

# Effect van verschillende varianten van raffinage van bietenblad op bodemvruchtbaarheid en stikstofverliezen

## Deskstudie in het kader van Project Kleinschalige Bioraffinage BO-21.04- 001-001 Deliverable 1.1

Auteurs: Wim van Dijk, Willem van Geel en Marcel van der Voort





# Effect van verschillende varianten van raffinage van bietenblad op bodemvruchtbaarheid en stikstofverliezen

Deskstudie in het kader van Project Kleinschalige Bioraffinage BO- 21.04-001-001 Deliverable 1.1

Wim van Dijk, Willem van Geel en Marcel van der Voort

© 2013 Wageningen, ACRRES – Wageningen UR

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 ACRRES-Wageningen UR.

ACRRES – Wageningen UR is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Projectnr: 3250264400

Dit project wordt mede mogelijk gemaakt door Kleinschalige Bio Raffinage en Wageningen UR.



ACRRES – Wageningen UR

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad  
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
Tel. : 0320 - 29 11 11  
Fax : 0320 - 23 04 79  
E-mail : [info@acres.nl](mailto:info@acres.nl)  
Internet : [www.acres.nl](http://www.acres.nl)

# Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING.....	9
2 HOEVEELHEID EN SAMENSTELLING BIETENBLAD .....	11
2.1 Organische stof- en nutriënteninhoud bietenblad .....	11
2.2 Samenstelling pulp, sap en vergiste pulp + saprest.....	12
2.3 Conclusie.....	14
3 BODEMVRUCHTBAARHEID .....	15
3.1 Organische-stofvoorziening bodem .....	15
3.2 Nawerking stikstof.....	18
3.3 Fosfaat .....	22
3.4 Kali, magnesium en calcium .....	23
3.5 Conclusie.....	25
4 STIKSTOFVERLIEZEN.....	27
4.1 Nitraatuitspoeling .....	27
4.2 Gasvormige emissies .....	28
5 REFERENTIES.....	29



## Samenvatting

Binnen de PPS “Kleinschalige Bioraffinage” worden de mogelijkheden van raffinage van bietenblad voor winning van eiwit en andere bestanddelen onderzocht. In deze deskstudie is nagegaan wat de gevolgen hiervan zijn voor de bodemvruchtbaarheid en de stikstofverliezen (o.a. nitraatuitspoeling).

Het bietenblad bevat gemiddeld 4500 kg organische stof (waarvan 900 kg effectieve organische stof, EOS), 110 kg N, 35 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 185 kg K<sub>2</sub>O, 35 kg MgO en 50 kg CaO per ha. Effectieve organische stof is de hoeveelheid die een jaar na toediening nog aanwezig en een bijdrage levert aan humusvorming in de bodem.

### **Bodemvruchtbaarheid**

In Tabel S1 staan de effecten van de raffinagescenario's op de bodemvruchtbaarheid samengevat. Er zijn een viertal varianten bekeken. Bij alle varianten is uitgegaan van een proces waarbij het bietenblad eerst wordt gescheiden in sap en pulp (persen). Uit het sap wordt vervolgens eiwit gewonnen waarbij een coagulaat en een saprest ontstaat. Zowel de pulp als de saprest zijn reststromen die ontstaan bij de eiwitraffinage en die, afhankelijk van het scenario, terugkomen op het land.

Als referentie is uitgegaan van de situatie dat het bietenblad op het land wordt ondergewerkt. Bij de raffinagevarianten is onderscheid gemaakt tussen situaties waarbij de raffinage volledig centraal plaatsvindt (buiten het akkerbouwbedrijf) en situaties waarbij de raffinage deels of volledig decentraal plaatsvindt op het bedrijf van de akkerbouwer. In de eerste variant wordt het bietenblad volledig centraal geraffineerd en is er geen retour van raffinagereststromen (pulp, saprest) naar het akkerbouwbedrijf. Vervolgens zijn een aantal varianten beschouwd waarbij raffinagereststromen deels (scenario 3) of volledig (scenario 2 en 4) terugkeren. Bij scenario 2 vindt de raffinage volledig op het akkerbouwbedrijf plaats. De raffinagereststromen (pulp en saprest) gaan terug naar het land. Dat is bij scenario 4 ook het geval, echter, de raffinage vindt volledig buiten het bedrijf plaats en de reststromen komen pas na vergisting via het digestaat terug. De daarin aanwezige hoeveelheid stikstof en fosfaat moet, in tegenstelling tot bij scenario 2, in de bemestingsboekhouding worden meegenomen.

Benadrukt moet worden dat de getalswaarden in Tabel S1 gelden per ha bietenland. Op bedrijfsniveau zijn de effecten per ha kleiner, omdat het aandeel bieten in het bouwplan doorgaans niet hoger is dan 15-20%.

### *Organische stof*

Bij volledige afvoer van het bietenblad zonder retour van raffinagereststromen (scenario 1) bedraagt het verlies aan effectieve organische stof 900 kg EOS per ha bietenland. Door de raffinage (deels) decentraal uit te voeren is er geen verlies meer (scenario 2) of kan dit worden beperkt tot ruim 300 kg EOS per ha (scenario 3). Het terugvoeren van de reststromen via digestaat van buiten het bedrijf leidt tot een groter verlies (600-700 kg EOS per ha). Dit komt, omdat een groot deel van de organische stof wordt afgebroken in de vergister. Bovendien moet, indien in de referentiesituatie varkensmest wordt gebruikt, deze deels worden vervangen door digestaat, waardoor per saldo het EOS-verlies nog iets hoger is (700 tegenover 600 kg EOS per ha).

Compensatie door extra aanvoer van organische stof uit andere bronnen is mogelijk, maar moet wel passen binnen de geldende wettelijke gebruiksnormen voor de stikstof en fosfaat. Dit kan door een deel van de aangevoerde varkensdrijfmest op het akkerbouwbedrijf te vervangen door runderdrijfmest, vaste fractie van runderdrijfmest of

compost (producten die relatief veel organische stof per kg fosfaat bevatten). Andere opties zijn het achterlaten en inwerken van stro op en het telen van extra groenbemesters.

#### *Stikstof*

Als bietenblad wordt afgevoerd en er geen retourstroom is van raffinagereststromen (scenario 1), vervalt de eerstejaars en lange termijn N-nawerking van het bietenblad, waardoor de N-bemestingsbehoefte met respectievelijk 30 en 45 kg N per ha toeneemt. Bij de scenario's waarin reststromen zonder voorafgaande vergisting terugkomen op het land (Scenario 2 en 3) bedraagt de afname van de N-nalevering 20 en 30 kg N per ha. Bij de variant waarbij de reststromen na vergisting via het digestaat terugkomen (scenario 4) daalt de N-beschikbaarheid met 20 en 35 kg N per ha (korte en lange termijn) in een situatie waarin geen dierlijke mest wordt gebruikt. Wordt er wel dierlijke mest gebruikt (varkensmest), dan daalt de N-beschikbaarheid met 25-30 (korte termijn) en 40-45 kg N per ha (lange termijn).

Compensatie van dit verlies aan beschikbare stikstof via extra bemesting is vaak niet mogelijk, omdat er weinig ruimte is binnen de stikstofgebruiksnormen.

#### *Fosfaat*

De verschillende scenario's leiden tot een extra fosfaatafvoer uiteenlopend van circa 5 kg  $P_2O_5$  per ha bietenland bij volledige decentrale raffinage (scenario 2) tot ruim 35 kg  $P_2O_5$  per ha bietenland bij volledig afvoeren zonder retourstroom (scenario 1). Terugvoer van reststromen via het digestaat levert een vergelijkbare situatie als bij volledig afvoeren zonder retourstroom. Dit komt, omdat de fosfaat in het digestaat meetelt voor de mestboekhouding en er daardoor minder dierlijke mest- of kunstmestfosfaat kan worden gebruikt.

Compensatie via extra bemesting is niet mogelijk. In het algemeen zal dit echter niet tot grote knelpunten leiden m.b.t. tot fosfaatvoorziening van de gewassen. Weliswaar kan de extra fosfaatafvoer leiden tot een daling van de fosfaattoestand, echter, bij een lagere toestand ( $P_w < 36$ , landbouwkundige streefwaarde is 25-30) mag er weer meer fosfaat worden gegeven en is de bouwplanafvoer (ook met afvoer van bietenblad) in veel gevallen ruim lager dan de gebruiksnorm (75-85 kg  $P_2O_5$  per ha).

#### *Kali*

Bij volledige afvoer van het bietenblad zonder retourstroom (scenario 1) stijgt de kaliafvoer met 185 kg  $K_2O$  per ha op kleigrond en 165 kg  $K_2O$  per ha op zandgrond. De daling is op zandgrond lager, omdat door afvoer van het bietenloof ook minder kaliuitspoelingsverlies optreedt in de winter. Bij varianten met volledige retour van reststromen (scenario 2 en 4) daalt de kaliafvoer vrijwel niet. Wordt in de referentiesituatie varkensmest gebruikt, dan stijgt bij scenario 4 het kalitekort. Dat komt omdat in deze variant minder varkensmest kan worden gebruikt door de aanvoer van digestaat, waardoor de kaliaanvoer daalt.

De extra hoeveelheid kali die wordt afgevoerd met het bietenloof, moet worden gecompenseerd om de kalitoestand van de bodem te handhaven. In de regel zal dit plaatsvinden met extra kunstmest. Er gelden geen wettelijke beperkingen voor kali.

Uit oogpunt van bodemvruchtbaarheid is volledige decentrale raffinage van het bietenblad op het bedrijf de meest aantrekkelijke optie. Dit geeft vrijwel geen verlies van EOS en de minste daling van de beschikbaarheid van nutriënten.



Tabel S1. **Aanvoer effectieve organische stof (EOS) en beschikbaarheid nutriënten op perceelsniveau (kg per ha bietenland) bij verschillende raffinagescenario's ten opzichte van referentie (niet afvoeren bietenblad).**

Scenario		EOS (kg/ha)	N-werkzaam (kg/ha)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	
Nr	Beschrijving		1 <sup>e</sup> jaar	langjarig		klei	zand
1	<i>Centraal zonder retourstroom</i>	-900	-30	-45	-35	-185	-165
2	<i>Decentraal, raffinage volledig op bedrijf, pulp en saprest terug op het land</i>	0	-20	-30	-5	-15	-15
3	<i>Decentraal + centraal, scheiding op het bedrijf in sap en pulp, afvoer sap, pulp terug op het perceel</i>	-325	-20	-30	-30	-150	-135
4	<i>Centraal + retourstroom, retourstroom via plantaardig digestaat naar het perceel</i>						
-	Geen varkensmest in ref	-600	-20	-35	-35	-15	+5
-	Wel varkensmest in ref	-700	-30/-25 <sup>1</sup>	-44/-40 <sup>1</sup>	-35	-55	-40

<sup>1</sup> klei/zand

### Stikstofverliezen

Het verwijderen van bietenloof leidt tot een beperkte reductie van de nitraatuitspoeling in de eerste winter van gemiddeld 15% van de N-inhoud van het loof: gemiddeld ca. 15-20 kg N per ha. De reductie van het N-uitspoelingsverlies op lange termijn zal wat hoger zijn.

Het (deels) verwijderen van het bietenloof zal de lachgasemissies bij de teelt verminderen doordat in het eiwit aanwezige stikstof niet op het land terechtkomt.



# 1 Inleiding

Binnen de PPS “Kleinschalige Bioraffinage, werkpakket Valorisatie/raffineren groen blad & loof op kleine schaal”, worden de mogelijkheden van raffinage van bietenblad voor winning van eiwit en andere bestanddelen onderzocht. Eén van de kennisvragen is wat de gevolgen zijn van het verwijderen van bietenloof van het veld op de:

- bodemvruchtbaarheid (organische-stofvoorziening van de bodem, bemestingstoestand en stikstofmineralisatie);
- uitspoeling van nitraat naar grond- en oppervlakte water;
- emissie van broeikasgassen.

Bij de raffinage van bietenblad is op hoofdlijnen uitgegaan van het volgende proces. Het bietenblad wordt eerst verzameld en van het veld afgevoerd. Tijdens het raffinageproces wordt het gescheiden in sap en pulp. Het sap wordt verder bewerkt. De pulp kan worden teruggebracht op het land, vergist voor opwekking van biogas of worden afgezet als veevoer. Uit het sap worden de gewenste bestanddelen gewonnen en het restant (saprest) dat overblijft, kan worden teruggebracht op het land of worden vergist. Na vergisting van de pulp en/of saprest blijft er digestaat over, dat als meststof kan worden toegepast in de landbouw. In deze studie is uitgegaan van winning van eiwit uit het bietenblad.

Om de gevolgen van raffinage van bietenblad in kaart te brengen zijn de volgende scenario's met elkaar vergeleken:

0. *Referentie*. Het bietenblad wordt niet afgevoerd en na de oogst ondergewerkt.
1. *Centrale raffinage zonder retourstroom*. Het bietenblad wordt van het veld en akkerbouwbedrijf afgevoerd en er gaat na raffinage geen reststroom terug naar het bedrijf.
2. *Decentrale raffinage*. Raffinage van het bietenblad vindt volledig plaats op het akkerbouwbedrijf, alle reststromen (pulp, saprest) die ontstaan bij de raffinage gaan terug naar het land.
3. *Decentrale + centrale raffinage*. Het bietenblad wordt op het bedrijf gescheiden in sap en pulp, het sap wordt afgevoerd en de pulp wordt teruggebracht op het perceel waar de bieten zijn geteeld.
4. *Centrale raffinage met retourstroom*. Het bietenblad wordt afgevoerd van het bedrijf, alle reststromen (pulp, saprest) die ontstaan bij de raffinage worden vergist, het digestaat gaat terug naar het akkerbouwbedrijf en wordt als meststof aangebracht op het bietenperceel.

Als referentie (scenario 0) is uitgegaan van de situatie dat het bietenblad op het land wordt ondergewerkt. Bij de raffinagevarianten is onderscheid gemaakt tussen situaties waarbij de raffinage volledig centraal plaatsvindt (buiten het akkerbouwbedrijf) en situaties waarbij de raffinage deels of volledig decentraal plaatsvindt op het bedrijf van de akkerbouwer. In de eerste variant wordt het bietenblad volledig centraal geraffineerd en is er geen retour van raffinagereststromen (pulp, saprest) naar het akkerbouwbedrijf. Vervolgens zijn een aantal varianten beschouwd waarbij raffinagereststromen deels (scenario 3) of volledig (scenario 2 en 4) terugkeren. Bij scenario 2 vindt de raffinage volledig op het akkerbouwbedrijf plaats. De raffinagereststromen (pulp en saprest) gaan terug naar het land. Dat is bij scenario 4 ook het geval, echter, de raffinage vindt volledig buiten het bedrijf plaats en de reststromen komen na vergisting via het digestaat terug. De daarin aanwezige stikstof en fosfaat moeten, in tegenstelling tot bij scenario 2, in de bemestingsboekhouding te worden meegenomen.

Her rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt eerst ingegaan op de hoeveelheid bietenloof die achterblijft, de hoeveelheid organische stof die daardoor aan de bodem wordt toegevoegd en op de mineraleninhoud van het bietenloof. Vervolgens worden de gevolgen van de verschillende raffinageopties voor de bodemvruchtbaarheid (hoofdstuk 4) en de stikstofverliezen (o.a. nitraatuitspoeling) (hoofdstuk 5) beschreven. Om effecten van raffinage van bietenblad op de broeikasgasemissies goed te beoordelen is een LCA-achtige aanpak nodig, waarbij ook het raffinageproces wordt meegenomen. Omdat nog onvoldoende duidelijk is welke methoden van raffinage het meest perspectiefvol zijn kan een dergelijke analyse in deze fase van het project nog niet worden uitgevoerd.

In 2012 heeft de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) reeds een deskstudie laten uitvoeren naar de effecten van het afvoeren van bietenloof op stikstof- en fosfaatvoorziening van de gewassen, de bodemvruchtbaarheid en het risico op nitraatuitspoeling ten behoeve van de afvoer van bietenblad (Van Dijk et al., 2012). De resultaten van deze deskstudie zijn gebruikt in het onderhavige document en verder aangevuld.

## 2 Hoeveelheid en samenstelling bietenblad

### 2.1 Organische stof- en nutriënteninhoud bietenblad

Van Dijk et al. (2012) verzamelden uit diverse onderzoeksverslagen gegevens over de hoeveelheid bietenloof, het droge-stofgehalte, het as-gehalte in de droge stof en de stikstof- en fosfaatinhoud van het loof.

#### **Hoeveelheid loof en organische stof**

Op basis van gegevens van Westerdijk (1992), Smit et al. (1995) en Ehlert et al. (2009) vonden Van Dijk et al. (2012) dat de hoeveelheid bietenloof varieert tussen grondsoort, bemestingsniveau en oogsttijdstip. Bij een optimale N-bemesting varieert het versgewicht aan loof tussen de 27 en 47 ton per ha. Op basis van de literatuurgegevens zijn ze uitgegaan van een gemiddeld versgewicht van 38 ton per ha.

Uit data van Ehlert et al. (2009) en Smit et al. (1995) leiden ze een gemiddeld droge-stofgehalte af van 14,7% en berekenden hiermee een droge-stofopbrengst aan bietenblad van 5,6 ton per ha. Bij 20% anorganische stof (overgenomen uit De Ruijter et al., 2009) en een aanname van 50% C in organische stof bedraagt de opbrengst aan organische stof 4,5 ton per ha met een C/N-verhouding van 20.

#### **Stikstofinhoud**

Uit verzamelde onderzoeksdata door De Ruijter et al. (2009) en Smit et al. (1995) concludeerden Van Dijk et al. (2012) dat de stikstofinhoud van het loof gemiddeld circa 110 kg N per ha bedraagt. De variatie is echter groot (52 tot 202 kg N per ha in de verzamelde data van De Ruijter et al., 2009). Dit wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door verschillen in N-beschikbaarheid tussen percelen. Tussen grondsoorten verschilt de gemiddelde N-inhoud van het bietenloof weinig. De Ruijter et al. (2009) vonden een gemiddelde N-inhoud van 107 kg N per ha op kleigrond, 109 kg N per ha op lössgrond en 113 kg N per ha op zandgrond.

#### **Fosfaatinhoud**

Uit een uitgebreide dataset, beschreven door Ehlert et al. (2009), aangaande de fosfaatinhoud van suikerbieten en bietenloof is een gemiddelde fosfaatinhoud van het bietenloof afgeleid van 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha bij een voldoende tot en met ruim voldoende fosfaattoestand en bij het huidige bemestingsadvies passende fosfaat- en stikstofgiften. Bij andere fosfaattoestanden van de bodem verandert dit weinig, omdat de relatie tussen fosfaatinhoud enerzijds en fosfaattoestand en -bemesting anderzijds zwak is (Ehlert et al., 2006). Er zijn geen verschillen gevonden tussen grondsoorten voor de gemiddelde fosfaatinhoud van het loof (wel voor de fosfaatinhoud van de bieten). Niettemin is de variatie tussen percelen groot als gevolg van andere factoren.

#### **Kali-, magnesium en calciuminhoud**

Van Dijk et al. (2012) hebben geen gegevens verzameld over de kali-, magnesium- en calciuminhoud van het bietenloof. Het IRS (2013) noemt in de teelthandleiding suikerbieten een gemiddelde inhoud van het loof van 140 kg N per ha, 44 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 242 kg K<sub>2</sub>O, 45 kg MgO en 66 kg CaO bij een gemiddelde loofopbrengst van 44,7 ton per ha. Hanse & Huijbregts (2011) verzamelden in het kader van De Energieboerderij van 2008 t/m 2010 bij vijf telers informatie over de hoeveelheid loof en de nutriënteninhoud. Zij vonden een gemiddeld loofgewicht van 46 ton per ha met een gemiddelde inhoud van: 145 kg N per ha, 49 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 239 kg K<sub>2</sub>O, 45 kg MgO en 66 kg CaO. Uit deze twee

bronnen zijn gemiddelden gehalten per ton vers loof berekend welke zijn weergegeven in tabel 1.

Uitgaande van deze gehalten zou bij een loofgewicht van 38 ton per ha de nutriënteninhoud 119 kg N, 39 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 202 kg K<sub>2</sub>O, 38 kg MgO en 55 kg CaO per ha bedragen. Zowel de berekende N-inhoud als fosfaatinhoud is 8% hoger dan de voornoemde inhoud van 110 kg N en 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Derhalve is voor alle nutriënten een correctie toegepast van -8% en wordt uitgegaan van de volgende inhoud: 186 kg K<sub>2</sub>O, 35 kg MgO en 51 kg CaO per ha.

Tabel 1. **Nutriëntgehalten in bietenloof (vers)**

Bron	N (kg/ton)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ton)	K <sub>2</sub> O (kg/ton)	MgO (kg/ton)	CaO (kg/ton)
IRS, 2013	3,1	1,0	5,4	1,0	1,5
Hanse & Huijbregts, 2011	3,2	1,1	5,2	1,0	1,4

## 2.2 Samenstelling pulp, sap en vergiste pulp + saprest

### *Persen*

Uit eerste ervaringen blijkt dat het bietenblad slecht uitpersbaar is. Globaal blijft na het persen ongeveer 70% van de totale droge stof, 60% van het eiwit, 55% van het vet, 99% van de vezels, 60% van de as en 60% van het fosfaat in de pulp achter. Met dit rendement is raffinage van bietenblad waarschijnlijk niet zinvol. Door het raffinageproces te verbeteren kan het rendement worden verhoogd. Naar verwachting blijft dan circa 50% van de totale droge stof, 30% van het eiwit (en de totale stikstof), 25% van het vet, 99% van de vezels, 50% van de as en 20% van het fosfaat in de pulp achter (persoonlijke communicatie E. Keijzers, WUR Food & Biobased Research, 2013). Bij de evaluatie is uitgegaan van laatstgenoemde rendement (zie ook Tabel 2).

Ervan uitgaande dat na persen circa 50% van de totale droge stof in de pulp achterblijft alsook 50% van de as, betekent dit dat ook 50% van de organische stof achterblijft ofwel 2,3 ton per ha. In verhouding blijven er minder eiwit en vet achter in de pulp (respectievelijk 30% en 25%) en blijven nagenoeg alle vezels achter (99%). De samenstelling van de organische stof van de pulp is daardoor anders dan die van het bietenloof. Omdat de pulp in verhouding meer vezels bevat (die moeilijker anaeroob afbreekbaar zijn) en minder eiwit (dat snel afbreekt), is de pulp naar verwachting moeilijker afbreekbaar dan het bietenloof.

Van de stikstof en fosfaat blijft na persen 30% en 20% achter in de pulp, ofwel 33 kg N en 7 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Uitgaande van 50% C in organische stof is de C/N-verhouding in de pulp gestegen naar 35. Ook de kali en andere nutriënten zullen worden verdeeld over pulp en sap, maar er is nog niet bekend in welke verhouding (daarover zijn geen cijfers beschikbaar). Voor de verdere berekeningen is de aanname gedaan dat 20% in de pulp komt en 80% in het sap. De aanname is gebaseerd op het scheidingsrendement van mechanische scheiding van drijfmest in een dikke en dunne fractie (Melse et al., 2004).

### *Eiwitraffinage uit perssap*

Na het persen wordt het eiwit geraffineerd uit het perssap. Hierbij ontstaat een coagulaat en een saprest (wei). In de evaluatie is ervan uitgegaan dat alle eiwit in het coagulaat terecht komt (Tabel 2). Fosfaat, kali, magnesium en calcium zijn geen bouwstenen van

eiwit en zullen bij verdere raffinage van het sap grotendeels in de restromen terecht komen. Naar verwachting zijn de meeste nutriënten inclusief fosfor opgelost. Ze verdelen zich dan over het coagulaat en het restsap (wei) in dezelfde verhouding als het water. Dit betekent dat ongeveer 90% in het restsap komt en 10% in het coagulaat (persoonlijke communicatie E. Keijzers, WUR Food & Biobased Research, 2013).

Tabel 2. **Aangenomen verdeling van droge stof en mineralen (%) over de verschillende raffinageproducten.**

	Droge stof	Stikstof	Fosfaat	Kali, magnesium en calcium
Pulp	50	30	20	20
Perssap	50	70	80	80
Waarvan:				
- Coagulaat	10	70	8	8
- Saprest (wei)	40	0	72	72

#### *Vergisting pulp en saprest*

Tijdens vergisting van de pulp en saprest wordt een deel van de organische stof afgebroken. Door die afbraak komt ook een deel van de organisch gebonden nutriënten vrij in minerale vorm. Deze zijn direct beschikbaar voor het gewas. Kali is niet organisch gebonden en volledig in minerale vorm aanwezig in het digestaat. Er verdwijnen geen mineralen door de vergisting. Alle mineralen die de vergister ingaan, komen in het digestaat terecht.

Er is niet bekend hoeveel organische stof er precies wordt afgebroken door vergisting van de pulp en saprest. Naast de aard van het organische materiaal, hangt het bovendien af van de temperatuur tijdens de vergisting en de verblijftijd in de vergister. Bij thermofiele vergisting (50-60°C) verloopt de afbraak sneller dan bij mesofiele vergisting (30-40 °C) en bij een langere verblijftijd in de vergister wordt er meer organische stof afgebroken dan bij een kortere verblijftijd.

De Ruijter et al. (2009) noemen een methaanproductie van 330 m<sup>3</sup> per ton organische stof bij vergisting van bietenloof en schatten dat 90% van de organische stof wordt afgebroken. Bij het bioraffinageproces wordt 70% van het eiwit afgescheiden en komen de overige organische bestanddelen via de reststromen na raffinage samen met de pulp in de vergister terecht (bijlage 1). Op basis van het N-gehalte in het bietenloof wordt het eiwitgehalte geschat op 15% van de organische stof (16% N in het eiwit). Dit zou betekenen dat er per ton organische stof 105 kg eiwit wordt afgescheiden. Baserga (1998; in Kool et al., 2005) noemt een biogasproductie van 700 m<sup>3</sup> per ton verteerbare eiwitten met 71 volume% methaan, ofwel 497 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per ton. Dat betekent een reductie van 52 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> bij een verlies van 105 kg eiwit. De methaanproductie per ton resterende organische stof bedraagt dan  $(330 - 52)/0,895 = 310$  m<sup>3</sup>. Dat is weinig lager dan bij vergisting van onbewerkt bietenblad. De afbraak in de vergister van de pulp en saprest wordt naar rato van de methaanproductie geschat op 85%.

De hoeveelheid organische stof die de vergister ingaat bedraagt:

- pulp: 2,3 ton per ha;
- reststroom na raffinage: 2,2 ton per ha minus 0,5 ton eiwit (4,5 ton org. stof x 15% x 70%)

Dat is samen 4 ton organische stof per ha. Als hiervan 85% in de vergister wordt afgebroken, blijft er 600 kg organische stof per ha over dat in het digestaat recht komt.

## 2.3 Conclusie

In tabel 3 is samengevat van welke hoeveelheid biomassa en nutriënten is uitgegaan voor het bietenloof op basis van de genoemde literatuurgegevens, hoe deze zich verdelen over pulp en sap en hoeveel er uiteindelijk in het digestaat terecht komt na vergisting van de pulp en de saprest.

Tabel 3. **Biomassa en hoeveelheid nutriënten in bietenblad, pulp en sap en digestaat**

	Droge stof (ton/ha)	Org. stof (ton/ha)	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	MgO (kg/ha)	CaO (kg/ha)
Onbewerkt blad	5,6	4,5	110	36	186	35	51
Pulp	2,9	2,3	33	7	37	7	10
Sap	2,7	2,2	77	29	149	28	41
Digestaat na vergisting pulp en saprest		0,6	33	33	171	32	47



## 3 Bodemvruchtbaarheid

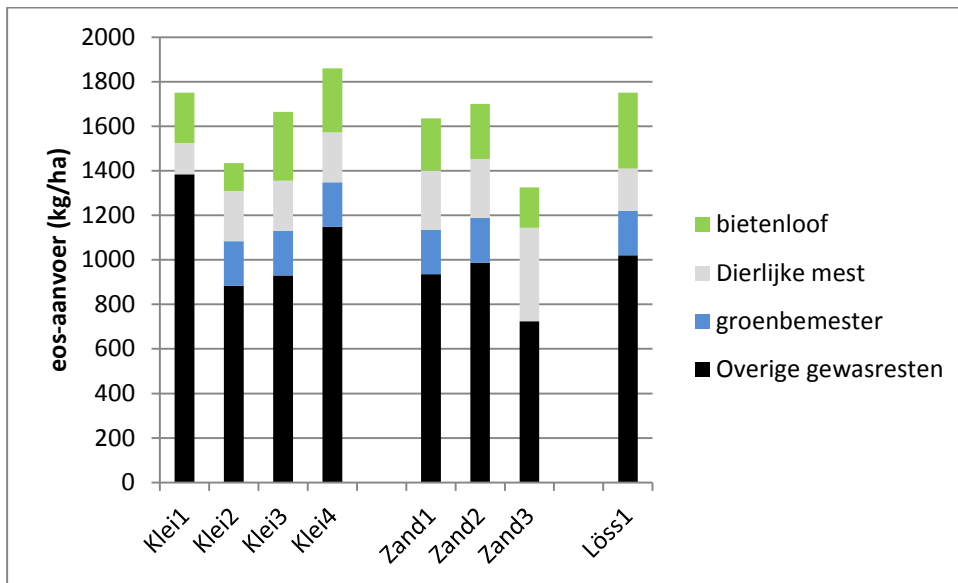
In dit hoofdstuk worden verschillende aspecten van de bodemvruchtbaarheid besproken. Dit betreft de organische stofvoorziening en de chemische bodemvruchtbaarheid (stikstof, fosfaat, kali, magnesium en calcium). Eerst wordt per onderdeel beschreven wat de bijdrage is van het bietenblad en wat de gevolgen zijn van de verschillende scenario's. Daarna worden de resultaten in een totaaloverzicht samengevat (paragraaf Conclusie). Hierin is tevens een samenvattende tabel (tabel 6) opgenomen waarin de belangrijkste effecten zijn weergegeven. In de volgende paragrafen wordt hier regelmatig naar verwezen.

### 3.1 Organische-stofvoorziening bodem

#### **Bijdrage bietenblad**

Het achterlaten en inwerken van bietenloof draagt bij aan de organische-stofvoorziening van de bodem. Met het loof blijft 4500 kg organische stof (OS) achter (hoofdstuk 2). Deze wordt in de bodem afgebroken. Na ongeveer een jaar is de OS zover verteerd en omgezet dat het overgebleven restant deel is gaan uitmaken van bodem-organische stof. Het deel dat dan nog over is in de bodem is de zogenoemde effectieve organische stof (EOS). Van groene plantenmassa is na een jaar nog 20% over in de bodem (Janssen en Van Reuler, 1986). Dit betekent dat met het bietenloof 900 kg EOS per ha wordt aangevoerd.

Van Dijk et al. (2012) schatten van een aantal modelbedrijven voor de akkerbouw op klei, zand en löss de totale EOS-aanvoer uit verschillende bronnen waaronder bietenloof (figuur 1). Het graanstro werd op alle bedrijven afgevoerd. Afhankelijk van het aandeel suikerbieten in het bouwplan, betekent het afvoeren van het bietenloof op bedrijfsniveau een verlies van 120-340 kg EOS per ha. Het aandeel van het bietenloof in de EOS-aanvoer via gewasresten inclusief groenbemesters bedraagt gemiddeld 17% (10-22%). Het aandeel van het bietenloof in de totale EOS-aanvoer inclusief organische mest (uitgegaan is van varkensdrijfmest) bedraagt 15% (9-19%).



Figuur 1. Aanvoer van effectieve organische stof (kg per ha) via gewasresten en organische mest op een aantal modelbedrijven (Van Dijk et al., 2012).

De EOS-aanvoer moet worden afgezet tegen de jaarlijkse humusafbraak. Van Dijk et al. (2012) berekenden dat bij een jaarlijkse afbraak van 2% van de bodem-organische stof bij een bouwvoordikte van 25 cm en organische-stofgehalte van 2, 3 en 4% circa 1300, 2000 en 2600 kg EOS per ha per jaar wordt afgebroken. Om het organische-stofgehalte in de bodem te handhaven, moet die afbraak worden gecompenseerd.

Indien het bietenloof wordt afgevoerd, wordt op veel akkerbouwbedrijven de organische-stof toevoer (te) krap. Van Dijk et al. (2012) berekenden ook dat door afvoer van bietenloof zonder compensatie via een andere organische-stofbron, bij de gehanteerde uitgangspunten op de lange termijn de organische-stofgehalten van de bodem met 0,2-0,5% (absoluut) zullen dalen.

### Verlies organische stof bij raffinagescenario's

#### *Centraal zonder retourstroom*

Bij dit scenario wordt het bietenblad volledig afgevoerd en komt er niets terug. Dit betekent een verlies van 900 kg EOS per ha suikerbieten (tabel 6).

#### *Decentraal + centraal en decentraal*

Als het bietenblad op het bedrijf wordt gescheiden in sap en pulp, het sap wordt afgevoerd en de pulp wordt teruggebracht op het bietenperceel (decentraal + centraal), wordt hiermee 2,3 ton organische stof per ha teruggevoerd. Indien de raffinage volledig op het akkerbouwbedrijf plaatsvindt (decentraal) wordt 4,0 ton organische stof teruggevoerd.

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat de pulp is naar verwachting langzamer afbreekt in de bodem dan het bietenloof, doordat de pulp in verhouding meer vezels bevat. Daarom wordt aangenomen dat na een jaar nog 25% van de organische stof over is. Dit ligt in tussen groen blad (20%) en stro (30%; vezelig product). Voor het gemak wordt ervan uitgegaan dat dit ook geldt voor organische stof in de saprest. Dit zou betekenen dat voor de scenario's Decentraal+centraal en Decentraal respectievelijk circa 575 en 900 EOS per ha wordt aangevoerd. Bij het laatste scenario is ervan uitgegaan dat alleen het eiwit wordt afgevoerd en dat deze door de snelle afbraak geen bijdrage levert aan de

EOS-toevoer. Ten opzichte van niet afvoeren van het bietenloof daalt de EOS-aanvoer dan met respectievelijk 325 en 0 kg EOS per ha (tabel 6).

#### *Centraal+retourstroom*

Als het digestaat dat overblijft na raffinage en vergisting van de pulp en saprest (scenario Centraal + retour reststroom), wordt teruggebracht op het bietenperceel, wordt hiermee 600 kg organische stof aangevoerd (hoofdstuk 2). Het is niet bekend hoeveel hiervan een jaar na toediening aan de bodem nog van over is. In de vergister wordt de gemakkelijk afbreekbare organische stof van de pulp omgezet in biogas. De resterende organische stof komt in het digestaat terecht en is moeilijker afbreekbaar (stabiel) dan de onvergiste organische stof. Omdat het merendeel van de organische stof in de vergister is afgebroken, wordt aangenomen dat het resterende deel moeilijk afbreekbaar is en dat hiervan een jaar na toediening aan de bodem nog de helft over is: 300 kg EOS per ha. Ten opzichte van niet afvoeren van het bietenloof daalt de EOS-aanvoer dan met respectievelijk 600 kg EOS per ha (tabel 6).

Met het digestaat wordt ook 33 kg fosfaat per ha aangevoerd, dat volledig meetelt voor de gebruiksnormen en in mindering moet worden gebracht bij de aanvoer van andere mest (bijvoorbeeld varkensdrijfmest). Een verminderde aanvoer van varkensdrijfmest à 33 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, betekent een extra reductie van de EOS-aanvoer van ca. 100 kg per ha.

#### **Compensatie verlies organische stof**

Het verlies aan organische stof kan worden gecompenseerd door andere organische-stofbronnen. Een beperking hierbij zijn de wettelijk maximaal toegestane aanvoer van fosfaat en de maximaal toegestane aanvoer van stikstof uit dierlijke mest ingevolge de gebruiksnormen. De stikstof en het fosfaat in organische mest die op het akkerbouwbedrijf wordt aangevoerd, tellen mee voor de gebruiksnormen. Veelal is met name de fosfaatnorm op het bedrijf al volledig verbruikt, waardoor er geen ruimte is om nog meer mest aan te voeren. Er moeten dus oplossingen worden gevonden om binnen de geldende gebruiksnormen extra organische stof aan te voeren. Van Dijk et al. (2012) noemen hiervoor een aantal opties.

De eerste optie betreft de keuze van de soort organische mest. Op dit moment wordt op akkerbouwbedrijven vooral varkensdrijfmest gebruikt. Door het hoge fosfaatgehalte van deze mestsoort, kan relatief weinig EOS worden aangevoerd binnen de fosfaatgebruiksnorm (tabel 4). Door een mestsoort te kiezen met een hoge EOS/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-verhouding kan de EOS-aanvoer binnen de gebruiksnormen worden verhoogd. Voorbeelden hiervan zijn runderdrijfmest, dikke fractie van rundermest en compost. In tabel 4 is voor deze mestproducten aangegeven hoeveel varkensdrijfmest moet worden vervangen om het EOS-verlies door afvoer van bietenloof (120-340 kg per ha op bedrijfsniveau, zie hierboven) te compenseren. Voor runderdrijfmest bijvoorbeeld moet dan op bedrijfsniveau 5-15 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha varkensdrijfmest worden vervangen door runderdrijfmest. Voor plantaardige compost bedraagt dit vanwege de gedeeltelijk fosfaatvrijstelling slechts 2-7 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Hierbij moet wel worden benadrukt dat de genoemde mestsoorten slechts op beperkte schaal beschikbaar zijn en daardoor geen oplossing bieden voor toepassing op grote schaal.

Een tweede optie is om het graanstro in te werken of meer groenbemesters te telen. Per ha graan levert het inwerken van het stro circa 650 (zomergerst) en 1000 (wintertarwe) kg EOS per ha. Een goed geslaagde groenbemester levert 900-1000 kg EOS per ha. Globaal betekent dit voor elke ha afgevoerd bietenloof er een ha tarwestro moet worden ingewerkt of een ha groenbemester moet worden geteeld. De toepasbaarheid van deze maatregelen hangt af van het aandeel graan in het bouwplan en de mogelijkheden voor de teelt van extra groenbemesters, gelet op de aaltjessituatie van de percelen, het oogsttijd van de hoofdgewassen of inzaai in de herfst van het volgende hoofdgewas.

Tabel 4. **EOS/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-verhouding van diverse organische-mestproducten, maximale EOS-aanvoer binnen de gebruiksnormen (N-gebruiksnorm dierlijke mest en fosfaatgebruiksnorm<sup>1</sup>) en benodigde vervanging van varkensdrijfmest door andere mestsoorten om EOS-verlies bij afvoeren bietenloof te compenseren (Bron: Van Dijk et al., 2012).**

	EOS/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -verhouding	Maximale EOS-aanvoer binnen de gebruiksnormen <sup>1</sup>	Benodigde vervanging varkensdrijfmest om EOS-verlies door afvoer bietenloof te compenseren (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha op bedrijfsniveau)
Varkensdrijfmest	3,1	200	-
Runderdrijfmest	30	1865	5-15
Dikke fractie, varken	4,5	290	-
Dikke fractie, rund	12,5	810	15-35
GFT-compost	28,6	1855/3710 <sup>2</sup>	5-15/2-7 <sup>2</sup>
Bietenloof	25	-	-

<sup>1</sup> N-gebruiksnorm dierlijke mest: 170 kg N per ha; fosfaatgebruiksnorm: 65 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha

<sup>2</sup> EOS-aanvoer bij respectievelijk geen/wel fosfaatvrijstelling van compost

## 3.2 Nawerking stikstof

### Bijdrage bietenblad aan stikstofvoorziening

De stikstof in het bietenloof komt bij achterlaten van het loof in de herfst geleidelijk weer vrij door vertering van het loof. Deze stikstof komt ten dele beschikbaar voor het volggewas. De adviesbasis bemesting (De Haan & Van Geel, 2013) gaat uit van een nawerking van 30 kg N per ha in het volgende groeiseizoen. Dit kan op de N-bemesting van het volggewas in mindering worden gebracht.

Als de afvoer van bietenloof niet wordt gecompenseerd door een andere organische-stofbron, zal jaarlijkse afvoer van bietenloof c.q. verminderde aanvoer van organische stof op *langere termijn* leiden tot een lager N-mineralisatieniveau van de bodem. Bij een lager N-mineralisatieniveau moet er meer stikstof via meststoffen worden aangevoerd om in de N-behoefte van het gewas te voorzien.

Van Dijk & Schröder (2007) gaan ervan uit dat op de lange termijn bij een stabiel gehalte aan organische stof circa 40% van de N in gewasresten beschikbaar komt voor gewasopname. Het bietenloof levert dan een bijdrage van circa 45 kg N per ha aan de N-behoefte van het gewas dat na suikerbieten wordt geteeld. Naast het vervallen van eerder genoemde eerstejaars nalevering van 30 kg N per ha zou op een lange termijn nog eens 15 kg N per ha extra nodig zijn (ofwel gemiddeld 3 kg N per ha op bedrijfsniveau bij 20% bieten in het bouwplan en volledige, jaarlijkse afvoer van het loof).

### Effecten raffinagescenario's

#### *Centraal zonder retourstroom*

Bij verwijdering van het bietenloof vervalt de eerstejaars nalevering en kan geen korting op de N-gift worden aangebracht c.q. moet 30 kg N per ha extra worden bemest. Op de langere termijn zou er 45 kg N per ha extra moeten worden bemest (tabel 6).

Bij de huidige mestwetgeving is dat een nadeel voor de teler omdat hij meer stikstof nodig heeft, maar geen extra stikstofgebruiksruimte krijgt om de afvoer van het bietenblad te compenseren. In geval van bijvoorbeeld 20% bieten in het bouwplan waarvan al het loof wordt afgevoerd, betekent dit een verhoging van de N-gebruik op bedrijfsniveau met gemiddeld 6 en 9 kg N per ha (korte en lange termijn).

#### *Decentraal+centraal en decentraal*

Bij de deze scenario's wordt 30% van de hoeveelheid stikstof in het bietenblad teruggevoerd (33 kg N per ha). Aangezien de pulp wat langzamer zal afbreken dan bietenblad, zal de nawerking in het volgende groeiseizoen krap 10 kg N per ha bedragen en 15 kg N per ha voor de langere termijn (voor de lange-termijnwerking van de stikstof in de onvergiste raffinage reststromen zijn gemakshalve dezelfde uitgangspunten gehanteerd als voor het bietenblad). In vergelijking met de referentie zou er dan respectievelijk 20 en 30 kg N per ha extra moeten worden bemest (mits dat mogelijk is binnen de N-gebruiksruimte op het bedrijf) (tabel 6).

#### *Centraal+retourstroom*

Indien het digestaat dat overblijft na raffinage en vergisting van de reststromen in het voorjaar wordt teruggebracht op het perceel, wordt hiermee eveneens 33 kg N per ha aangevoerd. Deze stikstof telt echter mee voor de gebruiksnormen, omdat het digestaat van buiten het bedrijf wordt aangevoerd. Als de reststromen van de bioraffinage samen zijn vergist met dierlijke mest (co-vergisting), gelden voor het digestaat dezelfde regels als voor de dierlijke-mestsoort die is vergist. Van de stikstof die totaal met het digestaat op bouwland wordt aangevoerd, moet dan (in 2013) voor de N-gebruiksnorm 60% worden meegeteld in geval van co-vergiste runderdrijfmest, ook 60% voor co-vergiste varkensdrijfmest op klei- en veengrond en 70% op zand- en lössgrond. Als de reststromen afzonderlijk zijn vergist (zonder dierlijk mest erbij; 100% plantaardig materiaal) wordt het digestaat aangemerkt als overige organische meststof en moet 50% van de totaal aangevoerde stikstof worden meegeteld voor de N-gebruiksnorm. Voor uitgebreidere informatie over de gebruiksnormen en de regelgeving rondom toepassing van digestaat wordt verwezen naar het DR-loket ([www.drloket.nl](http://www.drloket.nl)).

In tabel 5 is een rekenvoorbeeld gegeven van de veranderingen die optreden wanneer het digestaat van de vergiste reststromen op het perceel terugkomt. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen een situatie waarbij geen dierlijke mest wordt gebruikt en een situatie waarin dat wel het geval is. Bij het laatste is uitgegaan van varkensdrijfmest. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen klei- en zandgrond, omdat de bemestingsnormen (gewasnorm, stikstofwerking dierlijke mest) verschillen.

Per scenario wordt de landbouwkundige hoeveelheid werkzame stikstof berekend. Dit is de voor het gewas beschikbare stikstof en wordt berekend als de optelsom van de landbouwkundige werking van de varkensmest, digestaat, kunstmest en nawerking van het ondergewerkte bietenblad. De hoeveelheid kunstmest betreft de hoeveelheid die maximaal mag worden toegediend en wordt berekend als het verschil tussen de gebruiksnorm en de wettelijke hoeveelheid werkzame N uit varkensmest en digestaat.

#### Situatie zonder mest

De stikstof die met het digestaat wordt aangevoerd, is naar verwachting grotendeels werkzaam. Het merendeel is in minerale vorm aanwezig, door afbraak van de organische stof in de vergister. Na toediening vervluchtigt hiervan gemiddeld 5-30%, afhankelijk van de toedieningsmethode. In geval van bouwlandinjectie bedraagt het vervluchtigingsverlies niet meer dan 5% van de minerale N-fractie. Van de stikstof die nog organisch is gebonden, komt een deel beschikbaar tijdens het groeiseizoen door mineralisatie. Als een N-werking van 75-80% kan worden gerealiseerd, wordt zo'n 25 kg werkzame N per ha aangevoerd.

Het digestaat bevat slechts een geringe hoeveelheid organische gebonden stikstof, naar schatting ca. 5 kg N per ha. De lange-termijnwerking hiervan is nihil en wordt geschat op 1 kg N per ha extra.

Ten opzichte van de referentie daalt de totale N-beschikbaarheid met 21 en 35 kg N per ha voor respectievelijk de korte en lange termijn. Dit betreft een situatie waarin is uitgegaan van een wettelijke werkingscoëfficiënt van het digestaat van 50%. Als 60 of 70% van de N-aanvoer moet worden gerekend (in geval van co-vergisting met dierlijke mest), daalt de N-beschikbaarheid met de referentie 24/38 kg N per ha en 28/42 kg N per ha (korte/lange termijn).

#### Situatie met varkensdrijfmest

Veel akkerbouwbedrijven gebruiken varkensmest (VDM). Indien de fosfaatruimte hiervoor maximaal wordt benut, betekent dit dat bij aanvoer van het digestaat de VDM deels moet worden vervangen. Hierdoor kan er 33 kg  $P_2O_5$  per ha (fosfaatinhoud digestaat) minder als VDM aangevoerd. Tevens wordt dan 51 kg minder stikstof per ha aangevoerd uit VDM (wettelijk werkzaam 31 kg N per ha op klei en 36 kg N per ha op zand).

De N-werking van VDM (zoals weergegeven in de Haan en van Geel, 2013) is min of meer gelijk aan die van het geraffineerde-bietenbladdigestaat. De lange-termijnwerking van VDM is ruim 5% hoger dan de eenjarige N-werking (De Haan en van Geel, 2013).

Ten opzichte van de referentie daalt de totale N-beschikbaarheid met 30 en 25 kg N per ha voor respectievelijk klei- en zandgrond (korte termijn, 47 en 42 kg N per ha lange termijn). Het verschil tussen zand en klei vloeit voort uit het verschil in wettelijke werkingscoëfficiënt voor varkensmest en daardoor in wettelijke ruimte voor kunstmest. Hierbij is er vanuit gegaan dat de toegenomen wettelijke ruimte voor kunstmest-N wordt benut. Als dat niet het geval is daalt de N-beschikbaarheid met 44 en 60 kg N per ha (respectievelijk korte en lange termijn).



Tabel 5. **Effect terugvoer digestaat naar akkerbouwbedrijf bij centrale raffinage op de N-beschikbaarheid (kg N per ha bietenland) in een situatie zonder en met gebruik van varkensdrijfmest. (vetgedrukte waarden geven verschil aan met referentie).**

	Geen VDM		Wel VDM			
	Klei		Klei		Zand	
	Ref	Centraal	Ref	Centraal	Ref	Centraal
N-gebruiksnorm	150	150	150	150	145	145
N-totaal						
- VDM			95	44	95	44
- Digestaat		33		33		33
N-werkzaam, landb, 1 <sup>e</sup> jaar						
- VDM <sup>1</sup>			74	34	74	34
- Digestaat <sup>1</sup>		26		26		26
N-werkzaam, landb, Lange termijn						
- VDM			80	37	80	37
- Digestaat		27		27		27
N-werkzaam, wettelijk						
- VDM <sup>2</sup>			57	26	67	31
- Digestaat		17		17		17
N-kunstmest maximaal	150	134	93	107	79	98
N-nawerking blad						
- 1 <sup>e</sup> jaars	30	0	30	0	30	0
- Lange termijn	45		45		45	
N-werkzaam totaal, landb, 1 <sup>e</sup> jaars <sup>4</sup>						
- Met aanpassing N-KM <sup>5</sup>	180	159	197	167	182	157
		<b>-21</b>		<b>-30</b>		<b>-25</b>
- Zonder aanpassing N-KM <sup>6</sup>			197	153	182	138
				<b>-44</b>		<b>-44</b>
N-werkzaam totaal, landb, lange termijn <sup>4</sup>						
- Met aanpassing N-KM <sup>5</sup>	195	160	218	171	204	161
		<b>-35</b>		<b>-47</b>		<b>-42</b>
- Zonder aanpassing N-KM <sup>6</sup>			218	157	204	142
				<b>-62</b>		<b>-62</b>

1 N-werkingscoëfficiënt 0.78

2 Wettelijke N-werkingscoëfficiënt van 0.60 en 0.70 op respectievelijk klei- en zandgrond

3 Wettelijke N-werkingscoëfficiënt van 0.50

4 som van landbouwkundige N uit varkensmest, digestaat, kunstmest en nawerking uit ondergewerkt blad

5 Gerekend met maximaal mogelijke hoeveelheid kunstmest binnen gebruiksnorm

6 Gerekend met hoeveelheid kunstmest-N in referentie

## 3.3 Fosfaat

### **Bijdrage bietenblad aan fosfaatvoorziening**

Het fosfaatbemestingsadvies bestaat uit een gewasgericht en een bodemgericht advies (De Haan & Van Geel, 2013). De hoogte van het gewasadvies hangt af van de fosfaatbehoefte van het gewas en de fosfaattoestand van de bodem. Het bodemadvies is er op gericht een bepaalde fosfaattoestand te bereiken of te handhaven (de streeftoestand). Die streeftoestand is Pw 25-45 op zeeklei en zeezand en Pw 30-45 op dekzand, dalgrond, rivierklei en löss. Om de streeftoestand te handhaven moet de hoeveelheid fosfaat die met de geogste producten wordt afgevoerd, weer worden aangevoerd via bemesting, aangevuld met het zogenoemde "onvermijdbare fosfaatverlies". Het onvermijdbare verlies varieert van 5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bij lagere toestand (onderkant van het streeftraject) tot 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha bij hogere toestand (bovenkant van het streeftraject).

Door afvoer van het bietenloof wordt 36 kg extra P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha afgevoerd. De teler mag echter bij de huidige mestwetgeving niet meer fosfaat aanvoeren. De fosfaatgebruiksnorm is namelijk alleen afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem. In 2013 mag op bouwland gemiddeld per ha maximaal 85 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> worden aangevoerd bij Pw <36; 65 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bij Pw 36-55 en 55 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bij Pw >55.

### **Effecten raffinagescenario's**

#### *Centraal zonder retourstroom*

In dit geval stijgt per ha bietenland de afvoer met 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Omdat compensatie met meststoffen niet mogelijk is, is in vergelijking met de referentie is de fosfaatbalans daardoor 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha lager (tabel 6).

Van Dijk et al. (2012) gingen na wat hiervan het gevolg is voor de fosfaattoestand van de bodem. Zij gebruikten hiertoe gegevens van zowel modelbedrijven als praktijkbedrijven uit de periode 1996-2006. Ze rekenden met een gemiddelde fosfaatinhoud van het bietenloof van 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Het aandeel suikerbieten op de praktijkbedrijven bedroeg gemiddeld 19% (0-25%) voor kleigrond en 20% (0-30%) voor zand-/dalgrond. Gemiddeld verhoogde het afvoeren van het bietenloof de fosfaatafvoer op bedrijfsniveau met 6-7 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Op de modelbedrijven bedroeg het aandeel suikerbieten 14-25% voor de kleibedrijven, 20% voor de zandbedrijven en 25% voor het lössbedrijf. Het afvoeren van het bietenloof leidde, afhankelijk van het aandeel suikerbieten, tot een 5-10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha hogere fosfaatafvoer gemiddeld per ha.

Zij concludeerden dat bij hoge fosfaattoestand (Pw >55) op veel bedrijven de fosfaatafvoer hoger is dan de fosfaatgebruiksnorm van 2013 wanneer het bietenloof wordt afgevoerd. Dit zal op termijn leiden tot een daling van de fosfaattoestand tot in het Pw-traject 36-55. Ook bij die middelste toestand zal bij afvoer van het bietenloof op een deel van de klei- en lössbedrijven meer fosfaat worden afgevoerd dan er kan worden aangevoerd. Op termijn zal daardoor een daling naar de lagere klasse (Pw 25-35) plaatsvinden. Een verdere daling is niet te verwachten, omdat de fosfaatafvoer (ook met afvoer van het bietenloof) in veel gevallen ruim lager is dan de gebruiksnorm van 85 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha bij Pw <36. Naar verwachting zal de Pw zich dan tussen 30 en 35 zal stabiliseren, in het landbouwkundig streeftraject.

Dit zal in het algemeen niet tot grote knelpunten leiden m.b.t. tot fosfaatvoorziening van de gewassen. Wel zal op bedrijven met een hoog aandeel fosfaatbehoefte gewassen in het bouwplan (o.a. aardappelen, uien, fosfaatbehoefte groenten) het risico van een fosfaattekort wat hoger zijn. Een juiste verdeling van de fosfaatbemesting over de gewassen en een juiste toedieningstechniek zal dan belangrijker worden. Een eventuele



optie is om plantaardige compost aan te voeren (ten koste van dierlijk mest of kunstmest), daar de fosfaataanvoer via plantaardige compost gedeeltelijk is vrijgesteld.

#### *Decentraal+centraal en Decentraal*

Als het bietenblad op het bedrijf wordt gescheiden in sap en pulp, het sap wordt afgevoerd en de pulp wordt teruggebracht op het bietenperceel (decentraal+centraal), wordt hiermee 7 kg  $P_2O_5$  per ha teruggevoerd. Omdat deze fosfaat binnen het bedrijf is gebleven, gaat dit niet ten koste van de fosfaatgebruiksruimte. Ten opzichte van de referentie daalt de P-toevoer met 29 kg  $P_2O_5$  per ha.

Bij het scenario decentraal blijft 33 kg  $P_2O_5$  per ha op het bedrijf waardoor ten opzichte van de referentie de aanvoer daalt met slechts 3 kg  $P_2O_5$  per ha (tabel 6).

#### *Centraal + retour reststromen*

Als het digestaat dat overblijft na bioraffinage en vergisting van de pulp en de saprest, wordt teruggebracht op het bietenperceel, wordt hiermee 33 kg fosfaat per ha teruggevoerd. Dit telt echter volledig mee voor de gebruiksnormen, omdat het digestaat van buiten het bedrijf wordt aangevoerd. Het is dus niet mogelijk om hiermee extra fosfaat aan te voeren en de fosfaatafvoer met het bietenloof (voor een deel) te compenseren. Ten opzichte van de referentie blijft dan sprake van een verlies van 36 kg  $P_2O_5$  per ha op de fosfaatbalans door afvoer van het bietenblad (tabel 6).

## 3.4 Kali, magnesium en calcium

Voor de bemesting met kali, magnesium en calcium gelden (nog) geen wettelijke normen. Dat betekent dat anders dan voor stikstof en fosfaat, de extra afvoer in de raffinagescenario's kunnen worden gecompenseerd via een extra bemesting. In tabel 6 zijn de gevolgen van de scenario's weergegeven voor de kali-, magnesium- en calciumvoorziening t.o.v. de referentie.

### **Kali**

Evenals het fosfaatadvies bestaat het kalibemestingsadvies uit een gewasgericht en een bodemgericht advies (De Haan & Van Geel, 2013). De hoogte van het gewasadvies hangt af van de kalibehoeftte van het gewas en de kalitoestand van de bodem. Het bodemadvies is er op gericht een bepaalde kalitoestand te bereiken of te handhaven (de streeftoestand). Om de streeftoestand te handhaven, moet de kali-aanvoer gelijk zijn aan de kali-afvoer met de ge oogste producten plus het onvermijdbaar verlies (0 kg  $K_2O$  per ha per jaar voor kleigrond en 50 kg voor zandgrond).

Door volledige afvoer van het bietenloof (Centraal zonder retourstroom) wordt 186 kg extra  $K_2O$  per ha afgevoerd (gemiddeld 37 kg per ha op bedrijfsniveau bij 20% bieten in het bouwplan en afvoer van al het loof). Het is veelal niet mogelijk om die extra hoeveelheid via dierlijke mest aan te voeren, omdat de mestaanvoer wordt beperkt door de stikstof- en fosfaatsnormen. Bij maximale mestaanvoer moet daarom nog extra kali worden aangevoerd via kunstmest. Een alternatief is om een andere mestsoort te kiezen. Rundveedrijfmest bijvoorbeeld, bevat relatief veel meer kali ten opzichte van de hoeveelheid fosfaat in de mest dan varkensdrijfmest.

Op zandgrond kan een deel van de kali die vrijkomt na vertering van het bietenloof in de winter uitspoelen. De kali komt snel vrij. Het IRS (2013) gaat uit van circa 10% uitspoelingsverlies bij toediening van kalimeststoffen in het najaar op zand- en dalgronden. Wanneer dit percentage ook wordt betrokken op de kali in het bietenloof, zou er ca. 19 kg  $K_2O$  per ha uitspoelen. Door afvoer van het loof is het netto kaliverlies op zand- en dalgronden dan 167 kg  $K_2O$  per ha.

Als het bietenblad deels of volledig op het bedrijf wordt geraffineerd, wordt hiermee 37 kg  $K_2O$  per ha (Decentraal+centraal) en 171 kg  $K_2O$  per ha (Decentraal) teruggevoerd. De kaliafvoer bedraagt dan nog 149 kg  $K_2O$  per ha dan wel 134 kg  $K_2O$  per ha op zand- en dalgronden als 10% reductie van uitspoelingsverlies wordt verdisconteerd.

Bij de variant met terugvoer van digestaat van de vergiste reststromen van de raffinage (Centraal + retourstroom) komt bijna alle kali terug (171 kg  $K_2O$  per ha). Deze kali is naar verwachting voor 100% werkzaam. Er is op zand en dalgrond geen uitspoelingsverlies, omdat het digestaat in het voorjaar wordt toegediend en de kali als het ware de winter wordt overgetild.

Indien door de aanvoer van het digestaat varkensdrijfmest (VDM) wordt vervangen, kan 33 kg  $P_2O_5$  per ha minder via VDM aangevoerd. Tevens wordt dan 42 kg minder  $K_2O$  per ha aangevoerd uit VDM, welke moet worden aangevuld met kunstmest.

### **Magnesium**

Het magnesiumbestedingsadvies is gebaseerd op grondonderzoek en waardering van de magnesiumtoestand van de bodem en/of op schatting van het risico op het optreden van magnesiumgebrek en het waarnemen van gebreksverschijnselen tijdens het groeiseizoen.

Bij volledige afvoer van het bietenloof (Centraal zonder retourstroom) wordt 35 kg extra MgO per ha afgevoerd (gemiddeld 7 kg per ha op bedrijfsniveau bij 20% bieten in het bouwplan en afvoer van al het loof). Of dit tot problemen leidt m.b.t. de magnesiumvoorziening van de gewassen c.q. of die extra afvoer moet worden gecompenseerd, is niet in zijn algemeenheid aan te geven. Het hangt af van de magnesiumrijkdom van de bodem, de grondsoort, het organische-stofgehalte, de pH van de grond en de hoeveelheid die met organische-meststoffen wordt aangevoerd (afhankelijk van de soort en hoeveelheid mest). Bij lage magnesiumtoestand moet de extra magnesiumafvoer wellicht worden gecompenseerd.

Bij de scenario's Decentraal, Decentraal+centraal en Centraal met retourstroom bedraagt het magnesiumverlies respectievelijk 3, 28 en 3 kg MgO per ha.

### **Calcium**

Bij volledige afvoer van het bietenloof (Centraal zonder retourstroom) wordt ook 51 kg extra CaO per ha afgevoerd (gemiddeld 10 kg per ha op bedrijfsniveau bij 20% bieten in het bouwplan en afvoer van al het loof). Op kalkrijke gronden is dit geen probleem. Op kalkarme gronden zal in theorie iets meer moeten worden bekalkt op de pH van de grond op peil te houden. De hoeveelheid is echter gering ten opzichte van gangbare kalkgiften in praktijk die nodig zijn om de pH op peil te houden.

Bij de scenario's Decentraal, Decentraal+centraal en Centraal met retourstroom bedraagt het calciumverlies respectievelijk 4, 41 en 4 kg MgO per ha.

Tot slot worden door afvoer van het bietenloof ook extra zwavel en sporenelementen afgevoerd, maar hiervan zijn geen cijfers verzameld. Naar verwachting leidt die extra afvoer niet tot problemen m.b.t. de bodemvruchtbaarheid. Gebrek aan zwavel of sporenelementen hangt op de eerste plaats af van bodemkenmerken en lokale omstandigheden (o.a. zwaveldepositie) en verder van het organische-mestgebruik.

### 3.5 Conclusie

In tabel 6 is voor de vier raffinagescenario's die zijn genoemd in de inleiding (scenario's 1 t/m 4) aangegeven wat het verschil is t.o.v. de referentie (niet afvoeren, scenario 0) voor wat betreft de aanvoer van effectieve organische stof (EOS) en de beschikbaarheid van stikstof, fosfaat, kali, magnesium en calcium.

Uit oogpunt van bodemvruchtbaarheid is volledige decentrale raffinage van het bietenblad op het bedrijf de meest aantrekkelijke optie. Dit geeft vrijwel geen verlies van EOS en de minste daling van de beschikbaarheid van nutriënten. Het stikstof- en fosfaatverlies kan binnen de huidige gebruiksnormenwetgeving niet met extra kunstmest worden gecompenseerd. Voor de kali, magnesium en calcium is dat wel mogelijk.

Tabel 6. **Aanvoer effectieve organische stof en beschikbaarheid nutriënten op perceelsniveau (kg per ha) bij verschillende raffinagescenario's ten opzichte van referentie (niet afvoeren bietenblad).**

Scenario	EOS	N-werkzaam		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		MgO	CaO
		1 <sup>e</sup> jaar	langjarig		klei	zand		
Centraal zonder retourstroom	-900	-30	-45	-36	-186	-167	-35	-51
Decentraal	0	-20	-30	-3	-15	-13	-3	-4
Decentraal + centraal, scheiding op het bedrijf in sap en pulp, afvoer sap, pulp terug op het perceel	-325	-20	-30	-29	-149	-134	-28	-41
Centraal met retourstroom, retourstroom via plantaardig digestaat naar het perceel								
- Geen varkensmest	-600	-21	-35	-36	-15	+4	-3	-4
- Wel varkensmest								
o Aanpassing KM <sup>1</sup>	-700	-30/-25 <sup>1</sup>	-47/-42 <sup>1</sup>	-36	-57	-38	-14	
o Geen aanpassing KM <sup>2</sup>	-700	-44	-62	-36	-57	-38	-14	

1 klei/zand

2 Er is uitgegaan van het kunstmest-N-gebruik in de referentie



## 4 Stikstofverliezen

### 4.1 Nitraatuitspoeling

Bietenblad bevat relatief veel stikstof. Als het op het land achterblijft, draagt het bij aan de nitraatuitspoeling. Hieronder wordt een overzicht gegeven wat daarvan bekend is.

De nitraatuitspoeling op bouwland na suikerbietenteelt met en zonder afvoer van bietenloof is gemeten in een veldproef op zandgrond te Vredepeel in 2007/08 (De Ruijter et al, 2010). Half maart 2008 bedroeg de nitraatuitspoeling tot dieper dan 90 cm 5-10% van de N-inhoud van het bietenloof. Op basis van metingen bij andere gewassen, wordt aangenomen dat de uitspoeling uit bietenloof in een warmer najaar ruwweg verdubbelt tot 10-20% van de N-inhoud van het bietenloof. Relatief lage uitspoelingsverliezen uit bietenloof zijn eerder gevonden (Olsson and Bramstorp, 1994), met als maximum schatting een nitraatuitspoeling van 30% van de N-inhoud aan het begin van de teelt van het volggewas.

Blijkbaar draagt het verwijderen van de gewasresten van suikerbieten sterker bij aan verlaging van het N-overschot (verlaging op perceelsniveau is ca. 110 kg N per ha) dan aan de verlaging van de N-uitspoeling (verlaging op perceelsniveau circa 15-30 kg N per ha). Het verschil tussen overschot en nitraatuitspoeling is stikstof die in de bodem achterblijft (als minerale en organische N) of via gasvormige verliezen (denitrificatie, ammoniak) verloren gaat.

Van Geel (2008) vond in een tweejarige veldonderzoek op zandgrond te Vredepeel dat afvoeren van bietenloof geen bijzonder effectieve maatregel lijkt te zijn om de nitraatuitspoeling te verminderen. Laat oogsten van de bieten (eind oktober versus half september) leek sterker bij te dragen aan vermindering van de nitraatuitspoeling dan afvoer van het loof.

De gevonden resultaten sluiten aan bij die van Mitchel et al. (2001; in: De Ruijter & Smit, 2007). Die vonden dat wel of niet afvoeren van gewasresten maar een gering effect had op de stikstofuitspoeling. Het verschil was weliswaar het grootst bij gewassen die veel stikstof nalaten in de gewasresten, maar zelfs voor suikerbiet bedroeg het verschil slechts 12 kg N/ha in het ene jaar en 9 kg N/ha in het andere.

De Ruijter & Smit (2007) vonden in de literatuur dat de stikstofverliezen naar het grondwater uit de gewasresten van suikerbieten relatief klein zijn: 10-20% van de N-inhoud. Van Geel (2008) berekende een gemiddelde vermindering van het stikstofverlies door afvoeren van het loof van 16 kg N/ha (19% van de N-inhoud van het loof).

Benadrukt moet worden dat door mineralisatie van stikstof uit het bietenloof ook in de tweede winter na onderwerken nog N-verliezen kunnen optreden. Deze zijn in veldexperimenten niet meegenomen. De reductie van het N-uitspoelingsverlies op lange termijn zal daardoor wat hoger zijn bij afvoer van het bietenloof.

#### **Conclusie**

Uit de veldexperimenten waarin de stikstofuitspoeling is gemeten na het inwerken van bietenloof komt een uitspoelingsverlies naar voren in de daaropvolgende winter variërend van 5-30% van de in het loof aanwezige stikstof. Op basis van de voornoemde cijfers wordt een gemiddeld uitspoelingsverlies gehanteerd van 15%. Bij een N-inhoud van 110 kg N per ha komt dit neer op 16,5 kg N per ha in geval het blad volledig wordt afgevoerd (Centraal geen retourstroom). Bij de andere scenario's keert slechts 30% van de in het blad aanwezig N terug op het land en zal ook de nitraatuitspoeling lager zijn.

## 4.2 Gasvormige emissies

Als het bietenloof in het najaar achterblijft op het veld, gaat er naast nitraatuitspoeling, stikstof verloren via vervluchtiging in de vorm van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), stikstofgas ( $\text{N}_2$ ) en lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). De Ruijter et al. (2009) vonden dat bij niet inwerken van de gewasresten de gasemissie voornamelijk ammoniak betreft en bij wel inwerken voornamelijk stikstofgas en lachgas als gevolg van denitrificatie van stikstof. Zij noemen dat 10% van de N-inhoud van het loof in gasvorm verloren gaat, waarvan 8% als  $\text{NH}_3$  en 2% als  $\text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$  bij niet inwerken van het loof en 0% als  $\text{NH}_3$  en 10% als  $\text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$  bij wel inwerken. Hoeveel er bij denitrificatie wordt omgezet in het onschadelijke  $\text{N}_2$  en het broeikasgas  $\text{N}_2\text{O}$  hangt af van de omstandigheden, maar de meeste N wordt omgezet naar  $\text{N}_2$ .

De Ruijter et al. (2009) concludeerden op basis van een literatuurstudie dat de lachgasemissie bij achterlaten van bietenloof minder dan 1% van de N-inhoud gewasresten bedraagt. Dat is niet hoger dan bij toediening van organische mest en kunstmest. Het IPCC (2006) hanteert hiervoor 1% van de N in (kunst)mest. Dit lijkt weinig, maar in het project Energieboerderij bleek dat broeikasgasemissies bij de teelt sterk werden bepaald door de lachgasemissies. Dit komt, omdat het broeikas effect van lachgas circa 300 keer zo sterk als dat van  $\text{CO}_2$ . Corré & Langeveld (2008) vergeleken verschillende scenario's voor energiewinning uit suikerbieten en bekeken ook een variant waarbij het bietenblad wordt afgevoerd (en vergist). Dit leidde tot een substantiële vermindering van de lachgasemissies.

Het (deels) verwijderen van het bietenloof zal de lachgasemissies bij de teelt verminderen doordat in het eiwit aanwezige stikstof niet op het land terechtkomt.

## 5 Referenties

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 nr. 197, 14 pp.

De Haan, J.J. & Van Geel, W.C.A., 2013. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl)

De Ruijter F.J. & A.L. Smit (2007). Het lot van stikstof uit gewasresten. Wageningen, Plant Research International, Rapport 133, 33 pp. + bijlage.

De Ruijter, F.J., Brooijmans, P.W.A.M., Wilting, P., Huijbregts, A.W.M., Raap, J.F.M., Corré, W.J., 2009. Afvoer en vergisting van bietenloof : burostudie naar de effecten op nutriënten, emissies en energie. Wageningen, Plant Research International, Rapport 241. <http://edepot.wur.nl/5357>

De Ruijter, F.J., Ten Berge, H.F.M., Smit, A.L., 2010. The fate of nitrogen from crop residues of broccoli, leek and sugar beet. *Acta Horticulturae*, 852: 157-162.

Ehlert, P.A.I., Dekker, P.H.M., Van der Schoot, J.R., Visschers, R., Van Middelkoop, J.C., Van der Maas, M.P., Pronk, A.A., Van Dam, A.M., 2009 Fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen. Eindrapportage. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1773

Hanse, B., Huijbregts, T. 2011. Duurzaamheid teelt van suikerbieten voor covergisting. Resultaten 2008-2010 van vijf telers in het project Energieboerderij. Bergen op Zoom, Stichting IRS, 11P05. <http://www.irs.nl/ccmsupload/ccmsalg/11P05%20Duurzaamheid%20teelt%20suikerbiete n%20voor%20vergisting%20-%20%20Energieboerderij.pdf>

IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea application.

IRS (2013). Teelthandleiding suikerbieten. [www.irs.nl](http://www.irs.nl)

Janssen, B.H. en H. van Reuler, 1986. Het effect van de toediening van organische materiaal aan de grond. In: PAGV themaboekje nr. 7, Themadag Organische stof in de akkerbouw, p. 7-19.

Kool, A., H.C. de Boer, H.J.C. van Dooren, M. Timmerman, B. van Dun & M. Tijmensens (2005). Kennisbundeling co-vergisting. CLM-rapport 621

Melse, R.W., F.E. de Buissonjé, N. Verdoes, H.C. Willers (2004). Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest. Rapportage opdrachtgever 1390938000. Animal Sciences Group. <http://edepot.wur.nl/24640>

Olsson, R. and Bramstorp, A., 1994. Wo bleibt der Stickstoff aus Rübenblatt und Köpfen? *Zuckerrübe* 43(5): 310-313.

Schröder, J.J., W. van Dijk & H. Hoek, 2011. Modelmatige verkenningen naar de relaties tussen stikstofgebruiksnormen en de waterkwaliteit van landbouwbedrijven. Onderzoek



in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2011. Wageningen, Plant Research International, rapport nr. 415, 52 pp.

Smit, A.B., Struik, P.C., Van Niejenhuis, J.H., 1995. Nitrogen effects in sugar beet growing: a module for decision support. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43:391-408.

Van Dijk, W., F. de Ruijter & G. Velthof, 2012. Effect van afvoeren bietenloof op stikstof- en fosfaatvoorziening, bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling. CDM-Advies Green Deal Cosun. Bijlage bij de brief van de CDM aan het ministerie van EZ7I met kenmerk 12/N&M0007 van 19 maart 2012, 14 pp.

Van Dijk, W. & J.J. Schröder, 2007. Adviezen voor stikstofgebruiksnormen voor akker- en tuinbouw op zand- en lössgrond bij verschillende uitgangspunten. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 371, 78 pp.

Van Geel, W.C.A., 2008. Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op de nitraatuitspoeling; Deelonderzoek voor Telers Mineraal Paraat uitgevoerd in 2005-2007 binnen project Nutriënten Waterproof. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector AGV, PPO-nr. 32500181, Lelystad.

Westerdijk, C., 1992. Effect van gedeelde bemesting en/of 'slow-release'-bemesting op efficiency/recovery van de N-bemesting bij suikerbieten. PAGV Interne mededeling nr. 883.





