



Afvoer en vergisting van bietenloof

Burostudie naar de effecten op nutriënten, emissies en energie

F.J. de Ruijter, P.W.A.M. Brooijmans, P. Wilting, A.W.M. Huijbregts,
J.F.M. Raap & W.J. Corré





Afvoer en vergisting van bietenloof

Burostudie naar de effecten op nutriënten, emissies en energie

F.J. de Ruijter¹, P.W.A.M. Brooijmans², P. Wilting³, A.W.M. Huijbregts³,
J.F.M. Raap⁴ & W.J. Corré¹

- ¹ Plant Research International
- ² Suiker Unie
- ³ IRS
- ⁴ Cosun Food and Technology Centre

© 2009 Wageningen, Plant Research International B.V.

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 Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen €50 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	5
2. Literatuurgegevens en kentallen	7
2.1 Effecten op het perceel: nutriënten, emissies, organische stof en bodemstructuur	7
2.1.1 Hoeveelheid bietenloof en nutriënteninhoud	7
2.1.2 Landbouwkundige nawerking uit bietenloof in volggewassen	7
2.1.3 N-emissies naar lucht en water bij achterlaten van bietenloof op het land	8
2.1.4 Organische stof	10
2.1.5 Bodemstructuur	11
2.1.6 N-overschot en Nmin	11
2.2 Financiële kosten voor de teler	12
2.2.1 Kosten van afvoer van bietenloof	12
2.2.2 Kosten voor meststoffen	12
2.2.3 Kosten voor uitrijden vloeibaar digestaat	13
2.3 Transport en opslag van bietenloof en mogelijke emissies	13
2.4 Vergisting, verwerking digestaat en mogelijke emissies	14
2.4.1 Gasopbrengst en afbraak organische stof	14
2.4.2 Digestaat en mogelijke bewerkingen	16
2.4.3 Toepassing van digestaat	17
2.5 Energieopbrengst en energiekosten	18
3. Vergelijking geen afvoer van bietenloof met afvoer+vergisting	19
3.1 Het totale plaatje - nutriëntenkringloop	19
3.2 Het totale plaatje - opbrengst en kosten - energie en financieel	22
3.3 Gevolgen voor boer en beleid	23
3.3.1 Wanneer is afvoeren van bietenloof voor telers aantrekkelijk?	24
3.3.2 Beleidsaspecten	25
4. De teelt van suikerbiet als tussengewas	27
5. Overzicht en discussie	29
6. Conclusies	33
Referenties	35
Bijlage I. Hoeveelheid bietenloof, nutriënteninhoud en asgehalte	4 pp.

Samenvatting

Bietenloof en hele bieten kunnen gebruikt worden als invoer in een vergister en daarmee bijdragen aan de energievoorziening. Eerder onderzoek van Corré & Langeveld (2008) liet zien dat het energie rendement van vergisting van bietenloof ruimschoots positief is: na aftrek van energiekosten voor de productieketen blijft er nog 81% van de energie-inhoud van het loof over. Het bietenloof van het totale areaal suikerbieten in Nederland kan zo 3441 TJ aan duurzame energie produceren. Deze productie vanuit bietenloof komt overeen met het aardgasgebruik van ruim 60.000 huishoudens.

In deze studie wordt een overzicht gegeven van de hoeveelheid en samenstelling van bietenloof, en wordt een vergelijking gemaakt tussen achterlaten van bietenloof op het perceel en afvoer, vergisting en verwerking en gebruik van het digestaat. Hierbij wordt aandacht besteed aan de gehele keten en worden nutriëntenstromen en -emissies beschreven en gekwantificeerd. Daarnaast wordt ingegaan op gevolgen voor de teler rondom nutriëntenbalansen, gebruiksnormen en financiële kosten van afvoer, en op de rol die het beleid daarin kan spelen.

Het verzamelen en afvoeren van bietenloof brengt kosten met zich mee voor de teler. Daarnaast kunnen er extra kosten zijn voor bemesting: het uitrijden van het digestaat of aankoop van meststoffen wanneer het digestaat niet gebruikt wordt. Deze kosten dienen gedekt te worden vanuit de opbrengsten van vergisting. Het totale financiële plaatje rondom vergisting is in het rapport niet uitgewerkt.

Het afgevoerde bietenloof kan op zijn hoogst enkele dagen op of naast het perceel opgeslagen worden om verliezen via leksap te voorkomen. Hoe lang dat kan zijn zou onderzocht moeten worden, maar snel transport naar de vergister en/of een centrale opslag met opvangvoorzieningen voor leksap is nodig. Gasvormige emissies zijn bij een dergelijke opslag beperkt.

Het digestaat van bietenloof is een waterige oplossing van nutriënten met een restant aan organische stof en kleine hoeveelheden as. De nutriëntengehaltes zijn lager dan die van varkensmest maar vergelijkbaar met die van runderdrijfmest, uitgezonderd het lagere gehalte aan organische stof en organisch gebonden N. Er zijn verschillende manieren om met het digestaat om te gaan:

- gebruiken zoals het is;
- zeven, filtreren en omgekeerde osmose. Na scheiding blijft er een vaste fractie over die grotendeels bestaat uit bodemdeeltjes, een concentraat van de ultrafiltratie dat het merendeel van het fosfaat bevat, en een concentraat van de omgekeerde osmose dat het merendeel van de stikstof en kalium bevat. De concentraten kunnen als zodanig gebruikt worden als vloeibare meststof;
- verwijderen van fosfaat (als struviet) en stikstof (via achtereenvolgens een aerobe en anoxische stap). Uiteindelijk blijft er een vaste fractie over met voornamelijk fosfaat, en een vloeibaar deel dat geloosd kan worden.

De bewerkingsopties zijn slechts globaal beschreven en aanbevolen wordt deze in meer detail uit te werken en te vergelijken op energie-efficiëntie, nutriëntenstromen en financiële kosten, rekening houdend met het totale landbouwsysteem inclusief kunstmestproductie.

De nutriëntenstromen en emissies verschillen per bewerkingsoptie (zie Tabel). Alleen afvoer van bietenloof voorkomt emissies, maar is er ook geen nawerking meer van de N, P₂O₅ en K₂O uit het bietenloof voor het volggewas. Gebruik van het digestaat zoals het is verhoogt de N-werking met 56 kg ha⁻¹ ten opzichte van achterlaten van het bietenloof. Zuivering van het digestaat tot een vaste fractie met struviet en organische stof maakt dat er 25 kg N ha⁻¹ extra nodig is uit kunstmest of andere mest om het verlies aan nawerking uit het bietenloof te compenseren. Bij beide wijzen van hergebruik van digestaat worden de N-emissies verlaagd ten opzichte van achterlaten van het bietenloof. Per hectare suikerbieten op zandgrond daalt de ammoniakemissie met 5 tot 9 kg NH₃-N, de nitraatuitspoeling met 11 kg NO₃-N en ook de lachgasemissie neemt af. Vergeleken met zandgrond heeft afvoer en vergisten op kleigrond een kleiner effect op ammoniakemissie en nitraatuitspoeling, en een groter effect op lachgasemissie. De aanvoer

aan organische stof op het perceel daalt ook. Op rotatieniveau is het verschil echter klein en het is de vraag of dit merkbare gevolgen heeft binnen de gehele rotatie.

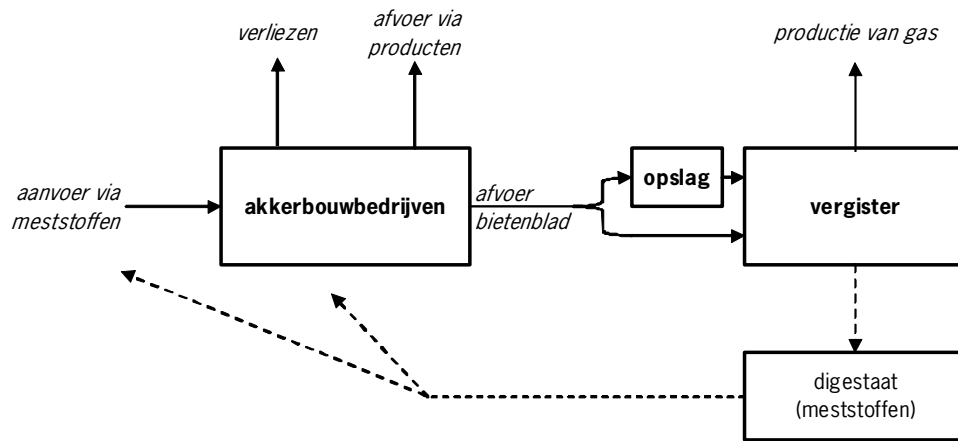
Tabel. Vergelijking van het achterlaten van bietenloof op het perceel met afvoer, vergisting en hergebruik. Hoeveelheden in kg ha⁻¹jaar⁻¹. Bij alleen afvoer van het bietenloof worden alle posten nul.

	Achterlaten bietenloof	Afvoer bietenloof, vergisting en gebruik digestaat voor volggewas		Afvoer, vergisting, zuivering digestaat en gebruik struviet en resterende organische stof	
Stikstof			<i>effect</i>		<i>effect</i>
• N-werking volggewas	30	86	+56	5	-25
• 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 ₂ O-uitspoeling	9 (0 op klei)	0	-9	<i>niet op perceel</i>	<i>pm</i>
Effectieve organische stof	900	<447	-453	<447	-453

Het beleid speelt een belangrijke rol of afvoer van bietenloof voor vergisting voor de teler mogelijk is. Hierbij is van belang hoe in de mestwetgeving wordt omgegaan met de nutriëntenstromen bij afvoer en vergisting van bietenloof. Wanneer het digestaat gezien wordt als mestproduct buiten de landbouwbedrijven (zie Figuur, linker gestippelde pijl) zullen deze bedrijven boekhoudkundig extra meststoffen moeten aanvoeren om de stikstofnawerking van bietenloof in het volggewas te compenseren (30 kg N ha⁻¹) en de fosfaattoestand op peil te houden. Een oplossing kan zijn om de gebruiksnorm voor suikerbieten te verhogen met 30 kg N ha⁻¹ en 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ als het bietenloof wordt afgevoerd en vergist.

Bovenstaande verhoging van de gebruiksnormen is niet nodig wanneer verondersteld wordt dat er sprake is van een interne nutriëntenstroom (rechter gestippelde pijl in de Figuur). Nutriënten gaan dan naar de vergister toe in de vorm van bietenloof en komen terug in de vorm van digestaat. De nutriënten worden dan niet als meststof gerekend omdat ze alleen tijdelijk van het bedrijf af zijn geweest. Voor N heeft dit als voordeel dat er geen uitspoeling in de winter is geweest en dat na het vergisten de hoeveelheid werkzame N op bedrijfsniveau tot 65 kg ha⁻¹ hoger is geworden dan wanneer de resten op het land waren achtergebleven. Knelpunten bij dit systeem zijn de grote benodigde opslagcapaciteit voor digestaat in de winter, transportkosten voor digestaat en de beperkte mogelijkheid voor het uitrijden van digestaat in het voorjaar op kleigrond. Ongeveer 60% van de suikerbieten wordt op kleigrond geteeld.

Voor het opzetten van een systeem met aanpassing van de gebruiksnorm bij afvoer van bietenloof of met interne nutriëntenkringloop binnen de keten van bietentelers en suikerindustrie is discussie met en binnen het beleid nodig om de administratieve, juridische en technische mogelijkheden te onderzoeken.



Figuur. Overzicht van de nutriëntenstromen (incl. een deel van de organische stof) op akkerbouwbedrijven bij afvoer en vergisting van bietenloof.

1. Inleiding

Bietenloof en hele bieten kunnen gebruikt worden als invoer in een vergister en daarmee bijdragen aan de energievoorziening. Het voordeel van het gebruik van bietenloof ten opzichte van speciale energiegewassen is dat bij de oogst van suikerbieten het bietenloof ook geoogst wordt en er geen extra maatregelen nodig zijn voor de productie van het loof. Wel vraagt afvoer van het bietenloof extra handelingen van de teler met bijbehorende kosten. Bij afvoer van bietenloof worden ook extra nutriënten afgevoerd van het bedrijf. Dit heeft een verlagend effect op emissies tijdens het najaar en de winter, maar het verlaagt ook de bodemvruchtbaarheid voor volggewassen in het bouwplan. De nutriënten in het bietenloof komen terecht in het digestaat dat ontstaat bij vergisting en kunnen, indien de regelgeving hierop wordt aangepast of via een ontheffing, worden teruggevoerd naar het veld.

Het doel van het voorliggende rapport is het beschrijven en kwantificeren van de nutriëntenstromen en -emissies bij achterlaten van bietenloof op het veld in het najaar en bij afvoer van bietenloof plus vergisting en hergebruik van digestaat. Hierbij wordt aandacht besteed aan de gehele keten om een beeld te krijgen van het totale plaatje en mogelijke afwentelingen te voorkomen. Naast nutriëntenstromen en -emissies wordt specifiek ingegaan op gevolgen voor de teler rondom nutriëntenbalansen, gebruiksnormen en financiële kosten van afvoer, en op de rol die het beleid daarin kan spelen.

Afbakening van de studie is dat er niet wordt ingegaan op de financiële aspecten van vergisting. Schaalgrootte speelt hierbij een grote rol, evenals prijzen voor de geproduceerde energie. Deze laatste hangen ook af van beleidskeuzes. Van belang daarbij is om eerst een overzicht te hebben van de effecten over de gehele keten op energieproductie, en van de effecten op emissies van nutriënten en broeikasgassen.

Energieproductie wordt beperkt aangestipt, en het voorliggende rapport bouwt voort op de studie van Corré & Langeveld (2008) die het energierendement van vergisting van bietenloof hebben berekend. Bij verschillende opties rondom verwerking en gebruik van digestaat wordt wel aandacht besteed aan energiegebruik omdat verschillen hierin effect hebben op het totale energierendement.

In Hoofdstuk 2 van dit rapport worden de verschillende aspecten rondom bietenloof, afvoer, transport, vergisting en verwerking van digestaat gekwantificeerd op basis van informatie in de literatuur. Deze informatie wordt in Hoofdstuk 3 bij elkaar gebracht tot een overzicht over de totale keten, en de effecten van achterlaten van bietenloof in het najaar worden vergeleken met die van afvoer+vergisting+verwerking en gebruik digestaat. Hoofdstuk 4 geeft een korte beschouwing van suikerbiet als tussengewas. In de discussie in Hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd en afgesloten wordt met conclusies.

2. Literatuurgegevens en kentallen

2.1 Effecten op het perceel: nutriënten, emissies, organische stof en bodemstructuur

2.1.1 Hoeveelheid bietenloof en nutriënteninhoud

Voor de berekeningen in het voorliggende rapport wordt uitgegaan van een gemiddeld versgewicht aan bietenloof van 38 ton ha⁻¹ met daarin 110 kg N, 36 kg P₂O₅, 229 kg K₂O en 44 kg MgO (zie Bijlage I). In het verse product bedraagt het N-gehalte dan 2,9 kg ton⁻¹ en het P₂O₅-gehalte 0,94 kg ton⁻¹. Het N-gehalte is hier berekend vanuit de N-inhoud en de versopbrengst en komt overeen met de 3,0 die genoemd wordt in Kiezen uit gehalten 3 (Beukenboom, 1996). Het P₂O₅-gehalte is afkomstig uit Ehlert *et al.* (in voorbereiding) en is hoger dan de 0,7 kg ton⁻¹ die genoemd wordt in Kiezen uit gehalten 3 (Beukenboom, 1996). De 0,94 kg ton⁻¹ is gebaseerd op een uitgebreidere dataset dan gebruikt door Beukenboom (1996) en is het meest recente getal (Ehlert *et al.*, 2006; Ehlert *et al.*, in voorbereiding).

Als drogestofgehalte wordt 14,7% aangehouden (afgeleid uit Ehlert *et al.*, in voorbereiding). De drogestofopbrengst is dan 5,6 ton ha⁻¹. Bij 20% as (zie Bijlage I) en 50% C in organische stof bedraagt de opbrengst aan organische stof 4,47 ton ha⁻¹ met een C/N-verhouding van 20.

2.1.2 Landbouwkundige nawerking uit bietenloof in volggewassen

2.1.2.1 Stikstof

Wanneer bietenloof wordt achtergelaten op de akker heeft dit effect op de nutriëntenbeschikbaarheid van het volggewas. In de adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen (Van Dijk, 2003) wordt bij onderwerken van bietenloof in het najaar een korting op de gift van het volggewas aangegeven van 30 kg N ha⁻¹. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat circa 1/3 van deze bemestende waarde als verhoogde Nmin voor aanvang van de teelt wordt teruggevonden, en dat circa 2/3 gedurende het groeiseizoen ter beschikking komt van het volggewas.

Velthof *et al.* (1998) berekenden de N-nawerking uit bietenblad met het N-mineralisatiemodel Minip. Bij toediening in oktober van 120 kg N ha⁻¹ in bietenloof met een C/N-verhouding van 15 berekenen ze dat er 32 kg N ha⁻¹ vrijkomt in de periode maart-juni, 37 kg ha⁻¹ in de periode maart-juli en 41 kg ha⁻¹ in de periode maart-augustus.

In de advisering door DLV wordt ook rekening gehouden met een stikstofnawerking van 30 kg ha⁻¹ vanuit bietenloof. Eventueel wordt dit getal iets gekort wanneer er sprake is van een gewas met weinig bietenloof (pers. med. H. van de Akker, DLV).

Samenvattend

In het voorliggende rapport wordt uitgegaan van het Nederlandse bemestingsadvies en met een landbouwkundige nawerking vanuit bietenloof gerekend van 30 kg N ha⁻¹ bij onderwerken van het bietenloof in het najaar.

2.1.2.2 Fosfaat en overige elementen

Wat betreft andere elementen dan stikstof zijn er geen bemestingsadviezen gekoppeld aan het al dan niet achterlaten van bietenloof. Afvoer van bietenloof leidt echter wel tot grotere onttrekking en zal, zeker op langere termijn, effect hebben op de beschikbaarheid van diverse nutriënten.

De fosfaattoestand van de bodem (aangegeven met het Pw-getal of PAL-getal) wordt vooral beïnvloed door het totale fosfaatcomplex in de bodem. Het wel of niet achterlaten van bietenloof in het najaar zal weinig effect hebben op de Pw in het daaropvolgende voorjaar. Wel is het zo dat door afvoer van bietenloof het overschot op de fosfaatbalans lager wordt. De jaarlijkse fosfaatafvoer van grote akkerbouwgewassen als wintertarwe, aardappel (consumptie,

zetmeel), snijmaïs, suikerbiet en zaaiuien ligt tussen 50 en 70 kg P_2O_5 per ha en is gemiddeld circa 60 kg P_2O_5 per ha per jaar (Van Dijk *et al.*, 2007). Wanneer bieten plus bietenloof worden afgevoerd is de fosfaatafvoer gemiddeld bijna 90 kg ha^{-1} (Tabel B4). De huidige aanvoernorm bedraagt bedrijfsgemiddeld 85 kg fosfaat ha^{-1} . Wanneer de fosfaatbemestingsnormen aangescherpt worden zal afvoer van bietenloof eerder tot een negatief fosfaatoverschot leiden en daling van de fosfaattoestand van de bodem geven. Dit is een langzaam proces dat speelt op de langere termijn. Resultaten van veeljarige proeven van Alterra en PPO wijzen erop dat het Pw-getal of het PAL-getal langzaam reageert op een negatief fosfaatoverschot: wanneer 20 jaar elk jaar 20 kilo minder wordt bemest dan wordt afgevoerd, zal het Pw-getal vermoedelijk ongeveer 5 punten dalen. Bij een hoge fosfaattoestand is dat wat meer en bij een lage toestand wat minder (Dekker & Ehlert, 2008).

K2O is in het bietenloof voornamelijk in opgeloste vorm aanwezig en zal nagenoeg geheel kort na de oogst beschikbaar komen (Beiss, 1987). Een deel van deze K2O kan op zandgrond uitspoelen. Op kleigrond vindt geen uitspoeling van K2O plaats (zie ook 2.1.3.2). De K2O in het bietenloof is op deze gronden voor 90-100% werkzaam voor het volggewas.

Samenvattend

Nawerking van P_2O_5 uit bietenloof speelt op de langere termijn, en afvoer van bietenloof geeft verlaging van het fosfaatoverschot waardoor het Pw-getal zal dalen.

K₂O uit bietenloof is, afhankelijk van de grondsoort, voor 90-100% werkzaam voor het volggewas.

2.1.3 N-emissies naar lucht en water bij achterlaten van bietenloof op het land

2.1.3.1 N-emissies naar de lucht

Wanneer bietenloof op het land achterblijft, gaat er N verloren via emissies naar de lucht in de vorm van stikstofgas, ammoniak en lachgas, en via uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater, voornamelijk in de vorm van nitraat. In de winter van 2007-08 zijn de verliezen via ammoniak gemeten in een opstelling in de buitenlucht, en is de totale denitrificatie bepaald in het lab met grondmonsters uit een veldproef op zandgrond rondom het lot van N uit gewasresten (Tabel 1). De N-inhoud van het bietenloof was 72 kg ha^{-1} en toegediend op 1 november 2007 op grond van een perceel waar maïs had gestaan. Van deze N-inhoud ging over de periode november tot maart 10% verloren via gasvormige verliezen. Wanneer de resten niet werden ingewerkt was de emissie voornamelijk via ammoniak. Inwerken voorkwam ammoniakemissie maar vergrootte de verliezen via N_2 plus N_2O , dus via nitrificatie en denitrificatie.

Grote reductie van ammoniakemissie bij inwerken van het bietenloof werd ook gevonden door Mannheim *et al.* (1997) en Olsson & Bramstorp (1994a). Wanneer het bietenloof op het grondoppervlak bleef liggen na de oogst begon de ammoniakemissie na zeven (Mannheim *et al.*, 1997) tot tien dagen (Olsson & Bramstorp, 1994a). Mannheim *et al.* (1997) vonden een emissie van 3,0% van de N-inhoud van het bietenloof. Olsson & Bramstorp (1994a) maten over een periode van 49 dagen een totale emissie van 18 kg $NH_3-N ha^{-1}$, bijna 20% van de N-inhoud van het bietenloof. Later oogsten verminderde de ammoniakemissie.

Tabel 1. Ammoniakemissie en totale denitrificatie uit bietenloof (uitgedrukt als percentage van via bietenloof toegediende N; De Ruijter, niet gepubliceerd).

	Ammoniak	Denitrificatie
Op oppervlak	8	2
Ingewerkt	0	10

Achterlaten van gewasresten op het land stimuleert nitrificatie en denitrificatie en emissie van N_2O . Het IPCC (2006) houdt hierbij een N_2O -N-emissie aan van 1% van de N-inhoud van de gewasresten. Ditzelfde getal wordt ook gehanteerd voor N uit kunstmest en organische mest. De N_2O -emissie verschilt bij verschillende gewasresten, en is uit bietenloof lager dan uit gewasresten van gerst of erwt (Harrison *et al.*, 2002) en lager dan verschillende koolsoorten of gele mosterd (Velthof *et al.*, 2002). Harrison *et al.* (2002) vonden variatie in N_2O -N emissie tussen meetjaren en inwerktijdstip van 0,17% tot 1,20% met gemiddeld 0,75% emissie van de N-inhoud. Velthof *et al.* (2002) vonden een N_2O -N emissie die kleiner was dan 0.5% van de N-inhoud van bietenblad. Meting van N_2O -emissie kan een maat zijn voor het proces van denitrificatie, maar de meeste N wordt via dit proces omgezet naar N_2 . Er is grote onzekerheid over de verhouding $N_2O/(N_2O+N_2)$ waardoor schattingen voor het totale N-omzetting via denitrificatie sterk uiteen kunnen lopen (Beauchamp, 1997). Voor suikerbieten zijn in de literatuur alleen gegevens bekend waar de emissie van N_2O is gemeten (De Ruijter & Smit, 2007).

N_2O -emissie neemt toe bij toenemend vochtgehalte en afnemend zuurstofgehalte in de bodem (Velthof & Kuikman, 2000). Afvoer van gewasresten leidt tot extra berijding van het land en verdichting van de bodem. De structuur van de bodem en de grondsoort hebben een groot effect op het vochtgehalte en het zuurstofgehalte en daardoor op de microbiële activiteit. Een algemeen effect van structuur op de N_2O -emissie kan echter niet gegeven worden. Globaal kan gesteld worden dat afvoer van het bietenloof een bron voor N_2O -emissie wegneemt en dat de extra berijding van het perceel nauwelijks meer emissie tot gevolg kan hebben omdat er aan het einde van de bietenteelt nagenoeg geen nitraat in de bodem aanwezig is.

Samenvattend

In het voorliggende rapport wordt uitgegaan van niet inwerken van bietenloof op zandgrond en een ammoniakemissie van 8 procent van de N-inhoud. Op kleigrond wordt het bietenloof voor de winter ondergeploegd en zal de ammoniakemissie lager zijn.

N_2O -emissie bedraagt minder dan 1% van de N-inhoud van bietenloof, en afvoer van het bietenloof zal de N_2O -emissie op het perceel verlagen.

2.1.3.2 Emissies van N en K_2O naar grond- en oppervlaktewater

In eerder genoemde veldproef op zandgrond rondom het lot van N uit gewasresten werden metingen verricht aan de afbraaksnelheid van bietenloof, N_{min} in het profiel en N in bodemvocht en grondwater. Eerste uitwerking hiervan laat zien dat 5 tot 15 procent van de N-inhoud van bietenloof uitspoelt naar lagen dieper dan 90 cm, waarbij de uitspoeling iets kleiner lijkt te zijn wanneer het bietenloof bovenop de grond blijft liggen ten opzichte van inwerken. In de proef waren de bieten op 1 november geoogst. Te verwachten valt dat bovengenoemde uitspoeling groter zal zijn wanneer het gewas eerder geoogst wordt, en kleiner is bij latere oogst. Op kleigrond valt ook een kleinere uitspoeling te verwachten.

De relatief lage uitspoelingsverliezen uit bietenloof naar het grondwater sluiten aan bij het beeld dat naar voren komt in literatuur (De Ruijter & Smit, 2007). Er zijn in literatuur geen cijfers van metingen aan nitraatuitspoeling zelf, maar schattingen vanuit Zweeds onderzoek komen op een nitraatuitspoeling van 10-30% van de N in gewasresten (Olsson & Bramstorp, 1994a, 1994b).

Van de K_2O kan ook een deel verloren gaan wanneer het bietenloof op het land achterblijft. K_2O is in het bietenloof voornamelijk in opgeloste vorm aanwezig en zal nagenoeg geheel kort na de oogst beschikbaar komen (Beiss, 1987). Voor zandgrond wordt een vuistgetal voor uitspoeling gehanteerd van 10% van najaarstoegediende K_2O (P.

Wilting, betatip; www.irs.nl). Hierdoor zal er op zandgrond vanuit het bietenloof ongeveer 23 kg K₂O ha⁻¹ uitspoelen. Op kleigrond vindt geen uitspoeling van K₂O plaats.

Samenvattend

In het voorliggende rapport wordt uitgegaan van een nitraatuitspoeling van gemiddeld 10% van de N-inhoud van het bietenloof op zandgrond, en lagere waarden voor kleigrond. Voor K₂O wordt uitgegaan van 10% van de K₂O-inhoud van het bietenloof op zandgrond en 0% op kleigrond. Afvoer van het bietenloof voorkomt deze emissies (op zandgrond 11 kg N en 23 kg K₂O)

2.1.4 Organische stof

Achterlaten van organisch materiaal heeft effect op de voorraad organische stof in de bodem. Het effect op het organische-stofgehalte van de bodem wordt aangegeven via de 'effectieve organische stof' (EOS): de organische stof die na één jaar na toediening nog aanwezig is in de bodem. Van suikerbietenloof bedraagt de EOS 900 kg ha⁻¹, een hoeveelheid vergelijkbaar met die van aardappelen of het stro van graan. De graanstoppel levert nog meer EOS, maar vele andere gewassen hebben een lagere bijdrage (NMI Praktijkids Bemesting, 2000).

De bijdrage van bietenloof aan de totale aanvoer aan EOS op bouwplanniveau hangt af van de samenstelling van het bouwplan en de aanvoer via organische mest. Bij een bouwplan van suikerbieten, aardappelen, wintertarwe + groenbemester en een drijfmestgebruik van 30 ton ha⁻¹ varkensdrijfmest levert het bietenloof 16 procent van de totale aanvoer aan EOS (Tabel 2).

Tabel 2. Overzicht van bijdrage aan effectieve organische stof (EOS; NMI Praktijkids Bemesting, 2000) in een bouwplan met suikerbieten, aardappelen en wintertarwe.

Gewas of mest	Bijdrage aan EOS (kg ha ⁻¹)
Suikerbieten, excl. loof	375
Bietenloof	900
Aardappelen	875
Wintertarwe, excl. stro	1640
Italiaans raaigras	1080
Varkensdrijfmest	600

Wanneer gekeken wordt voor compensatie van de hoeveelheid EOS in bietenloof dan komt dit overeen met 45 ton ha⁻¹ varkensdrijfmest, 27 ton ha⁻¹ runderdrijfmest of bijna 5 ton ha⁻¹ GFT-compost (NMI Praktijkids Bemesting, 2000). Het via organische bemesting compenseren van afvoer van bietenloof brengt echter ook aanvoer van nutriënten met zich mee (Tabel 3). Wanneer het digestaat wordt teruggebracht wordt daarmee ten hoogste 447 kg ha⁻¹ aan organische stof teruggebracht (zie Tabel 6 en Tabel 8).

Tabel 3. *Nutriënteninhoud (kg ha⁻¹) van bietenloof (dit rapport) en verschillende meststoffen (NMI Praktijkgids Bemesting, 2000) bij gelijke bijdrage aan effectieve organische stof (EOS).*

Bron	Hoeveelheid	EOS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Bietenloof	38000	900	110	36	229	44
Varkensdrijfmest	45000	900	324	189	324	81
Runderdrijfmest	27273	900	120	44	169	35
GFT-compost	4918	900	51	22	28	9

2.1.5 Bodemstructuur

Afvoer van bietenloof vergroot de te oogsten biomassa en vraagt daarom extra berijden van het land. Bij de oogst van de bieten zelf heeft bodemstructuur veel aandacht via bandenkeuze en bandenspanning. De bietopbrengst bedraagt 63 tot 74 ton ha⁻¹ (KWIN, 2006) en bij 38 ton ha⁻¹ bietenloof bedraagt het berijden van de grond bij afvoer van biet plus bietenloof ongeveer 150% van het berijden dat plaatsvindt bij alleen oogst van de bieten. Verwacht wordt dat de extra berijding voor afvoer van bietenloof weinig invloed heeft op de bodemstructuur.

Organische stof heeft een effect op de bodemstructuur. Het effect van afvoeren van bietenloof op het organische-stofgehalte speelt pas op de langere termijn, en is afhankelijk van eventuele compensatie met organische mest.

2.1.6 N-overschot en Nmin

Het N-overschot bij de teelt van suikerbiet is relatief laag vergeleken met andere gewassen. Suikerbiet is een gewas dat weinig minerale N bij de oogst achterlaat in het profiel: minder dan 50 kg N ha⁻¹ in de laag 0-90cm (Velthof & Kuikman 2000, refererend naar Corré, 1994; Neeteson, 1990; Prins *et al.*, 1988).

In Telen met toekomst is voor de jaren 2000 t/m 2002 het N-overschot berekend op 12 bedrijven in drie akkerbouwregio's en bij twee bedrijven met boomteelt in Zuidoost Nederland (Tabel 4). Het overschot is berekend als totale aanvoer via meststoffen minus de afvoer via het geoogst product. Het N-overschot van de groepen varieerde tussen 50 en 107 kg N ha⁻¹. In alle gevallen bleef het bietenloof achter op het land. Wanneer het bietenloof afgevoerd zou worden, zou op deze bedrijven het stikstofoverschot op de bietenpercelen gemiddeld 110 kg ha⁻¹ lager zijn en daarmee negatief of nul zijn. Negatieve N-overschotten zijn mogelijk omdat de N die vrijkomt bij mineralisatie van bodemorganische stof niet in de balansberekeningen is meegenomen. De Nmin najaar (0-90 cm) van de groepen bedrijven varieerde tussen de 45 en 60 kg ha⁻¹.

Tabel 4. *N-overschot (kg ha⁻¹) en Nmin najaar (0-90 cm; kg ha⁻¹) van bietenpercelen op bedrijven van Telen met toekomst over de jaren 2000-2002 (uit: De Ruijter & Groenwold, 2004).*

Sector	Grondsoort	Aantal bedrijven	N-overschot	Nmin najaar (0-90 cm)
Akkerbouw zuidwest	Klei	4	86	54
Akkerbouw noordoost	Zand	5	107	60
Akkerbouw zuidoost	Zand	3	50	45
Boomteelt zuidoost	Zand	2	55	-

2.2 Financiële kosten voor de teler

2.2.1 Kosten van afvoer van bietenloof

Aan afvoer van bietenloof bij de oogst van bieten zijn extra kosten verbonden. De hoogte van deze extra kosten is afhankelijk van de huidige oogstwijze. Wanneer het bietenloof afgevoerd wordt hoeft het niet meer verspreid te worden. Eerst in het zwad leggen van het bietenloof en vervolgens oprapen is geen optie omdat hiermee het loof in contact raakt met grond en er grond wordt meegenomen bij het verzamelen van het loof. Grond is nadelig omdat dat bijvoorbeeld in de vergister ophoopt en zo de vergistingcapaciteit verkleint. Verzamelen van het bietenloof kan met een aanpassing van de huidige machines in een bak op de machine of rechtstreeks op een meerrijdende wagen gebracht worden. De bestaande oogstmachines worden uitgerust met een afvoerband die het bietenloof op een meerrijdende wagen brengt. Aanpassing van een bestaande machine zal geld kosten, maar voor nieuwe machines wordt aangenomen dat er geen verschil is in kosten tussen een hakselaar met verspreider en een afvoerband. Voor de afvoerband worden in dit rapport daarom geen kosten gerekend.

De extra kosten voor het opladen en afvoeren van bietenloof bestaan vooral uit personeel en het gebruik van trekker en wagen voor opladen en transport. Bij de berekening van de kosten voor de teler van afvoer van het bietenloof wordt een vergelijkbare systematiek aangehouden als bij de bieten en alleen het afvoeren van het veld berekend. Het vervolg, direct transport naar de vergister of transport na tijdelijke opslag wordt in dit rapport toegerekend aan de vergistinginstallatie (zie 2.3).

Verondersteld wordt dat het opladen van het bietenloof geen of nauwelijks extra tijd kost ten opzichte van de tijd die nodig is om de bieten te rooien en af te voeren. Bij oogst met een bunkerrooier die al rijdend lost kan afwisselend bieten en bietenloof gelost worden. Bij 2-fasen rooien kan een trekker en wagen naast de zwadrooier rijden voor het verzamelen van het bietenloof. KWIN (2006) geeft de volgende taaktijden voor verschillende oogstmethoden:

- suikerbiet rooien met 3-rijige bunkerrooier plus transport 2 personen 4,2 manuren ha⁻¹
- suikerbiet rooien met 6-rijige bunkerrooier plus transport 3 personen 3,3 manuren ha⁻¹
- suikerbiet zwadrooien, 6-rijig 1 persoon 1,3 manuren ha⁻¹

Voor afvoer van het bietenloof is bij een 3-rijige bunkerrooier één trekker en wagen nodig (taaktijd 2,1 uur ha⁻¹), en bij een 6-rijige bunkerrooier zijn twee trekkers en wagens nodig (totale taaktijd 2,2 uur ha⁻¹). Voor het verzamelen van het bietenloof bij 2-fasen rooien zijn er twee trekkers en wagens nodig (totale taaktijd 2,6 uur ha⁻¹). Voor transport in loonwerk geeft KWIN (2006) de volgende mogelijkheden (inclusief arbeid):

- kipwagen; trekker 80-90 kW; 13 ton; uurtarief 67-81
- kipwagen; trekker 100-120 kW; 16 ton; uurtarief 77-95
- kipwagen; trekker 120-150 kW; 25 ton; uurtarief 89-112

Afhankelijk van de oogstmethode en het gebruikte materieel variëren de kosten voor het afvoeren van het bietenloof tussen de €140,- en ruim €300,- per ha.

Als richtbedrag kan een gemiddelde taaktijd van 2,2 uur ha⁻¹ en een uurtarief van €80,- aangehouden worden waardoor direct afvoeren van het bietenloof €176,- ha⁻¹ kost.

2.2.2 Kosten voor meststoffen

Wanneer bietenloof alleen afgevoerd zou worden zijn er voor de teler kosten verbonden aan het terug aanvoeren van de werkzame nutriënten in het bietenloof via (kunst)meststoffen. Prijzen voor kunstmeststoffen waren in het najaar van 2008 hoger dan gemiddeld over 2007 (Tabel 5).

Tabel 5. *Kunstmestprijzen gemiddeld over 2007 en voor de maanden augustus t/m oktober 2008.*

Meststof	Samenstelling	Euro per 100 kg ¹		Euro per kg N, K ₂ O of P ₂ O ₅	
		2007	aug - okt 2008	2007	aug - okt 2008
Kalkammonsalpeter	27% N	23,45	44,88	0.87	1.66
Tripelsuperfosfaat	45% P ₂ O ₅	30,25	92,40	0.67	2.05
Patentkali	30% K ₂ O+10% MgO+42% SO ₃	25,40	63,60	0.85	2.12

¹ *Verbruikersprijs in euro per 100 kg bij levering 8 ton in bulk, franco boerderij, incl. BTW (bron: LEI).*

Bij 30 kg N ha⁻¹ nawerking, 36 kg P₂O₅ en 206 (=0,9x229) kg K₂O en bij prijzen van najaar 2008 kost een eventuele compensatie van nutriëntenafvoer met bietenloof de teler bijna €550,- ha⁻¹. Bij gemiddelde prijzen van 2007 zou dat €225,- ha⁻¹ bedragen.

2.2.3 Kosten voor uitrijden vloeibaar digestaat

Wanneer het digestaat wordt gebruikt als meststof brengt dat kosten met zich mee voor transport van vergister naar het akkerbouwbedrijf en voor het toedienen van het digestaat. Wanneer het digestaat bij het bedrijf beschikbaar is, geeft KWIN (2006) voor het uitrijden van drijfmest of digestaat de volgende mogelijkheden:

- bemestertank excl. bemester; trekker 150-180 kW; 12 m³; uurtarief 99-121
 - zodebemester 7,2 m; uurtarief 18-28
 - bouwlandbemester; uurtarief 8-12

De taaktijd voor bemesten met een vacuümtank van 12 m³ bedraagt 1,9 uur. Hiermee komen de kosten voor het uitrijden op 203 tot 283 euro ha⁻¹.

2.3 Transport en opslag van bietenloof en mogelijke emissies

Een deel van het bietenloof kan direct vergist worden, maar een deel zal ook opgeslagen moeten worden om buiten de oogstperiode van de bieten ook invoer voor de vergister te hebben. Bij bewaring van bietenloof kan er veel vocht uit de hoop lekken. Dit treedt vooral op tijdens de eerste 10 dagen na oogst en is na 20 dagen vrijwel afgelopen (Ratschow & Uppenkamp, 1990). De hoeveelheid leksap die vrijkomt varieert van 150-250 liter per ton bietenloof (Van Dijk, 1993) tot zelfs 320-410 liter per ton bietenloof (Salo, 1978). Gezien de voorzieningen die nodig zijn om dergelijke hoeveelheden leksap op te vangen is opslag van bietenloof op de boerderij geen optie. Het bietenloof dient daarom opgeslagen te worden in centrale opslagplaatsen met voorzieningen voor het opvangen van leksap en waar een grote hoeveelheid bietenloof uit de regio verzameld wordt. Doordat het sap snel zuur wordt zijn emissies van N minimaal. Wel dient aandacht besteedt te worden aan het materiaal waarvan de voorzieningen gemaakt zijn omdat het zuur bijvoorbeeld beton aan kan tasten. Conservering van het bietenloof zal snel gebeuren. Onder het eigen gewicht wordt de lucht er eenvoudig uitgedrukt en de pH is binnen enkele dagen ver genoeg gedaald voor conservering. Emissies van N zullen daarom beperkt zijn.

Tijdens de bietenoogst kan het afgevoerde bietenloof direct worden getransporteerd naar de vergister of verzamelplaats of tijdelijk op een hoop worden gelegd op of nabij het perceel, vergelijkbaar aan de bieten. Deze hoop met bietenloof kan niet lang blijven liggen om emissies van sap en nutriënten uit de hoop te voorkomen. Binnen enkele dagen zal de hoop beginnen te lekken. De snelheid hangt af van de mate van kneuzing van het blad, het vochtgehalte, de hoogte van de hoop en de temperatuur. Wat kritische grenzen zijn voor het voorkomen van emissies van

leksap uit zal nader onderzocht moeten worden om de logistiek van verzamelen van bietenloof op af te kunnen stemmen en om mogelijke regelgeving in te kunnen vullen.

De transportafstand van boerderij naar vergister wordt bepaald door de ligging van het bedrijf in het dekkingsgebied van de vergister. Voorzien zijn vergisters waarvan het dekkingsgebied een straal heeft van 25 km en de gemiddelde transportafstand van boerderij naar vergister ongeveer 15 km bedraagt. Een alternatief is om minder vergisters te bouwen, maar wel verspreid opslagplaatsen voor het bietenloof aan te leggen. De kosten voor transport van boerderij naar opslagplaats en vergister worden toegeschreven aan de vergister en in dit rapport niet verder uitgewerkt.

Wanneer bietenloof direct van het veld naar de vergister wordt gebracht zullen er geen emissies van N optreden. Als het loof eerst op een hoop op of naast het veld wordt opgeslagen zullen de verliezen waarschijnlijk ook klein zijn wanneer het binnen één of twee dagen wordt opgehaald. Wanneer deze hoop op een verharde ondergrond ligt kan vrijwel al het bietenloof meegenomen worden. Wanneer het op het perceel ligt zal er een klein laagje van de hoop achterblijven op het land om meenemen van aanhangende grond met het bietenloof te voorkomen. Dit geeft beperkte emissies.

Langere opslag van bietenloof op een hoop geeft uittreden van sap. In een opslag met goede voorzieningen kan dit sap opgevangen worden en volledig gebruikt worden in de vergister. Het perssap is snel zuur (pers. med. J. Raap, CFTC) waardoor N-verliezen vrijwel niet optreden. Ook het bietenloof op de hoop verzuurt snel waardoor het materiaal geconserveerd wordt en omzettingsverliezen van C tijdens dit conserveringsproces klein zullen zijn.

Gasvormige emissies van stikstof vanuit de hoop zullen beperkt zijn. Denitrificatie speelt geen rol door afwezigheid van nitraat. Ook ammoniakemissie zal verwaarloosbaar klein zijn. Wanneer bietenloof op het land blijft liggen, emitteert er een deel van de N-inhoud als ammoniak (Tabel 1). Deze emissie begint zeven tot tien dagen na de oogst (Hoofdstuk 2.1.3.1). Bij opslag op een grote hoop is ammoniakemissie alleen te verwachten van het materiaal bovenop de hoop, en bij regelmatige aanvulling met nieuw bietenloof zal dat gering zijn. Tevens is de hoeveelheid bietenloof dat in contact is met de lucht verwaarloosbaar klein ten opzichte van de inhoud van de hoop.

Een optie die momenteel in ontwikkeling is, is om een bietenrooier te voorzien van een hamermolen en een pers (Engwerda, 2008). De hamermolen slaat het loof tot een brij en de pers haalt het water uit de brij tot een loofmassa met een gehalte van ca. 24% droge stof overblijft. Het loof kan vervolgens ingekuuld worden zonder dat daar nog sap uit lekt. Het sap uit het loof kan gebruikt worden om de pas gerooide bieten schoon te spoelen. Deze optie heeft echter als nadeel dat een aanzienlijk deel van de nutriënten en van de organische stof uit het bietenloof op het land achterblijft: uit proefresultaten van PRI blijkt dat na fijnmalen van bietenblad en stevig persen 50% perssap en 50% perskoek ontstaat, waarbij het perssap een derde van de N-inhoud en een kwart van de drogestof bevat (pers. med. B. Rutgers, PRI). Deze optie wordt daarom (voorlopig) buiten beschouwing gelaten.

Samenvattend

Om verliezen via leksap te voorkomen kan bietenloof op zijn hoogst enkele dagen op of naast het perceel op een hoop opgeslagen worden. Snel transport naar de vergister en/of een centrale opslag met opvangvoorzieningen kan emissies via leksap voorkomen. Gasvormige emissies zijn beperkt bij opslag op een hoop.

2.4 Vergisting, verwerking digestaat en mogelijke emissies

2.4.1 Gasopbrengst en afbraak organische stof

Literatuurwaarden voor gasopbrengsten uit suikerbietenblad variëren van 0,23 - 0,39 m³ CH₄/kg organische stof (Zauner en Küntzel, 1986; Keymer, 2002: beide geciteerd door Kool *et al.*, 2005). Berekeningen met een model (Keymer & Schilcher, 1999) vanuit de chemische samenstelling van het suikerbietenblad komen uit op een waarde van 0,32-0,34 m³ CH₄/kg organische stof (Kool *et al.*, 2005). In een pilot opstelling van de suikerindustrie voor vergisting van bietenloof wordt ook een gasproductie van ongeveer 0,33 m³ CH₄/kg organische stof gevonden (pers. med. J. Raap, CFTC).

Bij covergisting van dierlijke mest met energiegewassen, gewasresten of producten uit de levensmiddelenindustrie wordt tot 80% van de organische stof afgebroken (Kool *et al.*, 2005). Afbraak van organische stof van toegevoegde producten is hoger dan de afbraak van organische stof uit dierlijke mest. Een verklaring hiervoor is dat bij dierlijke mest een deel van de organische stof al is afgebroken in de magen van de dieren en er dus relatief veel moeilijk afbreekbaar materiaal aanwezig is. Hoge afbraak van organische stof wordt ook gevonden bij vergisting van groenteresten (www.ecofuels.nl) en in de pilotopstelling van de suikerindustrie (pers. med. J. Raap, CFTC). Voor vergisting van bietenloof wordt in het voorliggende rapport een afbraak van 90% van de organische stof aangehouden.

Door afvoer van het gas neemt het gewicht in de vergister af en ontstaat er minder digestaat dan dat er via het bietenloof is aangevoerd. Bij afbraak wordt organische stof omgezet naar CH₄ en CO₂. De samenstelling van eenvoudige suiker, zoals glucose en fructose, is C₆H₁₂O₆ en bij afbraak wordt er 50% CH₄ en 50% CO₂ gevormd. Bij afbraak van polysachariden wordt er via hydrolyse een enkelvoudig suikermolecuul van de keten afgesplitst onder opnemng van water. Ook hierbij wordt er 50% CH₄ en 50% CO₂ gevormd, waarbij 90% van het gewicht afkomstig is van de polysachariden, en 10% van het water. Voor berekening van het gewichtsverlies wordt uitgegaan van 10% water dat nodig is voor de hydrolyse. Niet alle gevormde CO₂ komt in de gasfase, een deel blijft opgelost in de waterfase. De hoeveelheid hiervan wordt geschat vanuit de oplosbaarheid van CO₂ van 1,45 g/liter water. De 38000 kg ha⁻¹ bietenloof neemt daardoor bij vergisting af tot ruim 33600 kg ha⁻¹ met daarin iets minder dan 5% drogestof, het merendeel als as (Tabel 6).

Samenvattend

Bij vergisting breekt 90% van de organische stof af en levert 0,33 m³ CH₄/kg organische stof. Per hectare ontstaat vanuit 38 ton bietenloof 33,6 ton digestaat met bijna 5% drogestof en 450 kg organische stof.

Tabel 6. *Kentallen en berekening van de gewichtsafname van bietenloof tijdens vergisting.*

Parameter	Waarde	Eenheid	Relatief (%)
A bietenloof (zie Bijlage I)	38000	kg ha ⁻¹	100
B drogestofgehalte (zie Bijlage I)	14,7	%	
C asgehalte in drogestof (zie Bijlage I)	20	%	
D organische stof in drogestof (1-C)	80	%	
E afbraakpercentage (zie Hoofdstuk 2.4.1)	90	%	
F drogestof (A x B)	5586	kg ha ⁻¹	
G organische stof (F x D)	4469	kg ha ⁻¹	
H afgebroken organische stof (E x G)	4022	kg ha ⁻¹	
I CH ₄ +CO ₂ -productie (H+10% water)	4424	kg ha ⁻¹	
J CO ₂ in waterfase (1,45 g/liter bij 25°C)	46	kg ha ⁻¹	
K gasproductie (I-J)	4378	kg ha ⁻¹	12
L resterend gewicht (A - K), waarvan:	33622	kg ha ⁻¹	88
as	1117	kg ha ⁻¹	3,3
organische stof	447	kg ha ⁻¹	1,3
CO ₂ (J)	46	kg ha ⁻¹	0,1
water	32012	kg ha ⁻¹	95,2

2.4.2 Digestaat en mogelijke bewerkingen

Het digestaat is dus een waterige oplossing met weinig drogestof (zie 2.4.1). Vrijwel alle nutriënten die in het materiaal zaten dat in de vergister is gevoerd zijn nog aanwezig in het digestaat. Van de stikstof in het aangevoerde materiaal kan een deel omgezet worden in N_2 en als gas uit de reactor verdwijnen¹. Daarnaast kan het gas kleine hoeveelheden ammoniak en zwavelwaterstof bevatten. Deze verliezen zijn echter minimaal.

Voor verdere verwerking kan het digestaat onbewerkt als meststof worden gebruikt, of het kan één of meerdere bewerkingsstappen ondergaan. Zonder bewerking het digestaat opslaan vraagt een grote opslagcapaciteit. Ander nadeel aan onbewerkt gebruiken en toedienen met een mestinjecteur is de transportkosten. Digestaat van bietenloof heeft iets lagere nutriëntenconcentraties vergeleken met drijfmest (Tabel 7) waardoor het raadzaam lijkt om het digestaat eerst te bewerken voordat de nutriënten worden hergebruikt. Digestaat van bietenloof is geen dierlijke mest, maar de verwerking ervan kan op dezelfde wijze plaatsvinden als bij dierlijke mest. De verwerking van dierlijke mest is momenteel sterk in ontwikkeling. In 2009 kan een tiental pilots starten waarin dierlijke mest wordt verwerkt tot mineralenconcentraat waarbij gebruik gemaakt wordt van ultrafiltratie of een gelijkwaardige industriële techniek gevolgd door omgekeerde osmose (www.minInv.nl/loket).

Voor verwerking van het digestaat zijn verschillende opties mogelijk waarbij ook verschillende zuiveringsstappen toegepast kunnen worden. In het voorliggende rapport wordt volstaan met een korte beschrijving van de mogelijkheden voor verwerking:

- *Zeven, filtreren en omgekeerde osmose*

Verwerking van het digestaat kan bestaan uit het uitzeven van grotere delen en scherpe (zand)deeltjes, gevolgd door microfiltratie of ultrafiltratie. De gezeefde fractie en het concentraat dat bij ultrafiltratie verkregen wordt bevatten organische stof dat (eventueel bewerkt) teruggevoerd kan worden naar de vergister om het vergistingrendement te verhogen. Na scheiding blijft er een vaste fractie over die grotendeels bestaat uit bodemdeeltjes, een concentraat van de ultrafiltratie dat het merendeel van het fosfaat bevat, en een concentraat van de omgekeerde osmose dat het merendeel van de stikstof en kalium bevat. Het permeaat van de omgekeerde osmose bedraagt ongeveer de helft van het uitgangsvolume (Lamers, 2007) en dit water kan op het riool of oppervlaktewater geloosd worden. De concentraten kunnen als zodanig gebruikt worden als vloeibare meststof.

- *Verwijderen van fosfaat en stikstof, en lozen van het restproduct*

Naast filtratie en concentratie kan ook fosfaat en stikstof uit het digestaat verwijderd worden door magnesium toe te voegen en de pH te verhogen (Melse *et al.*, 2004). Hierbij ontstaat een neerslag van struviet: magnesiumammonium-fosfaat ($MgNH_4PO_4$). Fosfaat kan ook teruggewonnen worden als kaliumstruviet ($KMgPO_4$). Dit proces wordt gebruikt door de kalvergierbewerkingsinstallatie van de Stichting Mestverwerking Gelderland (Reitsma & Kuipers, 2005).

De stikstof kan verwijderd worden door het digestaat te beluchten waarbij de ammoniumstikstof via nitrificatie omgezet wordt in nitraat (Melse *et al.*, 2004). In een volgende stap wordt onder anoxische omstandigheden het nitraat omgezet in N_2 dat de lucht in gaat (denitrificatie). Voor denitrificatie is een organische koolstofbron nodig (bijv. melasse). Na denitrificatie dient de gevormde biomassa gescheiden te worden van het vloeibare deel dat, afhankelijk van de waterbeheerder, geloosd kan worden op het riool of oppervlaktewater. Dit vloeibare deel bevat vrijwel geen N en P meer, maar nog wel verschillende nutriënten, waaronder veel K_2O . Tijdens de denitrificatie ontstaat ook N_2O en een goede procesbewaking en -sturing is vereist om emissies van N_2O te voorkomen.

- *Overige mogelijkheden*

In het verleden is mest bewerkt met stappen waarbij het product werd ingedampt of gedroogd. Deze stappen zijn te duur gebleken en kosten relatief veel energie. Voor vergisting met als doel energieproductie zijn deze technieken daarom niet haalbaar.

¹ Wanneer het aangevoerde bietenloof nitraat bevat kan dit in de vergister omgezet worden naar N_2 . De hiermee gepaarde N-verliezen zijn echter klein. In proeven van Plant Research International was het nitraatgehalte te verwaarlozen (proef 2007) of een hoeveelheid van $0,13 \text{ kg ton}^{-1}$ vers (3% van de totale N-inhoud; proef 1997).

Bovenstaande beschrijving van verwerkingsopties is verre van volledig en het verdient aanbeveling deze in meer detail uit te werken. Hierbij kunnen de alternatieven vergeleken worden op energie-efficiëntie, nutriëntenstromen en financiële kosten, rekening houdend met het totale landbouwsysteem inclusief kunstmestproductie.

2.4.3 Toepassing van digestaat

Het digestaat zoals gevormd bij de vergisting is een waterige oplossing van nutriënten met een restant aan organische stof en kleine hoeveelheden as. De samenstelling van het digestaat kan berekend worden uit de nutriënteninhoud van het bietenloof, waarbij het afbraakpercentage van 90% (Tabel 6) de verdeling over $\text{NH}_4\text{-N}$ en organisch N bepaalt.

Bij vergelijking van de samenstelling van het digestaat van bietenloof zoals berekend met de samenstelling van varkens- en runderdrijfmest (Tabel 7) valt vooral het lage organische-stofgehalte van het digestaat op, met daaraan gekoppeld het lage gehalte organische gebonden N. De gehalten P_2O_5 , N-totaal, K_2O en MgO verschillen niet veel van die van runderdrijfmest maar zijn wel lager dan die van varkensdrijfmest.

Na bewerking kunnen producten verkregen worden die minder water bevatten en dus hogere concentraties aan nutriënten (zie 2.4.2).

Tabel 7. *Vergelijking van de samenstelling van digestaat van bietenloof (dit rapport) met varkens- en runderdrijfmest (Van Dijk, 2003) in kg ton^{-1} product.*

	Digestaat bietenloof	Varkensdrijfmest	Runderdrijfmest
Drogestof	47	90	96
As	33	30	32
Organische stof	13	60	64
P_2O_5	1,1	4,2	1,6
N	3,3	7,2	4,4
$\text{NH}_4\text{-N}$	2,9	4,2	2,2
Norg-N	0,3	3	2,2
K_2O	6,8	7,2	6,2
MgO	1,3	1,8	1,3

Bij toediening van het digestaat emitteert er ammoniak, waarbij de hoeveelheid ammoniakemissie afhangt van de wijze van toediening en het gehalte ammoniakale N ($\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NH}_3\text{-N}$). Voor drijfmest zijn gegevens beschikbaar over het percentage van de N dat als ammoniak emitteert bij verschillende toedieningwijzen (Huijsmans, 2003). In vergelijking met drijfmest kan ammoniakemissie vanuit digestaat lager zijn doordat het sneller in de bodem wordt opgenomen vanwege het lagere drogestofgehalte. Het kan echter ook hoger zijn vanwege het hogere gehalte $\text{NH}_4\text{-N}$ en de hogere pH. In dit rapport wordt uitgegaan van vergelijkbare emissiepercentages als van drijfmest. Bij uitrijden op bouwland emitteert 2% van de $\text{NH}_4\text{-N}$ bij diep inwerken (injecteren), en 17% bij oppervlakkig inwerken. Toediening in tarwe of graszaad gaat analoog aan dat in grasland, waarbij zodebemesting een emissie heeft van 6% en sleepvoeten van 20% (Huijsmans, 2003).

2.5 Energieopbrengst en energiekosten

Het voorliggende rapport legt de nadruk bij nutriëntenstromen en besteedt beperkt aandacht aan energie.

De energieopbrengst kan berekend worden vanuit de hoeveelheid bietenloof en de gasproductie en bedraagt per hectare bietenloof 1327 m³ CH₄. Deze gasproductie is berekend via vermenigvuldiging van:

- 38 ton/ha bietenloof (zie 2.1.1 en Bijlage I)
- 14.7% drogestof (zie 2.1.1 en Bijlage I)
- 80% organische stof (20% as; zie 2.1.1 en Bijlage I)
- 90% afbraak van organische stof (zie 2.4.1)
- 0,33 m³ CH₄/kg organische stof (zie 2.4.1)

Energiekosten worden in dit rapport niet verder gedetailleerd en uitgegaan wordt van berekeningen van Corré & Langeveld (2008) aan de energiebalans voor vergisting van bietenloof. Een deel van de geproduceerde energie wordt gebruikt voor zaken als verzamelen van te vergisten materiaal en voor het vergistingsproces, zodat het rendement van de productieketen lager is dan 100%. Corré & Langeveld (2008) komen op een rendement van 81% bij vergisting van bietenloof. Wanneer het gas gezuiverd zou worden voor levering aan het aardgasnet dan kost dit ook energie en zou het rendement tot ongeveer 70% verlaagd worden.

Vooraf rondom de energiekosten valt er veel te differentiëren en de uitkomst van berekeningen aan het energierendement hangt af van de uitgangspunten. Zo spelen type en grootte van de installatie een rol, evenals transportafstanden. Ook de verschillende mogelijkheden voor verwerking van digestaat en toepassing ervan hebben elk hun eigen energiebehoefte. Dit wordt in het voorliggende rapport niet gekwantificeerd. In Hoofdstuk 3.2 wordt wel op kwalitatieve wijze ingegaan op het totale plaatje rondom energieopbrengst en -kosten. Het verdient aanbeveling dit onderdeel in meer detail uit te werken en te onderbouwen bij de keuze voor de uiteindelijk op te zetten vergistingsketen.

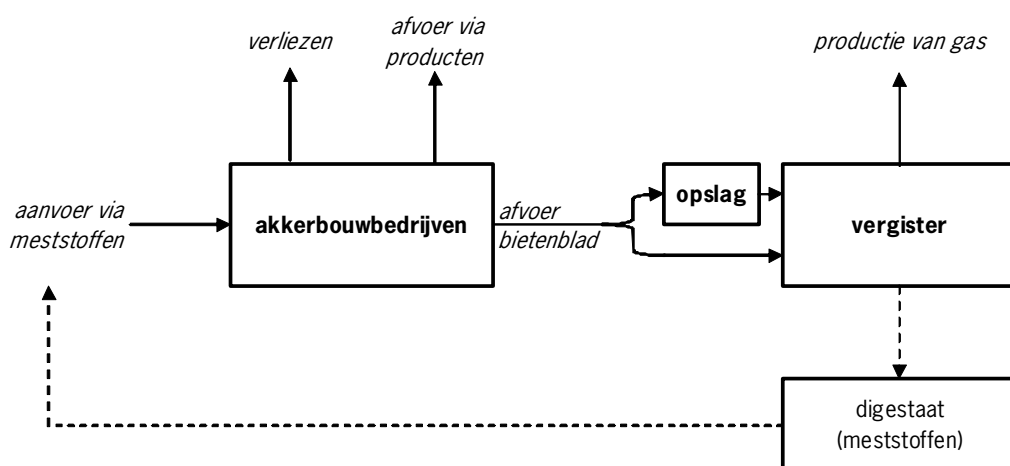
3. Vergelijking geen afvoer van bietenloof met afvoer+vergisting

Om het effect van het afvoeren en vergisten van bietenloof te beschrijven dient naar het totale plaatje gekeken te worden van: bemesting → afvoer bietenloof → eventuele opslag → vergisting → eventuele verwerking van digestaat → gebruik digestaat (Figuur 1). Het voorliggende rapport gaat over het effect van al dan niet afvoeren van bietenloof. Op de bemesting van bieten wordt daarom niet verder ingegaan omdat dat in de vergelijking nauwelijks een rol speelt. Rondom de verschillende aspecten is in Hoofdstuk 2 per afzonderlijk punt in detail ingegaan en zijn onzekerheden en ranges weergegeven. In Hoofdstuk 3 wordt gebruik gemaakt van gemiddelden en enkele aandelen om een helder beeld van het geheel te kunnen schetsen.

3.1 Het totale plaatje - nutriëntenkringloop

Wanneer het bietenloof wordt afgevoerd van het perceel emiteert daar geen ammoniak en lachgas meer, en wordt nitraatuitspoeling naar grondwater voorkomen. Wanneer het bietenloof rechtstreeks van het veld de vergister in gaat treden er geen emissies op tussen afvoer en vergisting. In geval van tussentijdse opslag wordt in deze berekening uitgegaan van een wijze waarbij geen nutriëntenverliezen optreden: het leksap wordt opgevangen en gebruikt in de vergister, en wanneer de opslag gevuld is wordt deze afgedekt zodat emissies naar de lucht minimaal zijn. Ook tijdens de vergisting treden vrijwel geen verliezen aan nutriënten op. Nitraat kan in de vergister omgezet worden tot stikstofgas, maar dit is te verwaarlozen omdat het nitraatgehalte van bietenloof laag is. Het digestaat bevat dus alle nutriënten die via het bietenloof de vergister zijn ingegaan. De concentratie is iets hoger geworden, vooral uitgedrukt op basis van drogestof, omdat er CH_4 en CO_2 als biogas is afgevoerd. Wanneer de nutriënten uit bietenloof in gelijke hoeveelheden via digestaat worden teruggebracht naar het perceel is de cirkel voor die nutriënten rond. Gedurende de winterperiode zijn ze immers niet vatbaar geweest voor uitspoeling.

Om de vergelijking tussen wel en niet afvoeren van bietenloof zo eenvoudig mogelijk te houden kan gesteld worden dat het volledige digestaat teruggevoerd wordt naar de bedrijven die bietenloof leveren. De nutriënten zijn in dat geval alleen tijdelijk van het bedrijf af geweest.



Figuur 1. Overzicht van de nutriëntenstromen (incl. een deel van de organische stof) op akkerbouwbedrijven bij afvoer en vergisting van bietenloof.

Bij het terugbrengen van het digestaat naar de akkerbouwbedrijven wordt uitgegaan van bemesting in het voorjaar. Op zandgrond is dit goed mogelijk, en ook op kleigrond is voorjaarstoediening inzetbaar in bijvoorbeeld aardappelen (Slabbekoorn & Dekker, 2008) en granen (Dekker & Paauw, 2002). Voorjaarstoediening op kleigrond vraagt echter wel een goede logistiek omdat de perioden met gunstige weersomstandigheden meestal beperkt zijn. Najaars-toediening is mogelijk voorafgaand aan een groenbemester.

Voor gebruik van het volledige digestaat is een grote opslagcapaciteit gedurende de winter nodig. Om het volume te verkleinen kan het digestaat daarom bewerkt worden (zie 2.4.2). In deze paragraaf wordt uitgegaan van de huidige werkwijze waarbij fosfaat en een deel van de stikstof als struviet wordt teruggewonnen, samen met de organische restfractie. Dit product is eenvoudig verhandelbaar, maar voor de vergelijking wordt uitgegaan van gebruik op de bedrijven die bietenloof leveren.

Tabel 8 geeft een kwantitatieve vergelijking tussen:

- achterlaten van het bietenloof op het land
- afvoer van bietenloof, vergisting en gebruik digestaat voor het volggewas
- afvoer van bietenloof, vergisting, zuivering van het digestaat en gebruik van het product voor het volggewas

In de vergelijking tussen wel en niet afvoeren en vergisten van bietenloof liggen de grootste verschillen in werking en emissies van N, en voor een deel bij K_2O en organische stof. Fosfaat is ook in de tabel opgenomen, met een gelijke hoeveelheid fosfaat bij de opties. De werking van fosfaat gaat grotendeels via het bodemcomplex waardoor de verschillen tussen de opties klein zullen zijn. Een voordeel kan wel zijn dat de teler door het afvoeren en vergisting van bietenloof het fosfaat via het digestaat in handen heeft en gericht kan toedienen.

Een toelichting op deze getallen wordt onder de tabel gegeven. De getallen rondom N bij achterlaten van bietenloof zijn deels bepaald op zandgrond. Voor kleigrond zal de nitraatuitspoeling lager zijn, en denitrificatie hoger. Door het bietenloof te vergisten en het digestaat op een geschikt tijdstip toe te dienen kan er tot 56 kg N ha^{-1} worden bespaard op kunstmestgebruik. Op zandgrond is er ook een kleine besparing op K_2O mogelijk. Zuivering van het digestaat tot een vaste fractie met struviet en organische stof maakt dat er minerale N uit het systeem verdwijnt en er 25 kg N ha^{-1} extra nodig is uit kunstmest of andere mest om het verlies aan nawerking uit het bietenloof te compenseren. De emissie van ammoniak neemt met 9 kg ha^{-1} af door het bietenloof af te voeren en te vergisten. Bij gebruik van het totale digestaat emitteert er weer iets waardoor de netto afname 5 kg ha^{-1} wordt. Wanneer het digestaat goed als meststof ingezet kan worden daalt ook de nitraatuitspoeling met maximaal 11 kg N ha^{-1} . De aanvoer aan organische stof daalt door het bietenloof af te voeren en te vergisten. De aanvoer aan effectieve organische stof wordt meer dan gehalveerd bij vergisting, maar op rotatieniveau is het verschil echter klein en het is de vraag of dit merkbare gevolgen heeft binnen de gehele rotatie.

Tabel 8. *Vergelijking van het achterlaten van bietenloof op het perceel met afvoer, vergisting en hergebruik. Hoeveelheden in kg ha⁻¹jaar⁻¹ (toelichting onder de tabel).*

	Achterlaten bietenloof	Afvoer bietenloof, vergisting en gebruik digestaat voor volggewas		Afvoer, vergisting, zuivering digestaat en gebruik struviet en resterende organische stof	
Stikstof			<i>effect</i>		<i>effect</i>
- N-werking volggewas	30	86	+56	5	-25
- 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 ₂ O-uitspoeling	9 (0 op klei)	0	-9	<i>niet op perceel</i>	<i>pm</i>
Effectieve organische stof	900	<447	-453	<447	-453

Toelichting op de getallen in Tabel 8. Bij vergisting breekt 90% van de organische stof af. Bij deze afbraak zijn er omzettingen geweest van bietenloof naar bacteriële biomassa waardoor de C/N-verhouding is veranderd. Als wordt uitgegaan van een C-gehalte van 58% en een C/N van 13 dan bevat de resterende organische stof 20 kg N, en is er 90 kg N in minerale vorm vrijgekomen. Een klein deel emitteert als ammoniak bij toediening van het digestaat en is niet werkzaam voor het gewas. In Tabel 8 is een emissie van 4% van de minerale N genomen als gemiddelde van 6% bij zodebemesting en 2% bij bouwlandinjectie. Er blijft dan nog 86 kg ha⁻¹ werkzaam voor het gewas. Struviet als MgNH₄PO₄ bevat 5 kg N ha⁻¹. Ammoniakemissie uit gewasresten bij achterlaten van het bietenloof op het land in het najaar is gemeten op zandgrond. Op kleigrond zal het bietenloof relatief snel ondergewerkt worden waardoor de ammoniakemissie lager is en denitrificatie hoger wordt. Denitrificatie is bij gebruik van digestaat als pro-memoriepost opgenomen. Doordat er nauwelijks meer organische stof in het digestaat aanwezig is en nitraat in onbehandeld digestaat in principe afwezig is zal er nauwelijks denitrificatie optreden bij toediening van het digestaat. N resterend in organische stof is berekend vanuit 900 kg ha⁻¹ effectieve organische stof met een C-gehalte van 58% en een C/N van 13. In het digestaat is 10% van de organische stof niet afgebroken. Deze niet-afgebroken organische stof is vrij stabiel, en verondersteld wordt dat daarvan niet veel afbreekt kort na toedienen en daarom vergelijkbaar is met EOS. Er kan nitraat uitspoelen na toediening van het digestaat. In de tabel is uitspoeling op nul gesteld omdat het digestaat kunstmest vervangt. De mogelijkheden om uitspoeling te voorkomen zijn bij kunstmest echter iets groter dan bij digestaat, dus waarschijnlijk leidt gebruik van digestaat in plaats van kunstmest tot een iets hogere N-uitspoeling in het volggewas, dit ten koste van de N-werking. Het totaal van alle N-posten bedraagt 110 kg ha⁻¹. Bij achterlaten van bietenloof is een deel van de N niet benoemd. Waarschijnlijk mineraliseert er meer dan de 30 kg ha⁻¹ die gerekend is als benutbaar voor het volggewas en moet deze niet benoemde post ook tot N-werking, nitraat-uitspoeling en/of denitrificatie gerekend worden.

Samenvattend

Afvoeren van bietenloof, vergisten en gebruik van digestaat geeft een besparing tot 56 kg ha⁻¹ op het gebruik van kunstmest-N en verlaagt emissies van NH₃ naar de lucht met 5 kg ha⁻¹ en emissies van NO₃ naar het grond- en oppervlaktewater met 11 kg ha⁻¹.

Zuivering van het digestaat tot struviet en resterende organische stof verlaagt de N-werking met 25 kg ha⁻¹ waardoor meer N nodig is uit andere bronnen. Emissie van NH₃ naar de lucht wordt verlaagd met 9 kg ha⁻¹, van NO₃ naar het grondwater met 11 kg ha⁻¹.

Aanvoer aan effectieve organische stof wordt door de vergisting meer dan gehalveerd.

3.2 Het totale plaatje - opbrengst en kosten - energie en financieel

Vergisting van bietenloof geeft omgerekend per hectare 1327 m³ CH₄ (zie 2.5). Corré & Langeveld (2008) hebben het totale plaatje eerder doorgerekend aan de hand van vergelijkbare kentallen en kentallen voor het vergistingsproces. Een deel van de energie die verkregen wordt bij vergisting is nodig voor dit proces, en voor het afvoeren van het veld en transport van het bietenloof. Zij kwamen op een rendement van 81% bij vergisting van bietenloof.

Uitgangspunten bepalen in belangrijke mate de uitkomst van berekeningen. Type en grootte van de installatie spelen hierbij een rol, evenals transportafstanden. Corré & Langeveld (2008) hebben rondom het bietenloof, afbraak en gasopbrengst vergelijkbare uitgangspunten gehanteerd als in het voorliggende rapport zodat uitgegaan kan worden van hun conclusie dat vergisting van bietenloof een ruim positief rendement geeft.

Bij hun berekeningen hebben Corré & Langeveld (2008) aangegeven dat productie en gebruik van digestaat kunstmest bespaart, maar dat daar energiekosten voor transport en toediening tegenover staan. Dit onderdeel hebben ze in hun berekeningen niet verder uitgewerkt, en wordt in het voorliggende rapport ook niet verder gedaan. Voor uiteindelijke optimalisering van het proces is het wel nodig, waarbij zowel de energiekosten als de financiële kosten voor verschillende aspecten naast elkaar gezet dienen te worden. Hierbij kan gekeken worden naar de uitruil tussen gebruik van digestaat (met kosten voor bewerking, transport, toediening) en gebruik van kunstmest (met kosten voor productie, aankoop en toediening). Het effect op emissies kan in deze vergelijkingen ook worden meegenomen.

Rondom de vraag of er via filtratie en omgekeerde osmose water uit het digestaat gehaald moet worden kunnen bijvoorbeeld de meerkosten voor filtratie en concentratie afgezet worden tegen de kostenafname voor transport en toediening. Of wanneer het digestaat gezuiverd wordt kan de energiebesparing op transport vergeleken worden met de kosten voor productie en gebruik van kunstmest.

Een goede vergelijking van verschillende opties van bewerking van het digestaat vraagt een uitgebreidere studie. In het onderstaande worden een paar opties weergegeven waarbij de vergelijking onvolledig is en kwalitatief:

Gebruik van digestaat zoals het is:

- Hoge transportkosten (energie en financieel) voor waterrijk product
- Opslagcapaciteit nodig voor digestaat tot in voorjaar
- Concurrentie met drijfmest (mestmarkt, en afzetkosten)
- Alle elementen zitten erin: geen verlies aan meststoffen
- NH₃-emissie ca. 2% van de N-inhoud

Gebruik van concentraat ten opzichte van digestaat zoals het is:

- Extra energiekosten voor indikken
- Extra membraankosten
- Minder opslagcapaciteit nodig
- Minder transportkosten (energie- en financieel) vanwege kleiner volume
- Iets minder kosten voor toediening (energie- en financieel) vanwege kleiner volume

Zuivering (tot vast fosfaatrijk deel, verwijdering N via beluchting/anoxie en lozen restwater) ten opzichte van digestaat zoals het is:

- Proceskosten van zuivering
- Toevoeging elementen voor uitvlokking fosfaat (dit kan bij gebruik van het fosfaatrijke deel weer een besparing geven op Mg-meststoffen)
- Risico op N₂O bij denitrificatie (goede procesbeheersing belangrijk)
- Minimale opslagcapaciteit nodig voor digestaat
- Verliezen uit het landbouwsysteem aan andere nutriënten (m.n. K₂O) bij lozing van restwater
- Minimale transportkosten
- Extra productie van kunstmest-N nodig

- Struviet geeft fosfaat die te strooien en te plaatsen is
- Extra kosten teler voor aankoop van meststoffen (financieel)

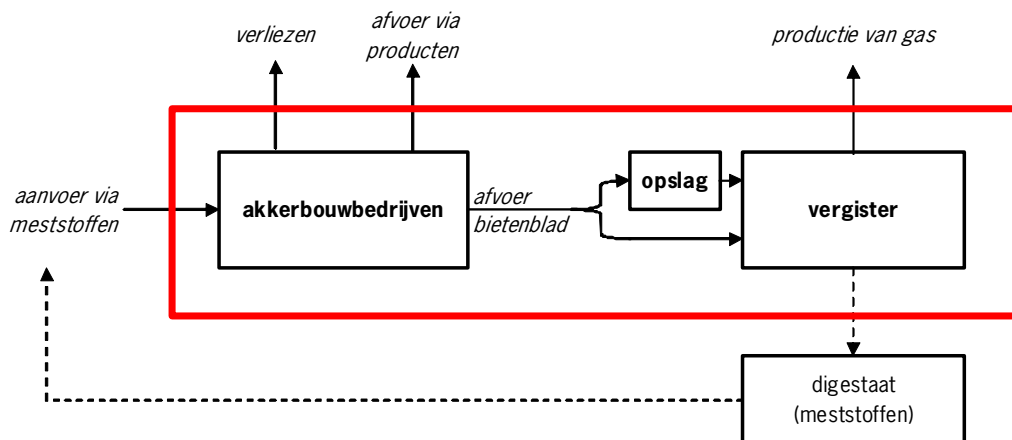
Samenvattend

Vergisting van bietenloof geeft een opbrengst van 1327 m³ CH₄ per ha en een positief energierendement. Bewerking en gebruik van digestaat kost energie, en een uitgebreidere studie is nodig om een goede vergelijking te maken van verschillende opties daarvoor met bijbehorende effecten op energiegebruik en financiële kosten.

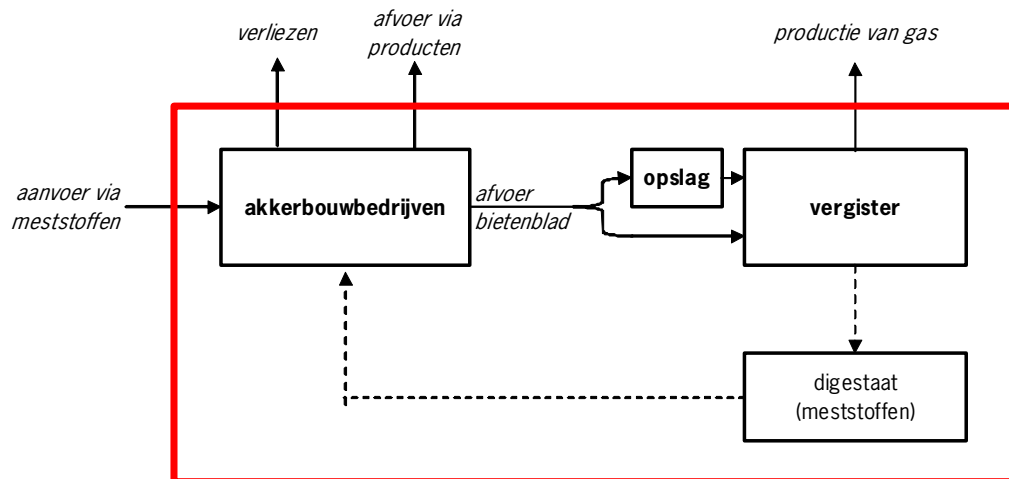
3.3 Gevolgen voor boer en beleid

Het afvoeren en vergisten van bietenloof heeft gevolgen voor boer en beleid met betrekking tot hun verschillende doelstellingen. Voor de boer vraagt het extra handelingen bij de oogst en heeft het afvoeren van bietenloof en eventueel terugbrengen van digestaat effect op nutriëntenstromen en de bemesting. Of het voor de boer aantrekkelijk is hangt af van het uiteindelijke financiële plaatje, en welk effect afvoeren van bietenloof heeft op de bodemvruchtbaarheid en gebruikruimte in het mestbeleid. Voor het beleid past energieproductie uit bietenloof bij de doelstelling om duurzame energie te produceren, en kan het bijdragen aan vermindering van N-emissies uit de landbouw. Het beleid zal regelgeving op moeten stellen rondom het opslaan van het bietenloof om emissies van leksap te voorkomen, en rondom de nutriëntenstromen en gebruikruimte. De effecten van afvoer van bietenloof op nutriëntenstromen en de gevolgen voor de gebruikruimte worden in dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

De gevolgen voor boer en beleid van het afvoeren en vergisten van bietenloof zijn afhankelijk van waar de systeemgrenzen worden gelegd. Dit is vooral van belang vanuit de mestwetgeving rondom toegestane aanvoer aan fosfaat en werkzame N. Wanneer het digestaat wordt gezien als mestproduct buiten de landbouwbedrijven (Figuur 2) zullen deze bedrijven boekhoudkundig extra meststoffen moeten aanvoeren om de stikstofnawerking van bietenloof in het volggewas te compenseren (30 kg N ha⁻¹) en de fosfaattoestand op peil te houden. Akkerbouwbedrijven voeren met hun gewassen relatief veel fosfaat af en zullen bij aanscherpen van fosfaatbemestingsnormen het eerst te maken krijgen met negatieve overschotten. Dit proces wordt versneld wanneer bietenloof afgevoerd wordt. Wanneer echter verondersteld wordt dat nutriënten naar de vergister toe gaan in de vorm van bietenloof, en terugkomen in de vorm van digestaat dan is er sprake van een interne nutriëntenstroom (Figuur 3). Voor N heeft dit als voordeel dat er minder uitspoeling in de winter optreedt en de hoeveelheid werkzame N op bedrijfsniveau tot 65 kg ha⁻¹ hoger is geworden door het vergisten. Op zandgrond zal ook de ammoniakemissie licht dalen, op kleigrond zijn er waarschijnlijk weinig verschillen, of neemt de ammoniakemissie licht toe wanneer het lastig is om het digestaat emissiearm toe te dienen.



Figuur 2. Afvoer van bietenloof vanaf het landbouwbedrijf. Meststoffen uit de vergister worden gelijk verondersteld aan meststoffen op de markt.



Figuur 3. Afvoer van bietenloof van het landbouwbedrijf. Meststoffen uit de vergister worden gezien als interne bedrijfsstroom.

3.3.1 Wanneer is afvoeren van bietenloof voor telers aantrekkelijk?

Afvoer van bietenloof heeft effect op de nutriëntenbalans en nutriëntenbeschikbaarheid voor de gewassen in de rotatie. De extra afvoer van gemiddeld $36 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ betekent dat er sprake kan zijn van interen op de P-voorraad in de bodem. Daarnaast laat bietenloof N achter die effectief benut kan worden door het volggewas. Op basis van de bemestingsadviesbasis geeft afvoer van bietenloof ten opzichte van inwerken in het najaar een verlaging van de hoeveelheid werkzame N voor het volggewas van 30 kg ha^{-1} .

Het gebruiksnormenstelsel beperkt de ruimte voor aanvoer van N en P, en telers gebruiken momenteel deze ruimte vrijwel volledig. In Telen met toekomst was in 2007 op tien akkerbouwbedrijven de aanvoer aan werkzame N gemiddeld 176 kg ha^{-1} en de gebruikruimte gemiddeld 189 kg ha^{-1} . Twee van de tien bedrijven overschreden de norm voor hun bedrijf. Bij fosfaat werd gemiddeld 93 kg ha^{-1} aangevoerd, en overschreden zes van tien bedrijven de gebruiksnorm (Dekker, 2008; Van Dam *et al.*, 2008). Zonder compensatie zullen telers niet geneigd zijn over te gaan tot extra afvoer van nutriënten via het bietenloof.

Wanneer het digestaat gebruikt wordt en als interne bedrijfsstroom gezien kan worden (Figuur 3) is er geen compensatie nodig wat betreft de gebruikruimte. De teler heeft dan nog een voordeel dat de hoeveelheid werkzame N op bedrijfsniveau stijgt. Nadeel van deze aanpak is de benodigde opslagcapaciteit voor het digestaat in de winterperiode, en de grote afhankelijkheid van weersomstandigheden voor voorjaarstoediening van digestaat op kleigrond.

Afvoer van bietenloof betekent extra kosten voor oogstwerkzaamheden door de teler of loonwerker. Richtbedrag hiervoor is €176,- (zie 2.2.1). Kosten voor toediening van digestaat en eventuele compensatie van de afgevoerde nutriënten door kunstmest aan te kopen hangen af van de bewerkingswijze van het digestaat:

- Bij gebruik van het digestaat bedragen de kosten voor toedienen (excl. winteropslag en transport) ongeveer €243,- (zie 2.2.3). Daar staat een besparing van 56 kg ha^{-1} N-kunstmest tegenover van €49,- (prijzen 2007) tot €93,- (prijzen najaar 2008).
- Na zuivering van het digestaat kan alleen de fosfaat terugkomen en vervallen de kosten voor toediening. Als dan de werkzame N (30 kg ha^{-1}) en K_2O (229 kg ha^{-1}) uit het bietenloof via kunstmest wordt gecompenseerd kost dat €221,- (prijzen 2007) tot €519,- (prijzen najaar 2008).
- Als er geen digestaat gebruikt wordt, er geen fosfaat terugkomt en de fosfaatafvoer via het bietenloof gecompenseerd wordt door aankoop van fosfaatkunstmest dan komt er nog €24,- (gemiddelde prijs 2007) tot €76,- (prijs najaar 2008) bij bovenstaande bedragen voor N en K_2O .

Kostprijzen hebben allemaal brede ranges. Bij aanhouden van telkens het midden van de range geeft bovenstaande aan totale kosten:

- bij gebruik digestaat: €348,-
- bij zuivering en gebruik fosfaat: €546,-
- bij afvoer bietenloof en compensatie via kunstmest: €596,-

Deze kosten zijn slechts indicatief en geven de orde van grootte aan van kosten voor de teler van de verschillende opties. Hierbij zijn er geen kosten gerekend voor het digestaat, terwijl er wel kosten zijn gerekend voor kunstmest. De vergelijking valt hierdoor uit in het voordeel van gebruik van digestaat. Het economische plaatje zou ook in zijn geheel bekeken moet worden met de bijbehorende kosten voor de verschillende opties aan de kant van de vergister.

Organische stof kan een aandachtspunt worden omdat er met het bietenloof 900 kg EOS ha⁻¹ wordt afgevoerd. Bij gebruik van digestaat komt er wel weer wat stabiel organisch materiaal terug waardoor afvoer van bietenloof geen groot effect op bodemorganische stof zal hebben. Wanneer organische stof in de bodem al laag is en aandacht behoeft, dient gekeken te worden naar andere mogelijkheden om het gehalte te verhogen zoals groenbemesters of gebruik van organische mest. Dit kan extra kosten geven.

3.3.2 Beleidsaspecten

Vergisting van bietenloof heeft een positief energetisch rendement en draagt bij aan duurzame energievoorziening. De economische rendabiliteit hangt af van energieprijzen en eventuele subsidies en wordt in het voorliggende rapport niet verder bekeken. Het beleid speelt hier wel een rol bij. Twee andere punten die van belang zijn voor het beleid bij het mogelijk maken en/of stimuleren van duurzame energiewinning uit bietenloof zijn:

- rondom gebruik van digestaat
- rondom de gebruiksnormen

Digestaat van puur bietenloof valt niet onder de definitie van covergiste mest² en valt daarmee niet als meststof onder de meststoffenbeschikking 1977. Volgens de regelgeving mag het digestaat dan worden toegepast op eigen grond, of als meststof worden vervoerd of verkocht wanneer het is opgenomen in de betreffende bijlage van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.

Aandachtspunt voor het beleid bij productie en toepassing van het digestaat is de vraag of digestaat uit centrale vergisters die alleen bietenloof vergisten gezien wordt als aparte meststof, of dat het gezien kan worden als een interne kringloop binnen de bedrijven van bietentelers. Wanneer het digestaat van geleverd bietenloof terug kan naar het akkerbouwbedrijf zonder dat het in de mestboekhouding meegerekend hoeft te worden, betekent dat voor de teler een toename aan werkzame N terwijl de totale N-aanvoer van het bedrijf niet verandert. Dit omdat N-verliezen tijdens de winter zijn voorkómen. Voor andere nutriënten dan N zijn er weinig tot geen verschillen tussen afvoeren+ vergisten+gebruik digestaat en het laten liggen van bietenloof in het najaar. Een ander voordeel van het beschouwen als interne kringloop binnen de bedrijven van bietentelers is dat er geen extra digestaat op de mestmarkt komt bovenop de drijfmest en co-vergiste mest die er al is. Het terugnemen door de akkerbouwers van het digestaat kan echter wel enig effect hebben op de plaatsingsruimte voor dierlijke mest vanwege de beperkte logistieke mogelijkheden op kleigrond voor toepassing van digestaat en drijfmest.

Wanneer digestaat als meststof gezien moet worden en meegerekend moet worden als aanvoer in de mestboekhouding gaat het afvoeren en vergisten van bietenloof ten koste van werkzame N en P₂O₅ op het bedrijf: 30 kg ha⁻¹ N-nawerking uit in het najaar ingewerkt bietenloof verdwijnt dan, en via het loof wordt 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ extra afgevoerd. Zonder compensatie hiervan via de gebruiksnormen zullen telers niet geneigd zijn om bietenloof af te voeren voor vergisting. Een oplossing kan zijn om de gebruiksnorm voor suikerbieten te verhogen met 30 kg N ha⁻¹ en 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ als het bietenloof wordt afgevoerd en vergist.

² Product dat verkregen is door vergisting van in hoofdzaak (meer dan 50%) verpompbare en vloeibare uitwerpselen van dieren met als nevenbestanddeel uitsluitend één of meer van de producten van de positieve lijst.

Als afvoer en vergisting van bietenloof niet wordt gekoppeld aan gebruik van het digestaat komt er extra digestaat op de mestmarkt. Het kan dan economisch voordeliger zijn om het digestaat te zuiveren tot een P-rijke vaste fractie en loosbaar water. De N verdwijnt hierbij als N_2 naar de lucht, en de overige elementen wordt via het water geloosd. De P-rijke vaste fractie is verhandelbaar en exporteerbaar. In combinatie met verhoging van de N en P-gebruiksnorm voor suikerbieten kan er eventueel meer ruimte ontstaan voor plaatsing van dierlijke mest.

Recente ontwikkelingen met omgekeerde osmose en het maken van kunstmestvervangers geven extra mogelijkheden voor afzet waarbij wel alle nutriënten in het landbouwsysteem behouden blijven. Hoe het economische plaatje uitpakt dient verder uitgewerkt te worden, evenals het energetische plaatje als de N weer via kunstmest aangevoerd dient te worden.

4. De teelt van suikerbiet als tussengewas

Naast alleen bietenloof kan ook het volledige bietengewas gebruikt worden voor energieproductie in de vergister. De bieten van het hoofdgewas zullen voor de suikerproductie bestemd blijven, en alleen bij zeer hoge opbrengsten en een te hoge suikerproductie zal een deel van de bieten ook vergist worden. Een mogelijkheid om over een langere periode aanvoer te hebben voor de vergisters is om suikerbieten als tussengewas te telen na gewassen die vroeg geoogst worden. Dit tussengewas kan dan de winter over geteeld worden en in het vroege voorjaar als totaal gewas (biet plus loof) worden geoogst.

Momenteel loopt er een aantal proeven van IRS met verschillende zaaidata om praktijkervaring op te doen met de tussenteelt en te kijken naar opbrengst, nutriëntenopname en winterhardheid. In de loop van 2009 worden deze proeven afgerond en zal er meer informatie beschikbaar zijn over de mogelijkheden van tussenteelt. Dit hoofdstuk geeft nu een korte beschouwing over de teelt van suikerbiet als tussengewas.

Het doel van de tussenteelt van suikerbiet is om grondstof voor vergisting te leveren. Daarom is een goede productie gewenst en is, analoog aan groenbemesters, zaai voor september nodig. Dit kan alleen na vroeg ruimende gewassen zoals conservenerwten, granen (m.n. wintergranen) of vroege aardappel. Het beschikbare areaal voor suikerbiet als tussengewas is daarmee beperkt. Wat de productiemogelijkheden zijn bij late zaai zal blijken uit de resultaten van de zaaitijdenproef van IRS.

Bij de tussenteelt van suikerbieten zullen dezelfde knelpunten optreden als bij groenbemesters: de omstandigheden na zaai kunnen te droog zijn waardoor het gewas te laat start, of het kan te koud zijn waardoor het gewas minder ontwikkelt. Suikerbiet is een gewas dat efficiënt nutriënten op kan nemen. Het wortelt diep en kan daarmee meststoffen uit diepe lagen halen. Voor de beginontwikkeling is het echter nodig dat er vlakbij het zaad ook voldoende meststoffen aanwezig zijn. Hoeveel bemesting nodig is voor suikerbiet als tussengewas is nog niet bekend, en de totale nutriëntenopname door het gewas zal blijken uit de lopende proeven van IRS. Er is in ieder geval voldoende bemesting nodig voor een goede groei. Rijenbemesting is de aangewezen methode voor een goede beschikbaarheid bij beperkte gift. Suikerbiet is echter flexibel met de N-opname en kan bij een hoog N-aanbod veel N opnemen. Deze opname kan ook tijdens de winterperiode en in het vroege voorjaar plaatsvinden omdat het gewas tot maart of april van het volgende jaar op het veld staat. Gecombineerd met de diepe beworteling lijkt suikerbiet als tussengewas een goed gewas om nitraatuitspoeling te beperken of terug te dringen. Eventuele bladsterfte in de winter is vanuit uitspoelingspunt geen probleem omdat de N uit het blad later opnieuw opgenomen kan worden door de suikerbiet of hoog genoeg in het profiel blijft zodat het beschikbaar is voor het volggewas. De bijdrage op gebiedsniveau aan beperking van nitraatuitspoeling is afhankelijk van de beschikbare ruimte in de bouwplannen en is momenteel beperkt.

Gewasbescherming zal nodig zijn tegen verschillende bladschimmels. In de reguliere suikerbietenteelt komen deze tijdens de zomer opzetten en zijn bespuitingen nodig. Bij de tussenteelt zal dit dus al in een vroeg stadium van de groei zijn. De vraag is of tussenteelt als waardplant optreedt voor de verschillende bladziekten waardoor aantasting in de reguliere teelt eerder plaats gaat vinden. Naast gewasbescherming is onkruidbestrijding nodig.

Aaltjes kunnen een probleem zijn, net als bij de teelt van groenbemesters. Met name op kleigrond kan vermeerdering van bietencysteaaaltjes optreden. Vrijlevende wortelaaltjes (*Trichodorus* spp. en *Paratrichodorus* spp.) vermeerderen zich slecht in suikerbieten maar kunnen op zandgrond en lichte zavel wel schade doen.

5. Overzicht en discussie

De vergisting van bietenloof wordt uitgevoerd om energie te produceren. Gebaseerd op de kentallen uit dit rapport kan de energieproductie voor het totale areaal bieten in Nederland berekend worden. Het areaal suikerbieten in 2007 bedroeg 82083 ha. Bij een CH_4 -opbrengst van $1327 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en een netto rendement van 81% (zie H2.5) en een energie-inhoud van $39 \text{ MJ m}^{-3} \text{ CH}_4$ (higher heating value) geeft vergisting van al het bietenloof in Nederland 3441 TJ aan duurzame energie. Hoe zich dit verhoudt tot de productie van duurzame energie uit verschillende andere bronnen is te zien in Tabel 14. De productie vanuit bietenloof komt overeen met het aardgasgebruik van ruim 60.000 huishoudens.

Tabel 14. Duurzame energie in 2007, uitgedrukt als vermeden verbruik primaire energie (bron: CBS).

Bron/techniek	TJ primair/jaar
Waterkracht	877
Windenergie	28193
Zonne-energie, totaal	1123
Afvalverbrandingsinstallaties	12979
Bij- en meestoken biomassa in centrales	15702
Houtkachels voor warmte bij bedrijven	2382
Houtkachels huishoudens, totaal	5464
Overige biomassaverbranding, totaal	5632
Biogas uit stortplaatsen	1406
Biogas uit rioolwaterzuiveringsinstall.	2132
Biogas op landbouwbedrijven	1441
Biogas, overig	1412
Biobenzine	3687
Biodiesel	9344

Het doel van deze studie is om de perspectieven van afvoeren en vergisten van bietenloof te bekijken, en daarbij met name in te gaan op de aspecten die betrekking hebben op nutriënten: aan- en afvoer op akkerbouwbedrijven, emissies van ammoniak, lachgas en nitraat, en de mestboekhouding met gebruiksnormen.

Op de emissies van broeikasgassen heeft afvoer en vergisting van bietenloof een reducerend effect, vooral door de energieproductie en vermindering van de CO_2 -emissie door het vermijden van gebruik van primaire energie (ruim $2000 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$). Omgerekend naar het totale suikerbietenareaal betekent dit een reductie van ongeveer 164 miljoen kg CO_2 . Op de lange termijn is er geen verschil tussen wel of niet afvoeren op CO_2 die in het bietenloof is vastgelegd: bij achterlaten op het veld komt het vrij bij afbraak van het bietenloof, en bij afvoer en vergisting komt het vrij bij de vergisting en bij gebruik van het biogas. Op de kortere termijn leidt afvoeren van bietenloof tot een iets lager organische-stofgehalte van de bodem waardoor er wat extra CO_2 vrijkomt omdat de C-opslag in de bodem naar een iets lager evenwicht gaat.

Van de overige broeikasgassen wordt CH_4 veelal door bouwland geabsorbeerd, en alleen onder zeer natte omstandigheden is er sprake van emissie (Mosier *et al.*, 1998). Wel of geen bietenloof gaf geen verschillen in CH_4 -opname (Koga *et al.*, 2004) waardoor de bijdrage van afvoer van bietenloof aan verlaging van CH_4 in de atmosfeer nihil zal zijn. De N_2O -emissie op het perceel wordt bij afvoer van bietenloof licht verlaagd. Het totale effect van afvoer en vergisting op N_2O -emissies wordt bepaald door emissies elders in de keten. Risico op N_2O -emissie ontstaat wanneer gekozen wordt om het digestaat te zuiveren via achtereenvolgens aerobe en anoxische omstandigheden en zo de

NH_4 via NO_3 om te zetten tot N_2 (Beline *et al.*, 2008). Hierbij is een goede procesbewaking en -sturing nodig om N_2O -emissie te beperken.

Afvoer en vergisting van bietenloof en hierop inspelen bij de N-bemesting van het volggewas geeft een maximale verlaging van de N-aanvoer naar de bodem van 80 kg ha^{-1} . Uitgaande van het richtgetal van N_2O -N emissie van 1% toegediende N (IPCC, 2006) en $296 \text{ kg CO}_2\text{-equivalent per kg N}_2\text{O}$ (IPCC, 2001) wordt zo maximaal een emissie van $237 \text{ kg CO}_2\text{-equivalenten}$ voorkomen.

Afvoer en vergisting van bietenloof verlaagt de emissies van ammoniak en nitraat, maar dit effect is klein op zandgrond en op kleigrond nog kleiner. Binnen de rotatie is suikerbiet al een gunstig gewas voor beperking van N-uitspoeling. Suikerbiet neemt N efficiënt op en heeft bij hogere N-beschikbaarheid ook een hogere N-opname. Dit betekent dat bij de oogst van de suikerbieten het Nmin-niveau in de bodem laag is. Van de door het gewas opgenomen N is de helft of meer dan de helft aanwezig in het loof, waarvan een deel alsnog kan uitspoelen in de winterperiode. Uitspoeling van N uit bietenloof lijkt beperkt te zijn, wat ook bevestigd wordt door relatief lage nitraatconcentraties in grondwater na de teelt van suikerbieten (Van Geel & De Haan, 2006, 2008). Afvoer en vergisting van bietenloof kan de nitraatuitspoeling iets verder beperken, en de rendabiliteit van de bietenteelt verhogen waardoor dit gewas in het bouwplan van akkerbouwbedrijven opgenomen kan blijven.

Afvoer en verzamelen van het bietenloof is een logistiek proces dat meer aandacht vraagt dan het proces rondom de bieten. Het bietenloof kan slechts voor beperkte duur op een hoop in de buurt van het perceel bewaard worden omdat daar snel vocht uit gaat lekken. Onderzocht zou moeten worden hoe lang het bietenloof eventueel op een hoop kan blijven liggen, of dat er rechtstreeks transport vanaf het veld naar centrale opslag of vergister nodig is.

Vergisting van bietenloof kan bijdragen aan duurzame energievoorziening, en de haalbaarheid wordt verder bepaald door de economische rendabiliteit die afhankelijk is van energieprijzen en eventuele subsidies. Deze financiële kant is het in het voorliggende rapport niet uitgewerkt. Wel is een indicatie gegeven van kosten waar telers mee te maken hebben voor het afvoeren van het bietenloof en eventuele aankoop van kunstmest. Deze kosten dienen gedekt te worden vanuit de opbrengsten van vergisting en zijn onderdeel van het totale financiële plaatje rondom vergisting.

Gebruik van het digestaat zoals het is of na bewerking ervan heeft veel effect op kosten en nutriëntenstromen. Het digestaat dat na vergisting overblijft is een waterige oplossing met weinig drogestof en een nutriënteninhoud die in de buurt ligt van runderdrijfmest en lager is dan van varkensdrijfmest. Transportkosten spelen een belangrijke rol wanneer het digestaat zo gebruikt wordt. Op de vrije markt concurreert digestaat met varkens- en runderdrijfmest en zullen er hoge kosten verbonden zijn aan de afzet van het digestaat. Dit lijkt geen haalbare optie, en een alternatief is om afspraken te maken met de akkerbouwers die het bietenloof leveren zodat zij het digestaat weer terugnemen voor bemesting op hun bedrijf. Zoals in de volgende paragraaf beschreven kan dit aantrekkelijk gemaakt worden via regelgeving door het digestaat niet als meststof aan te merken. Een alternatief is om de gebruiksnorm voor suikerbieten te verhogen wanneer het bietenloof gebruikt wordt voor vergisting.

Het digestaat kan gefilterd en ingedikt worden om de transportkosten te beperken. Een kleiner volume heeft ook voordeel bij toediening in het voorjaar op kleigrond om het risico op structuurschade en opbrengstderving te beperken. Het verdient aanbeveling om de kosten van filteren uit te zetten tegen de besparing op transport en bij toediening om een optimale bewerking te bepalen.

Bewerking van het digestaat is vooral aantrekkelijk wanneer het digestaat niet als geheel wordt teruggevoerd naar de bedrijven die het bietenloof leveren. Hierbij kan het digestaat worden gescheiden in een fosfaathoudende vaste fractie en een vloeibare fractie die het merendeel van de andere nutriënten bevat. Deze twee stromen kunnen los van elkaar worden afgezet als meststof. De vloeibare fractie kan verder ingedikt worden om de concentratie nutriënten te verhogen. De vloeibare fractie kan ook worden gezuiverd, waarbij de stikstof via een aerobe en anoxische stap wordt verwijderd en de resterende vloeistof wordt geloosd. Het voordeel van deze verwerkingsstap is dat er geen extra vloeibare mest op de mestmarkt wordt gezet en er geen transport nodig is voor al het water. Het nadeel is dat met uitzondering van struviet (het fosfaat inclusief een deel van de N plus Mg of K) de nutriënten uit het landbouwsysteem worden verwijderd. N kan via kunstmest weer terug worden gebracht. Het maken hiervan kost energie. K_2O , MgO en spoorelementen moeten van elders weer worden aangevoerd. In het voorliggende rapport zijn de kosten voor aankoop van meststoffen en voor toediening van digestaat globaal weergegeven. Het lijkt erop dat gebruik van digestaat, al dan niet ingedikt, goedkoper is dan volledige zuivering en aankoop van meststoffen. Ook

vanuit duurzaamheidsoogpunt lijkt het meer voor de hand te liggen om alle nutriënten in het digestaat terug te brengen naar het akkerbouwbedrijf. De mogelijkheden hiervoor hangen af van regelgeving.

Een belangrijk aspect dat de haalbaarheid van vergisting van bietenloof bepaalt, is hoe er in wettelijke zin wordt omgegaan met de nutriëntenstromen. Afvoer van bietenloof betekent afvoer van nutriënten en een lagere nawerking van N, P_2O_5 en K_2O in volggewassen. De met het bietenloof afgevoerde nutriënten kunnen weer aangekocht worden, maar via de gebruiksnormen is de maximale aanvoer aan N en P_2O_5 vastgelegd. Zonder compensatie van deze verhoogde nutriëntenafvoer zullen telers minder geneigd zijn bietenloof af te voeren. Het verdient daarom aanbeveling om in de regelgeving te zoeken naar mogelijkheden voor compensatie. Dit kan liggen in aanpassing van de gebruiksnormen, waarbij de N-gebruiksnorm verhoogd kan worden met 30 kg werkzame N ha^{-1} suikerbieten wanneer het bietenloof wordt afgevoerd (de nawerking van bietenloof volgens het bemestingsadvies).

Met afvoer van bietenloof wordt ook 36 kg P_2O_5 ha^{-1} suikerbieten afgevoerd. Aanpassing van de fosfaatgebruiksnorm is echter minder eenvoudig omdat deze voor al het bouwland gelijk is en niet is gespecificeerd naar gewas. Wel is er een uitzondering gemaakt voor fosfaatarme ($P_w < 25$) of fosfaatfixerende gronden waar meer fosfaatgebruik wordt toegestaan. De huidige fosfaattoestanden op bouwland zijn hoog, en daarnaast leidt extra afvoer van P_2O_5 niet snel tot verlaging van de fosfaattoestand en is er vaak een geringe respons van gewassen op fosfaatbemesting (Van Dijk *et al.*, 2007). Op korte termijn lijkt aanpassing van de fosfaatgebruiksnorm dus niet nodig. Op langere termijn is er echter wel extra aandacht nodig voor fosfaat op akkerbouwbedrijven. Met akkerbouwgewassen wordt relatief veel fosfaat afgevoerd, gemiddeld tussen de 45 en 60 kg P_2O_5 ha^{-1} met uitzonderingen daarboven (Van Dijk *et al.*, 2007). Bij aanscherping van de normen en bij verhoging van de afvoer door ook bietenloof af te voeren zal de fosfaattoestand op akkerbouwbedrijven eerder dalen dan op andere bedrijven. Hierbij zal er meer gebruik gemaakt worden van de uitzondering in de meststoffenwet voor fosfaatarme gronden, maar zal er ook aandacht besteed moeten worden aan bemestingstechnieken om bij deze lage fosfaattoestanden de productie op peil te kunnen houden (pers. med. A.L. Smit, PRI-WUR).

In plaats van aanpassing van de gebruiksnormen kan afvoer, vergisting en gebruik van digestaat als interne kringloop binnen de bedrijven van bietentelers gezien worden. Het voordeel van koppelen van afvoer van bietenloof en afname van digestaat is dat er geen extra mest op de mestmarkt komt, en dat alle nutriënten uit het bietenloof in het landbouwsysteem blijven. In de huidige regelgeving geldt een dergelijke interne stroom alleen wanneer op het akkerbouwbedrijf zelf vergist wordt. Momenteel is er één bedrijf in Nederland waarop puur maïs vergist wordt en deze interne stroom geldt. De administratieve en juridische mogelijkheden om op grotere schaal binnen de keten van bietentelers en suikerindustrie een systeem met interne kringloop op te zetten moet nader bekeken worden.

Door het bietenloof af te voeren wordt er minder organische stof aan de bodem toegevoegd. Ook wanneer het digestaat wordt teruggebracht zal er minder organische stof aan de bodem worden toegevoegd vanwege de grote afbraak tijdens het vergistingsproces. Een iets lagere aanvoer aan organisch materiaal betekent dat zich een nieuw evenwicht zal instellen op een iets lager organische-stofgehalte. Of dit merkbaar is hangt af van de bijdrage van de andere gewassen in het bouwplan en de relatieve bijdrage van het bietenloof in het totaal. Compensatie van de afvoer van organische stof van bietenloof is mogelijk met organische mest of compost. Bij compost rijst echter de vraag of het uitgangsmateriaal daarvan niet als bron voor energiewinning gebruikt had kunnen worden. Hetzelfde kan gezegd worden bij eventuele compensatie door graanstro achter te laten. Groenbemesters leveren ongeveer evenveel effectieve organische stof als bietenloof. Als compensatie van de afvoer van bietenloof wenselijk is kan dit via de teelt van groenbemesters als daarvoor ruimte is in het bouwplan.

6. Conclusies

- Grootschalig afvoeren en vergisten van bietenloof geeft productie van bio-energie: bij vergisten van het bietenloof van het totale suikerbietenareaal is dat 3.44 PJ vermeden verbruik van primaire energie.
- Afvoeren en vergisten van bietenloof geeft een verlaging van N-emissies naar de omgeving. Per hectare suikerbieten op zandgrond daalt de ammoniakemissie met 5 tot 9 kg NH₃-N, de nitraatuitspoeling met 11 kg NO₃-N en ook de lachgasemissie neemt af. Vergeleken met zandgrond heeft afvoer en vergisten op kleigrond een kleiner effect op ammoniakemissie en nitraatuitspoeling, en een groter effect op lachgasemissie.
- Om afvoer van bietenloof voor telers haalbaar te maken is, naast een voldoende financiële beloning, ruimte nodig om afgevoerde nutriënten te compenseren. Dit kan op twee manieren:
 1. Verhoging van de gebruiksnormen:
 - a. N-gebruiksnorm voor suikerbiet met 30 kg ha⁻¹ (de advieswaarde voor nawerking uit bietenloof, te gebruiken in het volggewas).
 - b. Fosfaatgebruiksnorm per ha suikerbiet met 36 kg ha⁻¹, of aandacht aan de fosfaatgebruiksnorm op langere termijn bij dalende fosfaattoestand.
 2. Door afvoer van bietenloof en gebruik van het digestaat te beschouwen als interne bedrijfsstroom.

Een beleidsdiscussie is nodig rondom de administratieve, juridische en technische mogelijkheden om deze systemen op grotere schaal binnen de keten van bietentelers en suikerindustrie op te zetten.
- Nader onderzoek is nodig om te bepalen hoe lang bietenloof kan blijven liggen op een hoop naast of op het perceel voordat er leksap uit lekt. Deze informatie is nodig voor de logistiek van verzamelen van bietenloof en om mogelijke regelgeving in te kunnen vullen.
- Voor verwerking van het digestaat zijn verschillende opties mogelijk:
 - Gebruik zoals het is.
 - Indikken via filtratie en omgekeerde osmose.
 - Zuiveren tot vaste fractie met fosfaat en een losbaar vloeibaar deel.

Vanuit kosten oogpunt (aankoop meststoffen) lijkt het voordeliger om digestaat te gebruiken zoals het is, of eventueel ingedikt. Het verdient aanbeveling om de kosten van filteren uit te zetten tegen de besparing op transport en bij toediening om een optimale bewerking te bepalen, zowel voor wat betreft energie-efficiëntie, nutriëntenstromen en financiële kosten, en rekening houdend met de totale keten inclusief kunstmestproductie.

Referenties

- Anoniem, 2004.
Handreiking Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow, Deutschland: 232 pp.
- Beauchamp, E.G., 1997.
Nitrous oxide emission from agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* 77(2): 113-123.
- Beiss, U., 1987.
Zuckerrüüberblatt - Unsetzung und Wirkung bei Verbleib auf dem Feld. *Zuckerindustrie* 112:531-538.
- Beukenboom, J.A., 1996.
Kiezen uit gehalten 3. Forfaitaire gehalten voor de mineralenboekhouding. Ministerie van LNV, IKC-L, Ede.
- Beline, F., M.L. Daumer, L. Loyon, A.M. Pourcher, P. Dabert, F. Guiziu & P. Peu, 2008.
The efficiency of biological aerobic treatment of piggery wastewater to control nitrogen, phosphorus, pathogen and gas emissions. *Water Science and Technology* 57 (12): 1909-1914.
- Corré, W.J., 1994.
Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar als instrument voor het te voeren stikstofbeleid. *Akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten, Rapport 21, AB-DLO Haren*, 39 pp.
- 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.
- CVB, 2006.
Tabellenboek veevoeding: voedernormen landbouwhuisdieren en voederwaarde veevoerders. Lelystad, Centraal Veevoederbureau.
- De Ruijter, F.J. & J. Groenwold, 2004.
Bemesting en Nmin op gewasniveau (2000-2002) op de praktijkbedrijven van Telen met toekomst. Wageningen, Plant Research International, Telen met toekomst rapport OVO401, 34 pp.
- De Ruijter, F.J. & A.L. Smit, 2007.
Het lot van stikstof uit gewasresten. Wageningen, Plant Research International, Rapport 133, 34 pp.
- De Willigen, P., W.P. Wadman & M. van Noordwijk, 1992.
Modelberekeningen omtrent de risico's aan minerale stikstofophoping in het najaar bij enige akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten. In: H.G. van der Meer & J.H.J. Spiertz (Eds), *Stikstofstromen in agro-ecosystemen*, CABO-DLO, Wageningen, 87-101.
- Dekker, P.H.M. & J. Paauw, 2002.
Bepaling opbrengstschade in wintertarwe bij aanwending van dierlijke mest in het voorjaar op kleigrond. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, projectrapport nr. 110120, 21 pp.
- Dekker, P.H.M., 2008.
Rapportage bemesting 2007, deelrapport sector Akkerbouw. www.telenmettoekomst.nl
- Dekker, P.H.M. & P.A.I. Ehlert, 2008.
Verlaging gebruiksnorm fosfaat nog geen probleem. *Groenten en Fruit* 16 (18 april 2008).
- Ehlert, P.A.I., J.C. van Middelkoop & P.H.M. Dekker, 2006.
Actualisatie van fosfaatgehalten en fosfaatafvoer van landbouwgewassen; een verkenning op basis van onderzoeksgegevens. *Alterra rapport 1348*, 91 pp.
- Ehlert, P.A.I., J.C. van Middelkoop, C. van der Salm & P.H.M. Dekker, 2008.
Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op langere termijn: stand van zaken 2007. *Alterra rapport 1665*.
- Ehlert, P.A.I., P.H.M. Dekker, J.R. van der Schoot, R. Visschers, J.C. van Middelkoop, M.P. van der Maas, A.A. Pronk & A.M. van Dam, *in voorbereiding*.
Fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen. Eindrapportage. *Alterra rapport*.
- Engwerda, J., 2008.
Oogsten bietenblad voor vergisting is rendabel. *Agrarisch dagblad* 3 oktober 2008.
<http://www.agd.nl/1061672/Nieuws/Artikel/Oogsten-bietenblad-voor-vergisting-is-rendabel.htm>.

- Harrison, R., S. Ellis, R. Cross & J.H. Hodgson, 2002.
Emissions of nitrous oxide and nitric oxide associated with the decomposition of arable crop residues on a sandy loam soil in Eastern England. *Agronomie* 22: 731-738.
- Huijsmans, J.F.M., 2003.
Manure application and ammonia volatilization. Proefschrift Wageningen Universiteit, 160 pp.
<http://library.wur.nl/wda/dissertations/dis3456.pdf>
- IPCC, 2001.
Third assessment report: Climate Change 2001. University Press, Cambridge
- IPCC, 2006.
Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application, p. 11.
- Keymer, U., 2002.
Wie rechnet sich biogas? In: Biogas - Strom aus Gülle und Biomasse. Top Agrar Fachbuch, Münster, Duitsland, pp. 40-45.
- Keymer, U. & A. Schilcher, 1999.
Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten vergärbare Substrate in Biogasanlagen. Landtechnik-Bericht Nr. 32. Fresing.
- Koga, N., H. Tsuruta, T. Sawamoto, S. Nishimura & K. Yagi, 2004.
N₂O emission and CH₄ uptake in arable fields managed under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Global Biogeochemical Cycles* 18 (4), GB4025.
- Kool, A., H.C. De Boer, H.J.C. van Dooren, M. Timmerman, B. van Dun & M. Tijmensen, 2005.
Kenniscbundeling covergisting. CLM rapport 621, 102 pp.
- KWIN, 2006.
Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2006. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPO 354, 286 pp.
- Lamers, J., 2007.
Maak van mest een gewild product - drogen of verhitten geeft de meeste afzetkansen. Vakblad Varkens, 12 december 2007, p. 22-23.
- Legrand, G. & M. Vanstallen, 2000.
Stikstofbemesting in suikerbieten. Koninklijk Belgisch Instituut tot Verbetering van de Biet (KBIVB/IRBAB) Tienen, België, 53 pp.
- Mannheim, T., J. Braschkat & H. Marschner, 1997.
Ammonia emissions from senescing plants and during decomposition of crop residues. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160: 125-132.
- Melse, R.W., F.E. De Buissonjé, N. Verdoes & H.C. Willers, 2004.
Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest. Lelystad, Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek. Rapportage opdrachtgever 1390938000, 48 pp.
- Mosier, A.R., J.M. Duxbury, J.R. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami & D.E. Johnson, 1998.
Mitigating agricultural emissions of methane. *Climatic Change* 40: 39-80.
- Neeteson, J.J., 1990.
Waarom bij het ene gewas wel en bij het andere geen risico van nitraatuitspoeling bij stikstofbemesting volgens het huidige advies. *Meststoffen* 1-2: 8-13.
- NMI, 2000.
Praktijkgids Bemesting. Wageningen, Nutriënten Management Instituut
- Olsson, R. & A. Bramstorp, 1994a.
Fate of nitrogen from sugar-beet tops. *Institut International de Recherches Betteravieres, Bruxelles* 1994: 189-212.
- Olsson, R. & A. Bramstorp, 1994b.
Where does nitrogen from sugar-beet leaves and from sugar-beet crown remain?. *Zuckerruebe (Germany)*. 43(5): 310-313.
- Prins, W.H., K. Dilz & J.J. Neeteson, 1988.
Current recommendations for nitrogen fertilisation within the E.E.C. in relation to nitrate leaching. *Proceedings Fertiliser Society* No 276, 27 pp.

- Ratschow & Uppenkamp, 1990.
Foliensilos fuer Raps und Ruebenblatt. Top agrar: das Magazin fuer moderne Landwirtschaft. Ausgabe SR, Munster-Hiltrup (1990)8: R8 - R10.
- Reitsma, B.A.H. & H. Kuipers, 2005.
Onderzoek fosfaatruigwinning uit stripperwater BCFS rwzi Deventer - verkennend onderzoek naar de vorming van 'groen fosfaat'. Utrecht, STOWA, rapportnummer 2005-01, 47 pp.
- Salo, M.L., 1978.
Ensiling, preservation losses and effluent binding of sugar beet tops. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 50:297-304.
- Sival, F.P. & W.J. Chardon, 2004.
Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. Alterra-rapport 1090, 50 pp.
- Slabbekoorn, H. & P. Dekker, 2006.
Mest in voorjaar 't proberen waard. Boerderij/akkerbouw 92 - no. 26 (19 december 2006), p. 16-17.
http://www.boerderij.nl/upload/752090_672_1185803116753-mest_in_het_voorjaar_het_proberen_waard.pdf.
- Smit, A.B., P.C. Struik & J.H. van Niejenhuis, 1995.
Nitrogen effects in sugar beet growing: a module for decision support. Netherlands Journal of Agricultural Science 43:391-408.
- Smit, A.L. & A. van der Werf, 1992.
Fysiologie van stikstofopname en -benutting: gewas- en bewortelingskarakteristieken In: Van der Meer, H.G. & Spiertz, J.H.J., 1992. 'Stikstofstromen in agro-ecosystemen', CABO-DLO Wageningen, Agrobiologische thema's nr. 6, p.51-69.
- Van Dam, A.M., P.H.M. Dekker, A.A. Pronk & F.J. de Ruijter, 2008.
Telen met toekomst. Bemesting 2007. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPO rapport 8, 53 pp.
- Van der Beek, M.A., 1991.
Meststoffen1/2: 24-29.
- Van der Schoot, J.R. & W. van Dijk, 2001.
N- en P-afvoer akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO-AGV intern rapport.
- Van Dijk, H. 1993.
Problematiek rond perssap bij kuilvoer. Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, Ede. RSP-bulletin: informatie voor de sectoren rundvee-, schapen- en paardenhouderij 6: 22-27.
- Van Dijk, W., 2003.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, publicatienummer 307, 66 pp.
- Van Dijk, W., P.H.M. Dekker, H.F.M. ten Berge, A.L. Smit & J.R. van der Schoot, 2007.
Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen. Verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, rapport nr. 367.
- Van Erp, P. & K. de Jager, 1992.
Drogestofproductie, N-opneming en N-bemesting van winterrogge geteeld als groenbemester. Meststoffen, 21-30.
- Van Geel, W. & J. de Haan, 2006.
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR, Informatieblad Nutriënten Waterproof No. 6, september 2006, 2 pp.
- Van Geel, W. & J. de Haan, 2008.
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR, Informatieblad Nutriënten Waterproof No. 14, juni 2008, 2 pp.
- Van Geel, W.C.A. & A.L. Smit, 2006.
Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op nitraatuitspoeling. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, rapport nr. 500181, 39 pp.

- Van Geel, W.C.A., J.J. de Haan, F.J. de Ruijter, A.L. Smit & H.A.G. Verstegen, 2008.
Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op de nitraatuitspoeling. Deelonderzoek voor Telers Mineraal Paraat uitgevoerd in 2005-2007 binnen project Nutriënten Waterproof. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, rapport nr. 32 500181, 72 pp.
- Velthof, G.L., P.J. van Erp & J.C.A. Steevens, 1998.
Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning stikstofadvisering. Meststoffen 1997/1998: 20-28.
- Velthof, G.L. & P.J. Kuikman, 2000.
Beperking van lachgasemissie uit gewasresten - een systeemanalyse. Alterra-rapport 114.3, 80 pp.
- Velthof, G.L., P.J. Kuikman & O. Oenema, 2002.
Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues. Nutrient cycling in agro ecosystems 62: 249-261.
- Vos, J. & P.E.L. van der Putten, 2000.
Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. I. Input and offtake of nitrogen, phosphorus and potassium. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56: 87-97.
- 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.
- Zauner, E. & U. Küntzel, 1986.
Methane production from ensiled plant material. Biomass 10 (3): 207-223.

Bijlage I.

Hoeveelheid bietenloof, nutriënteninhoud en asgehalte

1.1 Hoeveelheid bietenloof

De hoeveelheid bietenloof varieert tussen grondsoort, bemestingsniveau en oogsttijdstip. In een bemestingsproef op kleigrond in Lelystad met vier N-niveaus (0, 85, 130 en 175 kg N ha⁻¹) nam de hoeveelheid bietenloof toe met toenemende N-gift (16; 23; 28 en 32 ton ha⁻¹; Westerdijk, 1992). In bemestingsproeven in Rolde in de jaren 1989 t/m 1991 varieerde de hoeveelheid bietenloof bij giften tussen de 105 en 170 kg N ha⁻¹ tussen de 33 en 46 ton ha⁻¹ (Westerdijk, 1992). De onbemeste veldjes hadden 16 tot 24 ton ha⁻¹ bietenloof. Waarden uit de literatuur geven versopbrengsten tussen 27 en 47 ton ha⁻¹ (Tabel B1). Analyse door Ehlert *et al.* (in voorbereiding) van een uitgebreide dataset geeft een afvoer via bietenloof van 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ en gehalten van 2.8 kg P ton⁻¹ drogestof en 0.94 kg P₂O₅ ton⁻¹ vers product. Hieruit afgeleid bedraagt de gemiddelde versopbrengst 38 ton ha⁻¹ en het drogestofgehalte van 14,7%. Dit drogestofgehalte sluit aan bij de waarde die Smit *et al.* (1995) hanteerden (Tabel B1) maar is iets hoger dan waarden uit de literatuur (zie Tabel B5).

Tabel B1. *Hoeveelheid loof van suikerbiet en de N-inhoud daarvan bij optimale N-bemesting (uit: Smit et al., 1995).*

Referentie	Drogestofopbrengst (ton ha ⁻¹)	Versopbrengst (ton ha ⁻¹)	N-inhoud (kg ha ⁻¹)
Smit & Van der Werf (1992)	4	26,7 ^a	120
Van Erp & De Jager (1992)	5,5	36,7 ^a	127
De Willigen <i>et al.</i> (1992)	6	40 ^a	104
Van der Beek (1991)	-	-	120-150
Olsson & Bramstorp (1994a)	-	-	100-160
Smit <i>et al.</i> (1995), proeven	6,9	46,8	135
Smit <i>et al.</i> (1995), modelberekening	-	-	130

^a Niet gegeven, maar berekend vanuit de drogestofopbrengst en een aangenomen drogestofgehalte van 15%.

1.2 Stikstof

De N-inhoud van suikerbieten en bietenloof wordt beïnvloed door de N-beschikbaarheid. In proeven op proefbedrijf Vredepeel in 2005 en 2006 met verschillende bemestingsniveaus werden de verschillen in N-gift volledig teruggevonden in verschillen in totale N-opname door het gewas (Tabel B2). De verschillen in N-opname door het gewas waren evenredig verdeeld over biet en loof. Ook het oogsttijdstip heeft invloed op de N-inhoud van het bietenloof. In een proef op proefbedrijf Vredepeel was de N-inhoud van het bietenloof 80 kg ha⁻¹ op 15 september 2005 en 92 kg ha⁻¹ op 25 oktober 2005 (Van Geel & Smit, 2006). Uit IRS-onderzoek daarentegen bleek de hoeveelheid stikstof in het bietenloof vanaf circa half augustus tot aan de oogst nagenoeg constant te zijn (pers. med. P. Wiltig, IRS). Smit *et al.* (1995) geven een overzicht van literatuurgegevens van de hoeveelheid bietenloof en de N-inhoud bij optimale bemesting (Tabel B1). In proeven van Vos & Van der Putten (2000) op zandgrond vlakbij Wageningen bedroeg de gemiddelde N-inhoud van het bietenloof 110 kg ha⁻¹ bij oogsten tussen 6 en 22 oktober in de jaren 1989 t/m 1994. Een database met proefgegevens van PPO en IRS over de jaren 1977 t/m 2005 geeft als gemiddelde N-inhoud van

bietenloof ook bijna 110 kg ha⁻¹ voor zowel klei als zand en löss (Tabel B3). In literatuur worden soms ook hoge waarden genoemd voor de N-inhoud van 174 kg ha⁻¹ (Velthof & Kuikman, 2000) of 150-160 kg ha⁻¹ (Legrand & Vanstallen, 2000). De achterliggende proefgegevens betreffen hierbij echter een enkel jaar of zijn niet bekend.

Samenvattend

De cijfers geven aan dat de N-inhoud van bietenloof sterk varieert en globaal tussen de 70 en 170 kg N ha⁻¹ ligt. Als gemiddelde waarde wordt in het voorliggende rapport een N-inhoud van 110 kg ha⁻¹ aangehouden.

Tabel B2. Wortelopbrengst, kwaliteit en N-opname in wortel en loof en N_{min} bij oogst bij verschillende bemestingsniveaus te Vredepeel (Uit: Van Geel et al., 2008).

Jaar	N-gift (kg ha ⁻¹)	Wortelopbrengst (t ha ⁻¹)	Suikergehalte (%)	Winbaarheids-index	N-opname (kg ha ⁻¹)			N _{min} (0-90 cm) (kg ha ⁻¹)
					wortel	loof	totaal	
2005	145	64,0	19,2	93,2	67	66	133	28
	145	62,6	19,1	93,5	60	68	128	23
	188	70,8	19,1	93,2	88	92	180	29
	188	67,7	19,1	93,3	84	82	166	26
2006	120	71,3	17,6	92,7	57	88	145	-
	150	72,0	17,5	92,7	71	90	161	-
	190	73,4	17,3	92,3	84	124	208	-

Tabel B3. N-inhoud in bietenloof uit proefgegevens van IRS en PPO over de jaren 1977 t/m 2005, gemiddelde van N-giften tussen 120 en 170 kg ha⁻¹.

Grondsoort	Aantal metingen	N-inhoud loof (kg ha ⁻¹)
		Gemiddeld (min-max)
Klei	27	107 (52-188)
Loss	15	108 (69-171)
Zand	18	113 (54-202)

1.3 Fosfaat

De fosfaatinhoud van suikerbieten en bietenloof is beschreven door Ehlert *et al.* (in voorbereiding), gebaseerd op een uitgebreide dataset met gegevens vanaf 1937. Bij een voldoende tot en met ruim voldoende fosfaattoestanden bij het huidige bemestingsadvies passende fosfaat- en stikstofgiften wordt met de biet gemiddeld 52 kg P₂O₅ ha⁻¹ afgevoerd. Indien bietenloof wordt afgevoerd dan wordt daarmee gemiddeld 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ afgevoerd. Bij andere fosfaattoestanden van de bodem veranderen deze cijfers weinig omdat er slechts een zwakke relatie tussen de totale fosfaatafvoer van biet en bietenloof en fosfaatbemesting en fosfaattoestand (Ehlert *et al.*, 2006). Wel is er sprake van veel variatie in de gegevens (Tabel B4). Daarnaast is er een verschil in fosfaatafvoer in de bieten tussen zand en klei. In fosfaatafvoer met het loof konden geen verschillen gevonden worden tussen grondsoorten.

Tabel B4. Fosfaatafvoer in kg P_2O_5 ha⁻¹ (uit: Tabel 8 en Tabel 10 van Ehlert *et al.*, in voorbereiding).

	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardfout	Aantal
Suikerbietenwortel	51,8	53,8	21,6	70,1	11,4	75
• klei	55,8				7,7	52
• zand	42,6				13,0	23
Suikerbietenloof	36,0	37,1	8,0	72,9	14,9	51

Naast bovenstaand rapport van Ehlert *et al.* (in voorbereiding) zijn er andere rapporten van Alterra en PPO met gegevens over de fosfaatinhoud van bietenloof (Ehlert *et al.*, 2006; Ehlert *et al.*, 2008; Sival & Chardon, 2004; Van der Schoot & Van Dijk, 2001). Deze gegevens zijn echter grotendeels ook gebruikt in de studie van Ehlert *et al.* (in voorbereiding) en worden hier niet nogmaals genoemd.

Samenvattend

De fosfaatinhoud van het bietenloof is gemiddeld 36 kg P_2O_5 ha⁻¹.

1.4 Overige elementen en asgehalte

Naast N en P bevat het bietenloof ook andere elementen die afgevoerd worden als het bietenloof vergist wordt. Wanneer het digestaat weer gebruikt wordt op het perceel, worden de met het loof afgevoerde elementen weer teruggebracht. Afvoer en aanvoer van deze andere elementen dan N en P heeft minder consequenties voor de bedrijfsvoering omdat deze buiten de wettelijke mineralenboekhouding vallen.

Tabel B5 geeft een overzicht van literatuurwaarden van verschillende elementen. Salo (1978) geeft gemiddelden over de jaren 1971-1973. Beiss (1987) geeft gemiddelden en laagste en hoogste waarden zoals gemeten zijn op een proefstation in Göttingen over de periode 1953 tot 1982.

Nutrinorm van DSM-Agro (www.nutrinorm.nl) geeft informatie over nutriëntenafvoer waarbij zelf een opbrengst kan worden ingevoerd. Bij 38 ton ha⁻¹ bietenloof is de inhoud aan K_2O 182 kg ha⁻¹, MgO 38 kg ha⁻¹ en S 6 kg ha⁻¹. Het IRS gaat uit van een K_2O -inhoud van het bietenloof van 230 kg ha⁻¹ (pers. med. A. Huijbregts, IRS). Berekening van de K_2O -inhoud met gehalten uit Tabel B5 en 38 ton versproduct geeft 216 en 286 kg K_2O ha⁻¹. Gebaseerd op deze getallen is de gemiddelde K_2O -inhoud 229 kg ha⁻¹. Vanuit Tabel B5 wordt een MgO-inhoud berekend van 34 en 60 kg ha⁻¹. Samen met de informatie van Nutrinorm geeft dat een gemiddelde MgO-inhoud van 44 kg ha⁻¹.

Het asgehalte wordt bepaald door de elementen die in het bietenloof zitten en vervuiling met zand en kleideeltjes. Onderzoek van Salo (1978) gaf een asgehalte van 19,4% (Tabel B5). In de Duitstalige Handreiking Biogaswinning en -benutting wordt een asgehalte van bietenloof van 20-25% gegeven (Anoniem, 2004). Overzichten van het Productschap Diervoeder geven een asgehalte in vers bietenblad of in bietenblad met kop van 20% (CVB, 2006). In het voorliggende rapport wordt uitgegaan van een asgehalte van bietenloof van 20%.

Samenvattend

De K_2O -inhoud is gemiddeld 229 kg ha⁻¹, en de MgO-inhoud is gemiddeld 44 kg ha⁻¹. Voor het asgehalte van bietenloof wordt uitgegaan van 20%.

Tabel B5. Literatuurwaarden van drogestofgehalte (%) en minerale samenstelling van bietenloof (uitgedrukt op basis van drogestof).

	Salo (1978)	Beiss (1987)	
Drogestof (%)	13,1	14,1	
As (%)	19,4		
N (g/kg)		22,0	(12,6-27,3) ^a
P (g/kg)	2,4	2,8	(1,5-3,6)
Ca (g/kg)	13,8	9,4	(4,9-16,6)
Mg (g/kg)	7,3	3,8	(1,2-6,1)
Na (g/kg)	12,3	11,5	(7,4-19,8)
K (g/kg)	47,7	33,5	(21,5-39,6)
Cl (g/kg)	33,4		
Fe (mg/kg)	650		
Cu (mg/kg)	16		
Mn (mg/kg)	355		
Zn (mg/kg)	420		

^a Tussen haakjes laagste en hoogste gemeten waarden over de periode 1953-1982.