vredepeel op verharde ondergrond met opvang van lekwater. In najaar 2010 zijn twee composthopen aangelegd met mengsels van jonge natuurcompost en preiresten (Tabel 3.1). Onder beide hopen is een onderlaag van jonge natuurcompost aangebracht, met daarop laagsgewijs jonge natuurcompost en preiresten die vervolgens met een frees zijn gemengd. De hopen werden afgedekt met vliesdoek.

De jonge natuurcompost was afkomstig van Den Ouden. Preiresten waren afkomstig van een praktijkbedrijf uit de buurt. De preiresten ontstaan tijdens schoning van prei in de schuur, en het duurt enige tijd voordat een voldoende grote hoeveelheid is verzameld. Hoop 2 is daarom een paar dagen later aangelegd dan hoop 1 (Tabel 3.1).

Bij aanleggen van de hoop is de natuurcompost en prei gewogen, en zijn van beide partijen vier monsters genomen voor analyse van de samenstelling. Aan het einde van de proef is de totale hoeveelheid compost gewogen en zijn vier compostmonsters per hoop genomen. De monsters zijn geanalyseerd door het BLGG op drogestof, ruw as, organische stof en N-totaal, P-totaal, K-totaal (alleen aan het eind) en C-totaal. De temperatuur in de hoop werd regelmatig gemeten, in het begin drie keer per week en na een paar weken in ruimere intervallen. Tegelijkertijd werd ook geur waargenomen, en een indicatief cijfer genoteerd voor de mate van stank. Per afzonderlijke hoop werd lekvocht uit de hoop en regenwater opgevangen in bassins van 2,5 m<sup>3</sup>. Regelmatig werden deze bassins leeggepompt, waarbij de hoeveelheid water werd gemeten en een monster genomen voor analyse op NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, Nts (totaal oplosbaar N) en P.

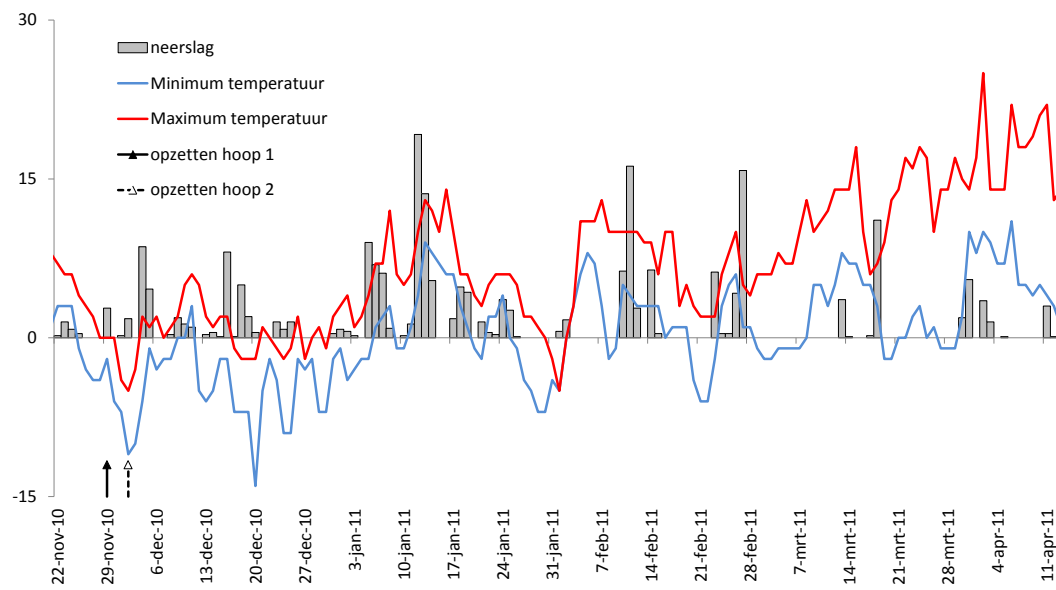
*Tabel 3.1. Opzet van beide composthopen en tijdstippen van mengen.*

Datum	Hoop 1	Hoop 2
Onderlaag	Jonge natuurcompost	Jonge natuurcompost
Mengverhouding	1:1 natuurcompost:prei	1:2 natuurcompost:prei
Datum mengen	29 november 2010	2 december 2010
Frezen van de ril	29 november 2010 10:30	2 december 2010 14:20
	7 december 2010 13:40	7 december 2010 14:05
	13 december 2010 15:05	13 december 2010 15:25
	17 december 2010 13:45	17 december 2010 13:55
	3 januari 2011 8:40	3 januari 2011 8:55
	19 januari 2011 11:00	19 januari 2011 11:15
Einde proef	12 april 2011	12 april 2011

## 3.4 Resultaten

### 3.4.1 Weersgegevens Vredepeel

Eind november daalde zowel de dag- als de nachttemperatuur tot onder het vriespunt (Figuur 3.1). Vooral hoop 2 werd onder zeer koude omstandigheden opgezet. In deze periode viel er neerslag in de vorm van sneeuw waardoor beide hopen onder een sneeuwdek kwamen te liggen.



Figuur 3.1. Neerslag en temperatuur tijdens de proefperiode.

### 3.4.2 Analyses natuurcompost, preiresten en eindproduct

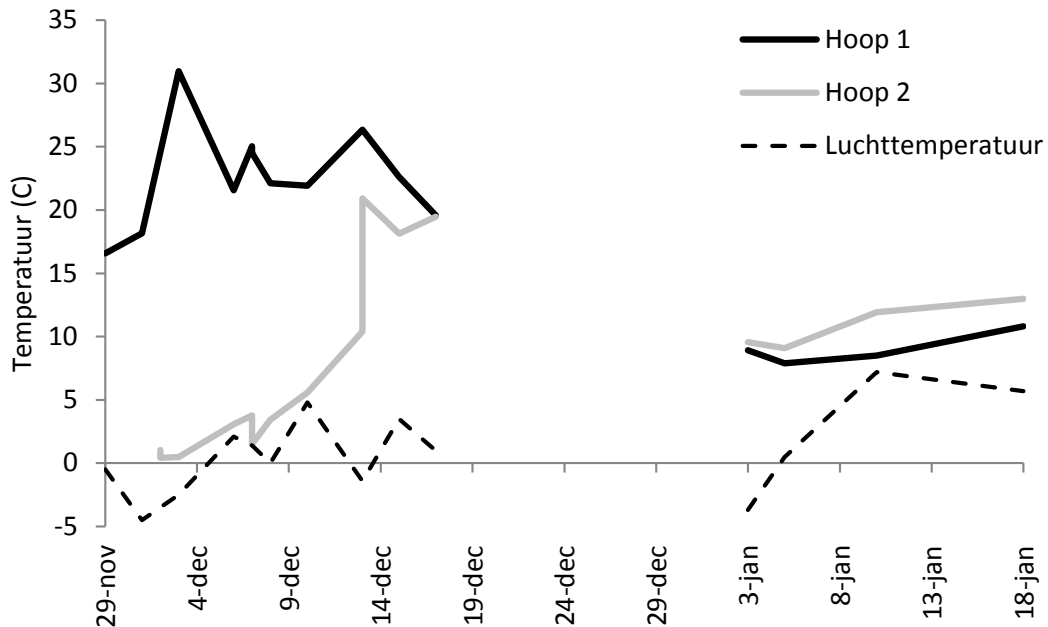
Resultaten van bemonstering van beide uitgangsmaterialen en van de compost na 4,5 maanden compostering is gegeven in Tabel 3.2. De C/N verhouding van het uitgangsmateriaal was rond de 21 voor de jonge natuurcompost en rond de 18 voor de preiresten. Het materiaal dat gebruikt is voor hoop 1 en voor hoop 2 kwam redelijk overeen qua samenstelling. In hoop 1 bevatten de preiresten iets meer zand dan in hoop 2, wat blijkt uit het hogere asgehalte. Uit de balansberekening (zie paragraaf 3.4.5) werd geconcludeerd dat er bij de bemonstering van de preiresten waarschijnlijk een deel grond is afgevallen of niet is mee bemonsterd, maar wel is meegewogen bij de partij preiresten en onderdeel is geworden van de composthoop. De hoeveelheid grond die niet bemonsterd was bij de preiresten bleek 10% van het totaalgewicht te bedragen in hoop 1, en 8% in hoop 2. Tabel 3.3 en 3.4 geeft gecorrigeerde waarden voor de aangevoerde preiresten. Verschillen in samenstelling van het eindproduct tussen hoop 1 en hoop 2 worden beïnvloedt door de verschillende mengverhouding prei:natuurcompost.

Tabel 3.2. Resultaten van bemonstering van natuurcompost en prei bij aanvang van de proef, en van de compost na 4,5 maanden compostering. SE=standaardfout van het gemiddelde. Analyses uitgevoerd door het BLGG.

Analyse	Eenheid	Hoop 1		Hoop 2	
		Waarde	SE	Waarde	SE
<i>Natuurcompost</i>					
Droge stof	g/kg product	499	4	492	4
Ruw as	g/kg ds	661	13	672	6
Organische stof	g/kg ds	339	13	328	6
N-totaal	g/kg ds	8.5	0.2	8.5	0.2
P-totaal	g/kg ds	1.3	0.03	1.3	0.03
Fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-totaal	g/kg ds	3.0	0.06	3.0	0.06
C-totaal	g/kg ds	180	4	176	8
C/N	–	21.2	0.5	20.7	1.2
N/P	–	6.4	0.24	6.4	0.04
<i>Preiresten</i>					
Droge stof	g/kg product	120	9	116	6
Ruw as	g/kg ds	373	45	319	25
Organische stof	g/kg ds	628	45	682	25
N-totaal	g/kg ds	18.0	1.47	18.3	0.82
P-totaal	g/kg ds	3.1	0.25	3.0	0.18
Fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-totaal	g/kg ds	7.2	0.57	6.9	0.42
C-totaal	g/kg ds	320	22	334	11
C/N	–	17.9	0.5	18.3	0.6
N/P	–	5.7	0.02	6.1	0.22
<i>Eindproduct</i>					
Droge stof	g/kg product	435	8	441	14
Ruw as	g/kg ds	713	6	695	9
Organische stof	g/kg ds	287	6	305	9
N-totaal	g/kg ds	7.9	0.24	9.0	0.30
P-totaal	g/kg ds	1.5	0.04	1.6	0.06
Fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-totaal	g/kg ds	3.4	0.09	3.5	0.15
C-totaal	g/kg ds	173	6	168	5
C/N	–	21.9	1.0	18.9	1.2
N/P	–	5.3	0.12	5.8	0.13

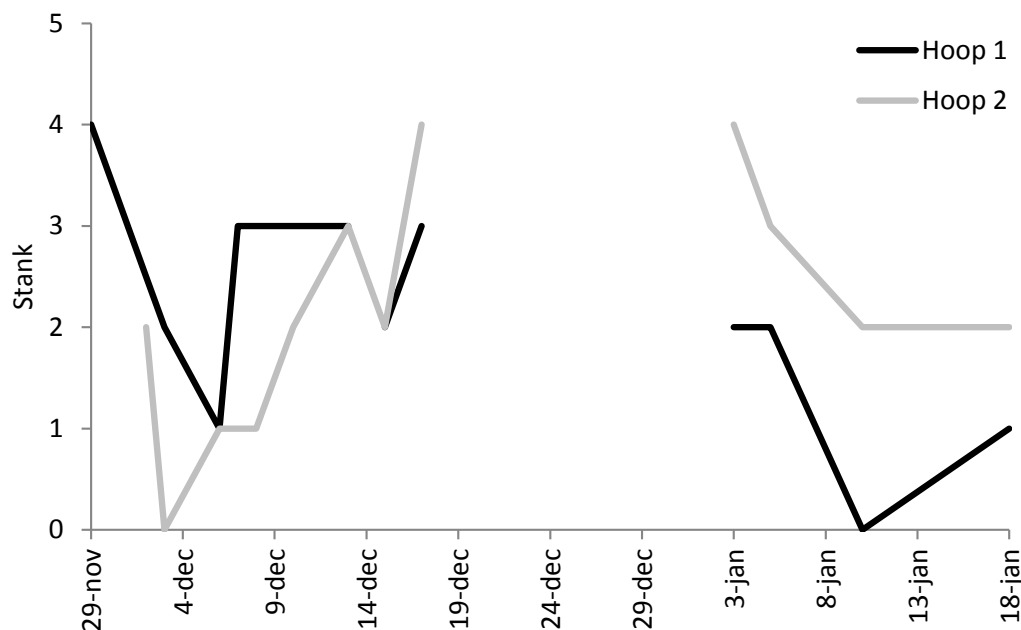
### 3.4.3 Temperatuurverloop in de hoop en geuremissie

De temperatuur in hoop 1 was gelijk na aanleg hoger dan de omgevingstemperatuur (Figuur 3.2). In hoop 1 kwam het broeiproces op gang, en de maximale temperatuur die bereikt werd was ruim 30. Het uitgangsmateriaal van hoop 2 was kouder dan bij hoop 1, en het broeiproces kwam nauwelijks op gang. Bij het omzetten op 7 december daalde de temperatuur in de hopen, maar bij het omzetten op 13 december steeg de temperatuur in hoop 2 naar ongeveer 20°C. Eind december zijn geen temperatuurmetingen uitgevoerd. Begin januari was de temperatuur in beide hopen gedaald tot ongeveer 10°C, nog wel hoger dan de omgevingstemperatuur.



*Figuur 3.2. Verloop van de temperatuur in de hoop, gemeten ca. 50 cm vanaf de zijkant van de hoop, vanaf aanleg van de hopen op 29 november (hoop 1) en 2 december (hoop 2). De luchttemperatuur is gemeten op het moment van meting van de hopen en het tijdstip varieert tussen 8.30 uur en 16.30 uur.*

Geur vanuit de preiresten was hoog bij het opzetten van de hopen (Figuur 3.3). Bij hoop 2 was dit minder dan bij hoop 1, waarschijnlijk door de lagere temperatuur van het materiaal. Geur vanuit de hoop hing vooral samen met temperatuur van de hoop.

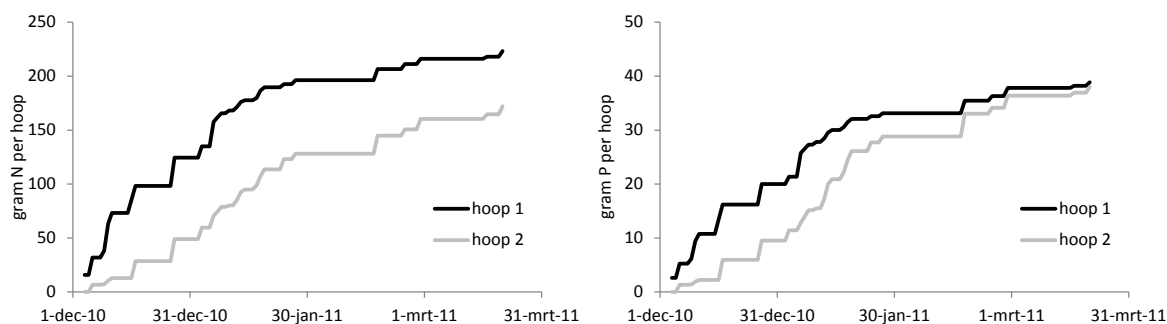


Figuur 3.3. Geur/stank van de hopen vanaf opzetten op 29 november (hoop 1) en 2 december (hoop 2). Cijfers zijn indicatief tussen 0 (geen stank) en 4 (duidelijke stank).

### 3.4.4 Opgevangen neerslag en percolatievocht en N-inhoud

In totaal werden de bassins 27 keer leeggepompt en een monster genomen voor analyse op N en P gehalte. Nts in het opgevangen water varieerde tussen 2 en 22 mg/liter. In het begin van de proef was er nauwelijks  $\text{NO}_3$  aanwezig in het water, later namen de gehalten iets toe met een maximale waarde van 2.5 mg/liter. Gemiddeld bestond Nts voor de helft tot een derde  $\text{NH}_4$ . Het P-gehalte varieerde tussen 0.5 en 4.6 mg/liter.

Cumulatief over de proefperiode lekte er 223 gram N en 38 gram P uit hoop 1, en 172 gram N en 38 gram P uit hoop 2 (Figuur 3.4). Dit is minder dan een half procent van de totale N en P-inhoud van de composthopen.



Figuur 3.4. Cumulatieve uitspoeling van N (links) en P (rechts) via percolatiewater uit beide composthopen (in g/hoop).

### 3.4.5 Balansberekening compostering op boerderijschaal

Voor bepaling van de N-verliezen uit de composthopen is een berekening gemaakt van de samenstelling van de hoop bij aanvang van de proef en bij beëindiging van de proef. Tijdens de compostering wordt organische stof afgebroken waardoor de totale hoeveelheid drogestof afneemt. Door deze afname van de totale hoeveelheid drogestof nemen de gehalten aan P en ruw as toe, maar de hoeveelheden P en ruw as die in de hoop aanwezig zijn veranderen niet. Zoals eerder beschreven was uitspoeling van P via percolatiewater te verwaarlozen (zie 3.4.4).

De balansberekening gaf in eerste instantie geen kloppend beeld: de hoeveelheid as leek toe te nemen tijdens de compostering, en de verhouding as:P was ook veranderd. Dit had twee oorzaken:

1. Het gewicht van de onderlaag jonge natuurcompost bleek niet exact bepaald te zijn,
2. Bij bemonstering van de preiresten is er waarschijnlijk een deel grond afgevalen of niet mee bemonsterd, waardoor het asgehalte van de preiresten is onderschat.

Daarom is de samenstelling van de preiresten gecorrigeerd door in de afgewogen hoeveelheid preiresten een hoeveelheid pure grond te veronderstellen met een asgehalte van 100%. Daarnaast is het gewicht van de onderlaag jonge natuurcompost aangepast, waarmee de verhouding natuurcompost:preiresten in de totale hoop ook verandert. Met behulp van het optimalisatieprogramma solver in MS Excel is de hoeveelheid grond in de preiresten en het gewicht van de onderlaag berekend, onder de volgende drie criteria:

1. De totale hoeveelheid P in de hoop moet aan begin en eind van de proef gelijk zijn,
2. De totale hoeveelheid as in de hoop moet aan begin en eind van de proef gelijk zijn,
3. De verhouding tussen het P-gehalte en as-gehalte van de totale hoop moet aan begin en eind van de proef gelijk zijn (gehalten op basis van drogestof).

De hoeveelheid grond die niet bemonsterd was bij de preiresten bleek 10% van het totaalgewicht te bedragen in hoop 1, en 8% in hoop 2. De uiteindelijke samenstelling van beide hopen is te zien in Tabel 3.3 en 3.4.

Tabel 3.3. Samenstelling en gewicht van hoop 1 aan het begin en eind van de proef.

		Natuur compost	Preiresten bemonsterd	Niet bemonsterd zand	Preiresten gewogen	Totale hoop Begin	Totale hoop Eind	Verandering
<i>Gehalten</i>								
Droge stof	g/kg prod.	499	120	1000	206	377	435	58
Ruw as	g/kg ds	661	373	1000	672	663	713	49
Org. stof	g/kg ds	339	628	0	328	337	287	-49
N-totaal	g/kg ds	8.5	18.0	0	9.4	8.7	7.9	-0.8
P-totaal	g/kg ds	1.3	3.1	0	1.6	1.4	1.5	0.1
C-totaal	g/kg ds	180	320	0	167	177	173	-5
<i>Verhoudingen</i>								
C/N		21.2	17.8		17.8	20.3	21.9	1.6
N/P		6.4	5.7		5.7	6.2	5.3	-1.0
as/P		499	119		411	475	475	0 <sup>b</sup>
<i>Gewichten</i>								
Onderlaag	kg vers	2904 <sup>a</sup>						
Aangebracht	kg vers	7400	6673	727 <sup>a</sup>	7400			
Totaal	kg vers	10304	6673	727	7400	17704	14260	-3444
Droge stof	kg	5142	797	727	1524	6666	6203	-463
Ruw as	kg	3397	297	727	1024	4421	4421	0 <sup>b</sup>
P-totaal	kg	6.8	2.5	0	2.5	9.3	9.3	0 <sup>b</sup>
N-totaal	kg	44	14	0	14	58	49	-9.1
Org.stof	kg	1744	500	0	500	2245	1782	-463

<sup>a</sup> Waarden bepaald via MS-Excel tool solver. <sup>b</sup> criteria ingesteld bij de berekening met solver.

Tabel 3.4. Samenstelling en gewicht van hoop 2 aan het begin en eind van de proef.

		Natuur compost	Preiresten bemonsterd	Niet bemonsterd zand	Preiresten gewogen	Totale hoop		Verandering
						Begin	Eind	
<i>Gehalten</i>								
Droge stof	g/kg prod.	492	116	1000	185	326	441	115
Ruw as	g/kg ds	672	319	1000	607	652	695	43
Org. stof	g/kg ds	328	682	0	393	348	305	-43
N-totaal	g/kg ds	8.5	18.3	0	11	9.1	9.0	-0.2
P-totaal	g/kg ds	1.3	3.0	0	1.7	1.45	1.55	0.1
C-totaal	g/kg ds	176	334	0	192	181	168	-13
<i>Verhoudingen</i>								
C/N		20.7	18.3		18.3	19.8	18.9	-1.0
N/P		6.4	6.0		6.0	6.3	5.8	-0.5
as/P		507	105		348	448	448	0 <sup>b</sup>
<i>Gewichten</i>								
Onderlaag	kg vers	4215 <sup>a</sup>						
Aangebracht	kg vers	5500	10597	902 <sup>a</sup>	11500			
Totaal	kg vers	9715	10597	902	11500	20312	14080	-6232
Droge stof	kg	4777	1227	902	2129	6612	6202	-410
Ruw as	kg	3209	391	902	1293	4311	4311	0 <sup>b</sup>
P-totaal	kg	6.3	3.7	0	3.7	9.6	9.6	0 <sup>b</sup>
N-totaal	kg	41	22	0	22	60	56	-4.8
Org.stof	kg	1568	836	0	836	2302	1892	-410

<sup>a</sup> Waarden bepaald via MS-Excel tool solver. <sup>b</sup> criteria ingesteld bij de berekening met solver.

Via bovengenoemde berekeningen kunnen de stikstofverliezen bepaald worden. Uit hoop 1 verdween er in totaal 9.1 kg N, dit is 16% van de totale N-inhoud van de composthoop. Uit hoop 2 verdween er in totaal 4.8 kg N, 8% van de totale N-inhoud van de composthoop. Deze verliezen zijn in gasvormig geweest, aangezien er vrijwel geen N verloren is gegaan via percolatievocht (zie 3.4.4). Wanneer de N-verliezen worden uitgedrukt ten opzichte van de N-inhoud van de preiresten, dan verdween er 64% bij hoop 1 en 22% bij hoop 2.

### 3.5 Discussie

De composthopen werden in een zeer koude periode opgezet, vooral hoop 2. Deze hoop bestond voor twee derde uit preiresten die bij opzetten van de hoop bevroren waren. De hittefase heeft daardoor nauwelijks plaatsgevonden. Dit betekent dat het voordeel van compostering rondom doding van ziektekiemen zoals pseudomonas beperkt is geweest. De beperkte opwarming van de hoop heeft ook tot gevolg gehad dat er minder water uit de hoop is verdampt. Hoeveel water er uit de hopen is gelekt is niet bekend, omdat al het water van de betonplaat is verzameld, dus inclusief het regenwater dat naast de hoop op het beton viel en het water dat via het vliesdoek langs de hoop is gestroomd. Aangezien er nauwelijks N en P in het opgevangen water aanwezig was, wordt verondersteld dat er weinig water uit de hopen is gelekt, en dat er weinig regenwater door de hoop is gestroomd.

Uit hoop 1 is meer N verloren gegaan dan uit hoop 2. Vrijwel alle N is naar de lucht verdwenen, en de grotere N-verliezen uit hoop 1 kunnen verklaard worden uit de hogere temperaturen die in deze hoop bereikt werden. Te verwachten valt dat bij een goede compostering waarbij de hittefase wel goed bereikt wordt er meer N vervluchtigd dan nu gemeten in de proef. De verliezen van 8-16% zijn vergelijkbaar met die gerapporteerd door Postma *et al.* (2009) van 10-17% voor een 1:1 mengsel van preiresten met houtsnippers.



Een van de redenen van compostering van preiresten is om N-verliezen via nitraatuitspoeling in de winter te beperken. Voor een teler is het gunstig zoveel mogelijk N op het bedrijf beschikbaar te houden voor de gewassen, en de vraag is wat het effect is van compostering op de hoeveelheid werkzame N. Het effect van wel of niet composteren van preiresten op de verschillende posten van de N-balans wordt bekeken voor een hoeveelheid preiresten van één hectare met een N-inhoud van 80 kg (De Ruijter & Smit, 2007; Feller *et al.*, 2011). Een vergelijking wordt gemaakt tussen:

- Direct uitrijden van preiresten en natuurcompost in het najaar,
- Eerst composteren en in het voorjaar uitrijden van de ontstane compost.

In de berekening worden mengverhoudingen en resultaten van beide composthopen uit de voorliggende studie gebruikt, aangevuld met kentallen uit eerdere studies (Tabel 3.5 en 3.6). Het niet uitrijden in het najaar van preiresten van één hectare verlaagt de nitraatuitspoeling met 24 kg N ha<sup>-1</sup>. Compostering voorkomt deze nitraatuitspoeling, maar geeft echter een toename van de N-vervluchtiging met 27-51 kg N ha<sup>-1</sup>. Hier zit ook N uit de jonge natuurcompost bij die nu op het boerenbedrijf vervluchtigt. Wanneer dit materiaal verder gecomposteerd zou zijn op het composteerbedrijf zou er daar N uit vervluchtigd zijn.

Voor de teler is het effect op de N-werking van belang. De werking van preiresten die rond 1 november op het land zijn aangebracht bedroeg in een volggewas zomergerst gemiddeld 16% (De Ruijter, 2010). Wanneer gerekend wordt met van de wettelijke waarden uit het gebruiksnormenstelsel voor de eerstejaars werking van compost, geeft compostering van preiresten een lagere hoeveelheid werkzame stikstof in het eerste jaar in vergelijking met najaarstoediening van onbewerkte preiresten. Verschillen in werking op langere termijn zullen klein zijn aangezien de hoeveelheid stabiel organische N weinig verschilt tussen wel of niet composteren. Bij een betere compostering met duidelijke hittefase zijn grotere N verliezen door vervluchtiging te verwachten, en een verdere verlaging van de N-werking van de geproduceerde compost.

In de berekening is een N-vervluchtiging als ammoniak of via denitrificatie van 4% aangehouden. Dit is gebaseerd op De Ruijter (2010) waar 105 tot 155 kg N ha<sup>-1</sup> in de vorm van preiresten was aangebracht. In de praktijk worden echter vaak grotere hoeveelheden ineens op een perceel gebracht. Bij dikke lagen gewasresten is het aandeel ammoniakvervluchtiging hoger dan bij dunne lagen. Een verdubbeling van de ammoniakemissie als gevolg van een dikke laag preiresten verkleint het verschil in werkzame N tussen najaarstoediening van preiresten en compostering ervan.

Vanuit het oogpunt van werkzame N lijkt compostering van preiresten ongunstig. Daar komt bij dat bij aanvoer van jonge natuurcompost voor compostering van de preiresten op het eigen bedrijf 10% van de N-inhoud als N-aanvoer gerekend dient te worden voor de gebruiksnormen. Bij compostering vervluchtigt een deel van deze N, en voor een teler is het dan aantrekkelijker het volledige composteringsproces bij de composteerder te laten verlopen, en aangekochte compost met N-inhoud volledig op het land uit te rijden.

Dit onderzoek richtte zich op verliezen van N en P bij compostering van preiresten, en vanuit het oogpunt van N lijkt het voor een teler niet aantrekkelijk de preiresten te composteren. Er zijn echter nog andere voordelen mogelijk die niet in dit onderzoek zijn meegenomen. Aardbeitelers composteren gewasresten om ziektedruk met *Xanthomonas* te verlagen (Rovers, 2008a). Compostering van preiresten kan de ziektedruk van o.a. *pseudomonas* verlagen. Daarvoor zal echter een betere hittefase nodig zijn dan in het voorliggende onderzoek werd gehaald (met bijbehorende grotere verliezen aan N). Kalium kan mogelijk via de composthoop de winter overgetild worden waardoor bespaard kan worden op kalium meststof. Lekverliezen van K<sub>2</sub>O uit de hopen waren niet gemeten, maar gezien de lage uitspoeling van N en P is het aannemelijk dat er ook weinig K<sub>2</sub>O uit de hoop is gelekt. Voor zandgrond wordt een vuistgetal voor uitspoeling gehanteerd van 10% van in het najaar toegediende K<sub>2</sub>O (P. Wilting, betatip; [www.irs.nl](http://www.irs.nl)). Wanneer 10% van de K<sub>2</sub>O inhoud van preiresten uitspoelt betekent dit bij een hoeveelheid van 17 ton/ha verse preiresten (1.7 ton/ha drogestof) en een K<sub>2</sub>O-gehalte van 37 g/kg drogestof een verlies van 6 kg K<sub>2</sub>O uit de gewasresten van een ha preiteelt. Deze schatting zou onderbouwd moeten worden door onderzoek.

Tabel 3.5. *Vergelijking tussen direct uitrijden en eerst composteren. Mengverhouding analoog aan hoop 1: een onderlaag met daarop 1:1 mengsel prei: natuurcompost.*

	Direct op veld uitrijden			Eerst composteren			
	Preiresten	Natuurcomp.	Totaal	Prei+nat.comp.			
N-aanvoer (kg)	80	245	325		325		
wettelijke aanvoer (kg)	0	25	25		25		
N-inhoud compost (kg)					274		
N-werking 1 <sup>e</sup> jaar na toediening (kg) <sup>a</sup>	16%	13	10%	25	37	10%	27
Nitraatuitspoeling (kg) <sup>b</sup>	30%	24	0%	0	24	0%	0
Vervluchting na toediening (kg) <sup>c</sup>	4%	3	0%	0	3	0%	0
Vervluchting bij compostering (kg)	–	–	–	–	–	–	51
Stabiel N-organisch (kg)	40	221	261				247

<sup>a</sup> N-werking preiresten in volggewas uit De Ruijter (2010), N-werking compost volgens wettelijke waarde gebruiksnormenstelsel. <sup>b</sup> Nitraatuitspoeling najaarstoediening preiresten uit De Ruijter (2008). <sup>c</sup> NH<sub>3</sub>-vervluchting of denitrificatie uit De Ruijter (2010).

Tabel 3.6. *Vergelijking tussen direct uitrijden en eerst composteren. Mengverhouding analoog aan hoop 2: onderlaag met daarop 2:1 mengsel prei: natuurcompost.*

	Direct op veld uitrijden			Eerst composteren			
	Preiresten	Natuurcomp.	Totaal	Prei+nat.comp.			
N-aanvoer (kg)	80	145	225		225		
wettelijke aanvoer (kg)	0	14	14		14		
N-inhoud compost (kg)					198		
N-werking 1 <sup>e</sup> jaar na toediening (kg) <sup>a</sup>	16%	13	10%	14	27	10%	20
Nitraatuitspoeling (kg) <sup>b</sup>	30%	24	0%	0	24	0%	0
Vervluchting na toediening (kg) <sup>c</sup>	4%	3	0%	0	3	0%	0
Vervluchting bij compostering (kg)	–	–	–	–	–	–	27
Stabiel N-organisch (kg)	40	130	170				178

<sup>a</sup> N-werking preiresten in zomergerst als volggewas uit De Ruijter (2010), N-werking compost volgens wettelijke waarde gebruiksnormenstelsel. <sup>b</sup> Nitraatuitspoeling najaarstoediening preiresten uit De Ruijter (2008). <sup>c</sup> NH<sub>3</sub>-vervluchting of denitrificatie uit De Ruijter (2010) en De Ruijter et al. (2010).

## 3.6 Conclusies compostering

- Uit composthopen met een 1:1 of 2:1 mengsel van preiresten met jonge natuurcompost op een 20 cm dikke onderlaag van jonge natuurcompost en afgedekt met vliesdoek lekte vrijwel geen N of P.
- Door koude omstandigheden bij aanvang van de composthopen bleef de hittefase achterwege en werd een maximum temperatuur van 20-30°C bereikt.
- Van de N-inhoud van de composthopen verdween 8 tot 16% via vervluchting.
- De hoeveelheid organische stof daalde tijdens de compostering met ongeveer 20%.

- Berekeningen op basis van literatuur en vuistgetallen geven aan dat de hoeveelheid werkzame N in het volgende jaar hoger is bij uitrijden van preiresten in het najaar dan bij composteren. Voor de teler lijkt het vanuit oogpunt van werkzame N daarom raadzaam niet te composteren.
- Redenen voor compostering kunnen liggen in voorkomen van structuurschade bij uitrijden van preiresten in het najaar, vermindering van ziektedruk (daarvoor dient wel een voldoende hittefase bereikt te worden) en het de winter over tillen van kalium. Deze aspecten waren echter in het voorliggende onderzoek niet meegenomen.



## 4. Discussie

Dit hoofdstuk is aanvullend op de discussie en conclusies die in de voorgaande hoofdstukken afzonderlijk rondom vergisting en compostering zijn beschreven.

Het afvoeren van gewasresten van het perceel geeft een verlaging van de nitraatuitspoeling omdat het vrijkomen van N op het veld in de winterperiode wordt voorkomen. Afvoer van gewasresten gaat gepaard met extra kosten voor de teler, en deze zullen gecompenseerd moeten worden door voordelen om afvoeren van gewasresten ook daadwerkelijk in de praktijk toe te passen. Deze voordelen kunnen zijn: inkomsten uit verkoop van de gewasresten, vermindering van de ziektedruk (afvoer van besmette gewasresten van het veld) en verhoging van de benutting van nutriënten uit gewasresten. Verhoging van de benutting van N heeft voor de teler alleen effect wanneer de gewasresten binnen het bedrijf blijven en geen rol spelen in de mestboekhouding. In de biologische landbouw heeft het gebruik van vergisting ter verhoging van de N-benutting aandacht omdat er moeilijk N van buiten het bedrijf is aan te voeren. Vergisting van biomassa van gras/klaver, gewasresten en groenbemesters op het eigen bedrijf verhoogde de N-beschikbaarheid en gewasopbrengst en verlaagde de N-verliezen (Gunnarson *et al.*, 2011, Stinner *et al.*, 2008).

Wanneer verwerking van de gewasresten buiten de bedrijfsgrenzen plaatsvindt, kunnen N en  $P_2O_5$  alleen opnieuw aangevoerd worden binnen de grenzen van de mestboekhouding. Bij suboptimale N-bemesting is afvoeren van gewasresten dan nadelig omdat met die afvoer ook de N-nawerking uit de gewasresten wegvalt. Indien binnen de gebruiksnormen nog volgens bemestingsadviezen kan worden bemest zal afvoer van gewasresten weinig effect hebben. Bij composteren op boerderijschaal blijven de gewasresten wel binnen de bedrijfsgrenzen. Nitraatuitspoeling daalt dan door afvoer van de gewasresten in de winterperiode. De hoeveelheid beschikbare N voor gewassen stijgt echter niet omdat tijdens het composteren een deel van de N verloren gaat in gasvormige verliezen. Waarschijnlijk wordt hiermee een deel van de N-emissie verplaatst van nitraatuitspoeling naar andere milieucompartimenten. In welke mate dit gebeurt is afhankelijk van de vorm waarin de N vervluchtigt:  $NH_3$ ,  $N_2O$  of  $N_2$ . Dit is echter niet gemeten.

Wat betreft fosfaat heeft de wijze van verwerken wel effect op de beschikbare hoeveelheid binnen het bedrijf. Afvoer van gewasresten naar buiten het bedrijf vergroot de afvoer van  $P_2O_5$ . Momenteel is op de meeste bedrijven nog sprake van een fosfaatoverschot (Schils *et al.*, 2012). Bij afvoer van gewasresten neemt de fosfaatafvoer toe, en op bedrijven met een hoge fosfaattoestand kan onder de fosfaatgebruiksnorm 2013 het fosfaatoverschot negatief worden. Dit komt omdat de fosfaatgebruiksnorm 2013 voor bouwland is gedifferentieerd naar fosfaattoestand: bij een toestand *hoog* ( $P_w > 55$ ) bedraagt de gebruiksnorm  $55 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ , bij toestand *neutraal* ( $36 \leq P_w \leq 55$ ) bedraagt deze  $65 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$  en bij toestand *laag* ( $25 \leq P_w < 36$ ) is de gebruiksnorm  $85 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ . Wanneer bij toestand hoog door afvoer van gewasresten het fosfaatoverschot negatief wordt, zal de fosfaattoestand van de bodem op termijn dalen. Van de open teelten bedrijven hebben akkerbouwbedrijven de hoogste  $P_2O_5$  afvoer, maar ook bij afvoer van gewasresten als bietenloof blijft de afvoer beneden de  $85 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ . Op de lange termijn is daarom geen daling verder dan de klasse laag te verwachten. Op bedrijven met een hoog aandeel fosfaatbehoefte gewassen zoals aardappelen, uien en fosfaatbehoefte groenten kan er risico zijn op opbrengstderving (Schils *et al.*, 2012).

Onder kosten die de teler maakt bij afvoeren van gewasresten dienen ook bemestingskosten voor compensatie van extra  $K_2O$  afvoer gerekend te worden. Kosten voor aanpassing van oogstmachines zijn waarschijnlijk beperkt. Veelal wordt de oogst in loonwerk uitgevoerd, waardoor aanpassing van de oogstapparatuur voor afvoer van gewasresten eerder rendabel is. Bij suikerbieten gebeurt het verzamelen van het loof bij voorkeur direct bij de oogst om het loof niet in contact met de grond te brengen. Bestaande oogstmachines kunnen worden uitgerust met een afvoerband die het loof op een meerrijdende wagen brengt. In 2011 is oogst van bietenblad met een maishakselaar getest, waarbij het lukte om bietenblad vrij van grond te oogsten (Knuivers, 2011).

Bij afvoer van gewasresten wordt ook organische stof van het bedrijf afgevoerd. De mate waarin het nodig is voor de teler om deze afvoer te compenseren via extra aanvoer van organische stof hangt af van de aanwezige bodemvruchtbaarheid en de bijdrage van gewasresten aan de totale aanvoer aan organische stof op bouwplanniveau. Organische stof wordt aangevoerd via gewasresten (boven- en ondergronds) en organische mest. In een akkerbouwplan met gebruik van varkensdrijfmest levert suikerbietenloof bijvoorbeeld 17% van de totale aanvoer aan effectieve organische stof (EOS) (De Ruijter *et al.*, 2009). Bij het afvoeren van bietenloof is compensatie binnen de bestaande gebruiksnormen mogelijk door varkensdrijfmest te vervangen door runderdrijfmest of compost. Dit zijn meststoffen die relatief veel EOS per kg fosfaat bevatten. Andere opties, voor zover toepasbaar in de bedrijfsvoering, zijn het inwerken van stro op graanland en het telen van extra groenbemesters. Globaal moet voor elke ha afgevoerd bietenloof één ha tarwestro worden ingewerkt of één ha groenbemester worden geteeld. Verandering van bouwplan kan ook effect hebben op de aanvoer van EOS, waarbij vooral teelt van gras sterk bijdraagt. Plannen voor raffinage van gras (Kuyper *et al.*, 2011, [www.grassanederland.nl](http://www.grassanederland.nl)) of vergisting van gras ([www.harvestagg.nl](http://www.harvestagg.nl)) kunnen leiden tot opname van de teelt van gras in akkerbouwplannen en daarmee tot een toename van de EOS-aanvoer.

In het voorliggende rapport is ingegaan op vergisting en compostering als methoden om afgevoerde N-rijke gewasresten te verwerken. Gebruik van plantaardig materiaal staat echter volop in de belangstelling en er zijn verschillende ontwikkelingen om meerwaarde te halen uit plantaardig materiaal. In plaats van de gewasresten in zijn geheel te vergisten kunnen waardevolle grondstoffen eerst eruit gehaald worden via bioraffinage (Annevelink & Harmsen, 2010). Hierbij wordt het plantmateriaal gescheiden in waardevolle grondstoffen, en het restant kan verwerkt worden in een vergistingsinstallatie. Bioraffinage is uitgebreid onderzocht bij gras, in de 80-er en 90-er jaren door Avebe en recent in het project Grassa ([www.grassanederland.nl](http://www.grassanederland.nl)). Voor suikerbietenblad is Cosun betrokken bij het effectief benutten van al het beschikbare plantmateriaal ([www.cosun.nl](http://www.cosun.nl)). In Groningen loopt er voor suikerbietenblad een haalbaarheidsonderzoek voor winning van eiwitten uit perssap en stoffen voor bioplastics uit het resterende ingekuilde materiaal (Provincie Groningen, 2011). Bij bioraffinage ontstaan verschillende producten die meer of minder nutriënten kunnen bevatten. Nutriënten die in restproducten zitten dienen zoveel mogelijk teruggewonnen te worden, of de reststroom als geheel dient effectief ingezet te worden (zoals digestaat van vergisting). Het terugwinnen van nutriënten uit natte stromen is een belangrijk aandachtspunt bij de verwerkende industrie en mogelijkheden worden onderzocht ([www.biocap.nl](http://www.biocap.nl)). Gebruiksnormen kunnen gedifferentieerd worden voor verschillen in nutriëntenafvoer. Afvoer van gewasresten betekent een grotere afvoer van nutriënten van het perceel. Verschillen in nutriëntenafvoer van percelen ontstaan ook bij verschillen in gewasopbrengst. In een aantal studies is gekeken hoe omgegaan kan worden met verschillen in gewasopbrengst en nutriëntenafvoer, en mogelijke differentiatie van bemestingsadviezen en/of gebruiksnormen naar opbrengstniveau (Van Dijk *et al.*, 2011a, 2011b, 2012). Een opbrengst-gerelateerd bemestingsadvies is mogelijk voor mais en consumptieaardappel, waarbij een positieve of negatieve correctie van het bemestingsadvies wordt toegepast bij een opbrengst hoger respectievelijk lager dan het gemiddelde opbrengstniveau van het huidige advies (Van Dijk *et al.*, 2011b, 2012). Deze vorm van differentiatie op basis van productieniveau wijkt echter af van differentiatie op basis van wel of geen afvoer van gewasresten. Afvoer van gewasresten vindt pas plaats bij oogst, en heeft daarom geen relatie met de benodigde bemesting voor het betreffende gewas. Afvoer van gewasresten heeft wel effect op het volggewas via verminderde nawerking van nutriënten, en op het totale bouwplan via afname van de bodemvruchtbaarheid. Een eventuele differentiatie van gebruiksnormen bij afvoer van gewasresten dient daarom gebaseerd te worden op het verlies aan nawerking uit betreffende gewasresten. Een verkenning van perspectieven voor de akkerbouw is uitgevoerd door Van Dijk *et al.* (2011a). Voor handhaafbaarheid lijkt het raadzaam een registratie te hebben van de hoeveelheden gewasresten die geleverd worden. Dit schept ook de mogelijkheid om maaien en afvoeren van groenbemesters mee te nemen in het systeem van afvoer van gewasresten.

## 5. Literatuur

- Anevelink, B. & P.F.H. Harmsen, 2010.  
Bioraffinage. Naar een optimale verwaarding van biomassa. Wageningen, Wageningen UR Food & Biobased Research, Groene Grondstoffen 10. <http://edepot.wur.nl/157299>
- Corré W.J. & J.W.A. Langeveld, 2008.  
Energie- en broeikasgasbalans voor enkele opties van energieproductie uit suikerbiet en bietenblad. Rapportage in opdracht van IRS. Wageningen, Plant Research International, Rapport 197, 14 pp.
- De Hoop J.G., C.H.G. Daatselaar, G.J. Doornewaard & N.C. Tomson, 2011.  
Mineralenconcentraten uit mest; Economische analyse en gebruikerservaringen uit de pilots mestverwerking in 2009 en 2010. Den Haag, LEI, onderdeel van Wageningen UR, rapport 2011-030.
- De Ruijter, F.J. & A.L. Smit, 2007.  
Het lot van stikstof uit gewasresten. Wageningen, Plant Research International, rapport 133.
- De Ruijter, F.J., 2008.  
Nitraatuitspoeling uit gewasresten van broccoli, prei en suikerbiet. BO-05-infoblad-23, Cluster BO-05 Mineralen en Milieukwaliteit, Gefinancierd door ministerie LNV, <http://www.kennisonline.wur.nl/BO/BO-05>
- De Ruijter, F.J., 2010.  
Het lot van stikstof uit gewasresten van broccoli, prei en suikerbiet. Resultaten van veldproeven gedurende de winters van 2006-07 en 2007-08. Intern rapport.
- De Ruijter, F.J., J.F.M. Huijsmans & B. Rutgers, 2010.  
Ammonia volatilization from crop residues and frozen green manure crops. Atmospheric Environment 44: 3362-3368.
- Feller, C.M.F., H. Laber, A. Maync, P. Paschold, H.C. Scharpf, J. Schlaghecken, K. Strohmeyer, U. Weier & J. Ziegler 2011.  
Düngung im Freilandgemüsebau. 3. überarbeitete Auflage, Version 7. Juli 2011.  
[www.igzev.de/publikationen/IGZ\\_Duengung\\_im\\_Freilandgemuesebau.pdf](http://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf)
- Gunnarsson, A., B. Lindén & U. Gertsson, 2011.  
Biodigestion of plant material can improve nitrogen use efficiency in a red beet crop sequence. Hortscience 46:765–775.
- Knuivers, M., 2011  
Bietenblad hakselen in Valthermond. Boerderij 28 nov 2011.
- Kuyper, Linnemans & Klein Hesselink, 2011.  
Eindrapportage grasraffinage in oostelijk Flevoland, een businessplan. Leeuwarden, E Kwadraat Advies, Leeuwarden , Project 100644.
- Postma, R., S. Smits & A. Veeken, 2009.  
Compostering van gewasresten van vollegrondsgroentegewassen. NMI rapport 1101-II. Provincie Groningen, 2011.  
Meer mogelijk met suikerbietenblad. Provincie Groningen, Communicatie en kabinet, persbericht nr. 142, 13 december 2011.
- Rovers, J.A.J.M., 2008a.  
Zelfs akkerkers legt loodje na composteren gewasresten. Groenten en Fruit 23: 30-31.
- Rovers, J.A.J.M., 2008b.  
Composteren van gewasresten. Aardbeitelers inspireren veehouders, boomkwekers en gemeente. Syscope 16: 24-25 [www.syscope.wur.nl](http://www.syscope.wur.nl)
- Rovers, J.A.J.M., 2010.  
Composthoop weet raad met besmette gewasresten. Gewasbescherming 41(2): 77 – 79.
- Ryckaert, I., K. Holmstock & T.T. Chow (Red.), 2006.  
Landbouw en Energie. Vlaamse overheid, Departement Landbouw en Visserij.
- Schils, R., W. van Dijk, J. van Middelkoop, J. Oenema, K. Verloop, J. Huijsmans, P. Ehlert, C. van der Salm, H. van Reuler, P. Vreeburg, A. Dekking, W. van Geel & J.R. van der Schoot, 2012.

- Effect van mestbeleid op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post. Wageningen, Alterra, rapport nr. 2266 (in voorbereiding).
- Schröder, J.J., D. Uenk, W. de Visser, F.J. de Ruijter, F. Assinck, G.L. Velthof & W. van Dijk, 2010. Stikstofwerking van organische meststoffen op bouwland - resultaten van veldonderzoek in Wageningen in 2010. Intern rapport Plant Research International.
- Schröder, J.J., D. Uenk, W. de Visser, F.J. de Ruijter, F. Assinck, G.L. Velthof & W. van Dijk *in voorbereiding*. Stikstofwerking van organische meststoffen op bouwland - resultaten van veldonderzoek. Wageningen, Plant Research International.
- Stinner, W, K. Möller, G. Leithold, 2008. Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. *Eur J Agr* 29: 125–134.
- Talgre, L., E. Lauringson, A. Makke & R. Lauk, 2011. Biomass production and nutrient binding of catch crops. *Žemdirbystė =Agriculture* 98: 251-258.
- Van Dam, A.M. & P.A. Leffelaar, 1998. Root, soil water and nitrogen dynamics in a catch crop - soil system in the Wageningen Rhizolab. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46: 267-284.
- Van Dijk, W. & W. van Geel, 2010. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. [http://www.kennisakker.nl/files/Boekpagina/Adviesbasis\\_mrt\\_2010\\_web.pdf](http://www.kennisakker.nl/files/Boekpagina/Adviesbasis_mrt_2010_web.pdf)
- Van Dijk, W., H. Brinks & R. Postma, 2011a. Flexibilisering gebruiksnormen. Verkenning perspectieven voor de akkerbouw. Wageningen UR, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPO nr. 32 501941 00.
- Van Dijk, W., J.R. van der Schoot & H.F.M. ten Berge 2012. Differentiatie stikstofbemestingsadviezen. Verkenning bij het gewas consumptieaardappel. Wageningen UR, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPO rapport 458.
- Van Dijk, W., J.R. van der Schoot & H.F.M. ten Berge, 2011b. Differentiatie stikstofbemestingsadviezen. Eerste verkenning bij het gewas maïs. Wageningen UR, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPO rapport 426.
- Van Geel, W., H. Verstegen & J. Verhoeven, 2011. Inwerktijdstip winterharde vanggewassen voor maïs. Verslag van een veldproef in 2010-2011 op zandgrond. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.
- Velthof, G.L., 2011. Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2211.