

Verwijderen van gewasresten in de open teelten

stelsysteem



innovatie



WAGENINGENUR

For quality of life

Verwijderen van gewasresten in de open teelten

Een deskstudie naar de effecten op de bodemvruchtbaarheid en de mogelijke verwerking van gewasresten in het kader van het project Nutriënten Waterproof, LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III)

Redactie:

Kor Zwart (Alterra)

Annette Pronk (Plant Research International)

Loes Kater (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving)

© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving 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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit is een document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen Wageningen UR dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag zonder toestemming van de auteurs worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Dit rapport is gefinancierd door Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit: vanuit de LNV-programma's 400-I en 400-III

Projectnummer: 530133

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

Adres : Edelhertweg 1, 8219 PH Lelystad

: Postbus 430, 8200 AK Lelystad

Tel. : 0320 – 29 11 11

Fax : 0320 – 23 04 79

E-mail : info.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 EFFECT VAN HET VERWIJDEREN VAN GEWASRESTEN OP DE BODEMVRUCHTBAARHEID.....	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Organische stofgehaltenes in open teeltsystemen.....	9
2.3 De rol van organische stof in open teelten	10
2.4 Organisch stofbeheer.....	12
2.5 Effect bemesting met organische mest en gewasresten	13
2.6 Verwijderen van gewasresten.....	13
2.6.1 Effect van het verwijderen van gewasresten op de organische stof ontwikkeling	13
2.6.2 Effect op de beschikbaarheid van stikstof voor gewassen	15
2.6.3 Effecten verwijderen gewasresten op de uitspoeling.....	16
2.7 Conclusies	17
3 GEBRUIK VAN GEWASRESTEN ALS VEEVOEDER	19
4 COMPOSTERING VAN GEWASRESTEN	21
4.1 Het composteringsproces	21
4.1.1 Definities.....	21
4.1.2 Techniek en uitvoering van het composteringsproces	21
4.1.3 Kosten van het composteringsproces.....	23
4.1.4 Regelgeving	23
4.2 Verlies van nutriënten tijdens composteren	25
4.2.1 Inleiding	25
4.2.2 Gedrag van stikstof tijdens composteren	25
4.2.3 Richtlijnen voor stikstofverliezen tijdens composteren.....	27
4.3 Bemestende waarde van compost en dierlijke organische meststoffen.....	28
4.3.1 Bemestende waarde compost	28
4.3.2 Samenstelling en bemestende waarde dierlijke organische meststoffen	30
4.4 Beoordeling gewasresten op geschiktheid voor composteren met minimale nutriëntenverliezen.	31
4.4.1 Beoordelingscriteria en beoordeling	31
4.4.2 Indeling van oogstresten op basis van beoordelingscriteria	32
4.4.3 Logistiek van compostering.....	33
4.4.4 Evaluatie	33
4.5 Conclusies	33
5 PERSPECTIEVEN VOOR BIORAFFINAGE EN VERGISTING VAN GEWASRESTEN	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Procesbeschrijving vergisting	35
5.3 Bioraffinage.....	38
5.4 Beoordeling gewasresten	40
5.5 Geschiktheid voor vergisting.....	40
5.6 Geschiktheid voor bio-raffinage	42
5.7 Conclusies	44

6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	47
	REFERENTIES.....	49
	BIJLAGE 1. GEBRUIK VAN GEWASRESTEN ALS VEEVOER	53
	BIJLAGE 2. STRUCTUUR VAN HET COMPOSTBED	59
	BIJLAGE 3. BEOORDELING VAN VERSCHILLENDE MATERIALEN (OF MENGSELS) VOOR COMPOSTERING..	61
	BIJLAGE 4. HOEVEELHEDEN, SAMENSTELLING EN VRIJKOMEN VAN OOGSTRESTEN IN NEDERLAND	63
	BIJLAGE 5. PRODUCTIE COMPOST EN GEBRUIK MEST	75

Samenvatting

Het volledig verwijderen van gewasresten

- Zal leiden tot een daling van het organische stofgehalte in de bodem. Het verschil ten opzichte van het volledig achterlaten van de gewasresten of het weer terugbrengen ervan als compost lijkt echter gering te zijn, bij gebruik van alleen kunstmest. Bij zoveel mogelijk gebruik van dunne (rundvee) mest was de daling het geringst.
- Heeft waarschijnlijk geen groot nadelig effect op de beschikbaarheid van stikstof.
- Daalt het risico op uitspoelen van stikstof daalt met ca 25%.

Gebruik van gewasresten als veevoer

- De gewasresten zijn beoordeeld op de VEM, DVE, OEB, VRE en drogestofgehalte. Veel gewassen of gewasresten hebben een VEM en DVE gelijk of hoger aan die van gras of snijmaïs(kuil). Om bietenblad en erwten/bonenresten als veevoer te kunnen gebruiken moet de oogstmethode worden aangepast.

Compostering van gewasresten

- Oogstresten van vollegrondsgroentegewassen zijn niet geschikt voor compostering, tenzij ze met andere materialen worden gemengd. Het gehalte aan drogestof is te laag, ze bevatten te weinig structuurrijk materiaal en de C/N verhouding leidt tot hoge stikstofverliezen bij open compostering.
- Hetzelfde geldt voor resten van een deel van de akkerbouwgewassen met vergelijkbare drogestof gehalten. De C/N verhouding van deze resten is wel gunstig evenals dat van stro, dat bovendien ook nog structuurrijk en droog is.
- Het samenstellen van een optimaal mengsel binnen een bedrijf lijkt daarom een goed mogelijk, mengen van materialen van verschillende bedrijven stuit bij de huidige regelgeving op problemen.
- Snoeiafval uit de boomteelt is goed geschikt voor extensieve compostering, evenals afval uit de bollenteelt, waarmee al goede ervaring is opgebouwd.
- De stikstofverliezen kunnen sterk beperkt worden bij een gecontroleerde compostering in een gesloten systeem, de kosten daarvan zijn echter hoog.
- Fosfaat en kalium verliezen kunnen in elk composteringssysteem beperkt blijven.
- De beschikbaarheid van organische stikstof uit compost is laag, die van minerale stikstof, fosfaat en kalium bedraagt 100%.

Co-vergisting en bioraffinage van gewasresten

- In principe komen alle gewasresten, behalve de zeer storrige in aanmerking voor co-vergisting, maar door de lage drogestofgehalten en/of de lage gehalten aan afbreekbare organische stof, valt een groot deel van de groentegewassen af. Het meest geschikt lijken resten van bieten, aardappelen en spruitkool.
- Voor elk gewasrest is er perspectief op het gebied van bioraffinage, maar een succesvolle toepassing is nog met vele onzekerheden omgeven. Voor de verse gewasresten komt groene bioraffinage het meest in aanmerking, voor de drogere resten is een toepassing als vezelproduct het meest geschikt. Ontwikkelingen in de energie en grondstoffenprijzen zijn sterk bepalend voor de verdere ontwikkeling van bioraffinage.
- Verontreinigingen met aanhangend zand zijn ongunstig voor zowel co-vergisting als bioraffinage.
- Opslag van verse gewasresten door middel van silage biedt goede mogelijkheden.

1 Inleiding

Voor al onder zandgronden waarop landbouw wordt bedreven worden in Nederland hoge nitraatconcentraties in het grondwater aangetroffen. Dat is het geval bij zowel de veehouderij als bij de zogenaamde open teelten (akkerbouw, groenteteelt en boomteelt). Daar waar het grondwater erg hoog staat, zoals voorkomt bij de bollenteelt op duinzanden, is het nitraatgehalte in het grondwater weliswaar veel lager, maar daar worden juist hoge stikstofgehalten in het oppervlaktewater gevonden. Hetzelfde geldt voor alle gebieden met een hoge grondwaterstand en bij landbouw waarbij overtollig water via drainagebuizen in het oppervlaktewater terechtkomt. Er wordt niet aan getwijfeld dat een groot deel van de problemen wordt veroorzaakt door de landbouw.

In allerlei onderzoek- en praktijkprojecten is de afgelopen jaren getracht om de belasting met stikstof te verlagen en vaak met succes. Echter ondanks allerlei maatregelen wordt de EU-richtlijn voor het nitraatgehalte in veel gebieden nog steeds overschreden. Een voorbeeld van een dergelijk project is *Telen met toekomst* dat zich heeft afgespeeld op praktijkbedrijven en op een viertal proefbedrijven. Op veel van de praktijkbedrijven, worden nog steeds (veel) te hoge nitraatgehalten aangetroffen. De maatregelen die op de proefbedrijven zijn genomen om de nitraatbelasting terug te dringen gingen nog veel verder dan op de praktijkbedrijven. Op twee van de proefbedrijven, die beide op het zuidoostelijke zandgebied liggen (Vredepeel voor de akkerbouw en Meterik voor de vollegrondsgroenteteelt) waren verschillende teeltsystemen aangelegd, met oplopende maatregelen tegen de nitraatuitspoeling. Op beide bedrijven was het mogelijk om het nitraatgehalte te verlagen, zonder dat dit gepaard ging met een sterke opbrengstverlaging. Op Vredepeel werd, in het meest vergaande systeem, de grenswaarde van 50 mg nitraat l⁻¹ ondiep grondwater net niet bereikt, op Meterik was de nitraatconcentratie in het bodemvocht (het grondwater zat te diep voor veelvuldige metingen), nog steeds vrij ver verwijderd van dit gehalte.

Een van de conclusies die naar aanleiding van het onderzoek op Vredepeel en Meterik werd getrokken, was dat de achtergrondmineralisatie zo hoog was, dat het moeilijk zou worden om op deze uitspoelingsgevoelige gronden te voorkomen dat er in winter teveel nitraat zou verdwijnen naar het grondwater. De hoge achtergrondmineralisatie kent waarschijnlijk twee oorzaken:

1. Verhoging van de bodemvruchtbaarheid in het verleden, door het opbrengen van veel mest (Vredepeel en Meterik) en het opbrengen van grond van elders die rijk was aan organische stof (Meterik).
2. Het inwerken van stikstofrijke gewasresten na de oogst, of zelfs het inwerken van volledige teelten indien de kwaliteit van het product te laag is voor een goede verkoop.

Het terugdringen van de achtergrondmineralisatie is geen eenvoudige zaak. Om het organische stofgehalte van de bodem zelf te verlagen is veel geduld nodig, doordat de bodemvoorraad groot is en de afbraak ervan langzaam verloopt. Het verlagen van mineralisatie vanuit gewasresten kan veel eenvoudiger tot stand worden gebracht, door de gewasresten niet langer in te werken maar van het perceel te verwijderen. Deze maatregel lijkt daarom een veel betere optie te bieden. Er komen dan echter belangrijke vragen naar voren:

1. Wat gebeurt er met de bodemvruchtbaarheid als (alle) gewasresten worden verwijderd, hoe snel gaat het organische stofgehalte omlaag en welke gevolgen heeft dat voor de stikstoflevering.
 2. Als gewasresten niet meer worden ingewerkt, welke mogelijkheden zijn er dan na het afvoeren voor een verdere verwerking.
 3. Wat zijn de kosten van verwijderen en verwerken en welke gevolgen zijn er voor de gewasopbrengsten?
- De eerste twee vragen komen uitgebreid aan de orde in deze deskstudie. Aan de derde vraag wordt wel enige aandacht besteed, maar deze vraag zal uitvoeriger in een andere studie (perspectieven studie teeltinnovatie) worden behandeld.

Opbouw rapport

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 Effect van het verwijderen van gewasresten op de bodemvruchtbaarheid, Kor Zwart (Alterra).
- Hoofdstuk 3 Gebruik van gewasresten als veevoeder, Vincent Hindle & Henk Valk (Animal Science Group).
- Hoofdstuk 4 Compostering van gewasresten, Adrie Veeken (Agrotechnology & Foodinnovations) & Loes Kater (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving).
- Hoofdstuk 5 Perspectieven voor bioraffinage en vergisting van gewasresten, Hendrik-Jan van Dooren (Animal Science Group) & Wolter Elbersen (Agrotechnology & Foodinnovations).
- Hoofdstuk 6 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen.

2 Effect van het verwijderen van gewasresten op de bodemvruchtbaarheid

Kor Zwart (Alterra)

2.1 Inleiding

In het onderzoek van Telen met toekomst op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik is gebleken dat het mogelijk is om door doelgerichte teeltmaatregelen het nitraatgehalte in het grondwater en bodemvocht drastisch te verlagen. Deze hadden betrekking op rotatie, gewaskeuze en aard, hoeveelheid en plaatsing van de meststoffen. Bij de bepaling van de hoeveelheid stikstofbemesting werd de laatste jaren rekening gehouden met de mineralisatie gedurende de groeiperiode. De stikstofmineralisatie werd berekend met XCLNCE (Zwart, 2002). Echter, om een nitraatgehalte te bereiken dat structureel onder de 50 mg l⁻¹ ligt zijn verder gaande maatregelen nodig dan tot nu toe zijn genomen (Assinck & De Willigen 2003 a&b). Eén van de voorgestelde maatregelen is het volledig verwijderen van de gewasresten. Bij een consequente afvoer van gewasresten wordt de hoeveelheid stikstof die jaarlijks aan de grond wordt onttrokken (veel) groter. Men zou kunnen zeggen dat de efficiëntie waarmee de beschikbare stikstof wordt benut wordt vergroot door deze maatregel, doordat veel meer van de opgenomen stikstof ook werkelijk van het perceel wordt verwijderd en niet (weer) in een andere vorm achterblijft of terugkeert. Uit modelberekeningen met het simulatiemodel MOTOR-FUSSIM (Assinck & Rappoldt, 1994, Heinen & de Willigen, 2001) blijkt dat door een dergelijke maatregel het nitraatgehalte inderdaad nog verder zou kunnen dalen. In het nieuwe project Nutriënten Waterproof (De Haan, 2004) is daarom voorgesteld om de effecten van het verwijderen van gewasresten nader te onderzoeken.

Het verwijderen van gewasresten heeft echter vrij grote gevolgen voor de teler en de bodem. De teler moet extra werkzaamheden verrichten en hij moet op de één of andere manier een nuttige bestemming voor de verwijderde gewasresten zien te vinden. In de bodem zullen veranderingen optreden in het organische stofgehalte zelf en in de mineralisatie. In de hoofdstukken 3, 4 en 5 wordt beschreven hoe een nuttige bestemming voor de gewasresten kan worden gevonden. In dit hoofdstuk worden enkele algemene eigenschappen van organische stof in de bodem besproken. Verder wordt aangegeven welke effecten het verwijderen van gewasresten kan hebben op:

- Het organische stofgehalte.
- De beschikbaarheid van stikstof voor gewassen.
- De uitspoeling van stikstof.

Om te bepalen welk effect het verwijderen van de gewasresten heeft zijn berekeningen uitgevoerd met het spreadsheet model XCLNCE (Zwart, 2002).

2.2 Organische stofgehaltenes in open teeltsystemen

Het organische stofgehalte in de bodem van open teeltsystemen in Nederland wordt voor een groot deel bepaald door het bodemtype. In veenkoloniale bodems is het organische stofgehalte over het algemeen hoger dan in gebieden met dekzanden en in jonge zeekleigronden van de IJsselmeerpolders is het hoger dan in oudere rivierkleigronden. Daarnaast bepaalt de toevoer van (verse) organische stof in sterke mate het organische stofgehalte van de bodem. Doordat in biologische teelten alleen van organische mest gebruik gemaakt wordt en in de overige teelten ook van kunstmest, mag verwacht worden dat op biologisch beheerde percelen het organische stofgehalte hoger is dan op overigens vergelijkbare percelen.

Het organische stofgehalte van een aantal percelen van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO) proefbedrijven, waarvan mag worden aangenomen dat ze redelijk representatief zijn voor de open teelten in de betreffende regio's, is weergegeven in tabel 2.1. Daaruit blijkt dat inderdaad de veenhoudende gronden

het hoogste organische stof gehalte hebben, en dat biologisch beheerde percelen (vaak, maar niet altijd) een hoger gehalte hebben dan vergelijkbare niet-biologisch beheerde percelen op hetzelfde bedrijf.

Tabel 2.1. Organische stofgehalten (%) in drie lagen op diverse PPO proefbedrijven. (Bron: PPO).

Locatie	Teelt	Grondsoort	Systeem	Laag (cm onder het maaiveld)		
				0-30	30-60	60-90
Boskoop	Boomteelt	Veen	GI	23,6	22,7	
Horst	Boomteelt	Zand	GI	4,5	2,3	1,1
De Noord	Bollenteelt	Zand	GI	1,5	1,5	1,4
			BIO	1,3	0,9	1,6
Kooijenburg	Akkerbouw	Leemhoudend zand	GI	3,5	0,4	0,4
			BIO	4,5	0,9	0,3
Valthermond	Akkerbouw	Dalgrond	GI	15,5	6,0	1,7
Lelystad	Akkerbouw	Klei	GI	2,2	1,5	1,5
Nagele	Akkerbouw	Klei	GI	2,5	2,1	2,5
			BIO	2,8	2,1	2,2
Vredepeel	Akkerbouw	Zand	GI	5,7	2,1	0,5
Westmaas	Akkerbouw	Klei	GI	3,3	1,8	1,2

2.3 De rol van organische stof in open teelten

Organische stof (OS) speelt een belangrijke rol in een aantal fysische, chemische en biologische processen in de bodem, welke op hun beurt weer van belang zijn voor de teelt. De processen worden hieronder in het kort besproken.

Vochtretentie

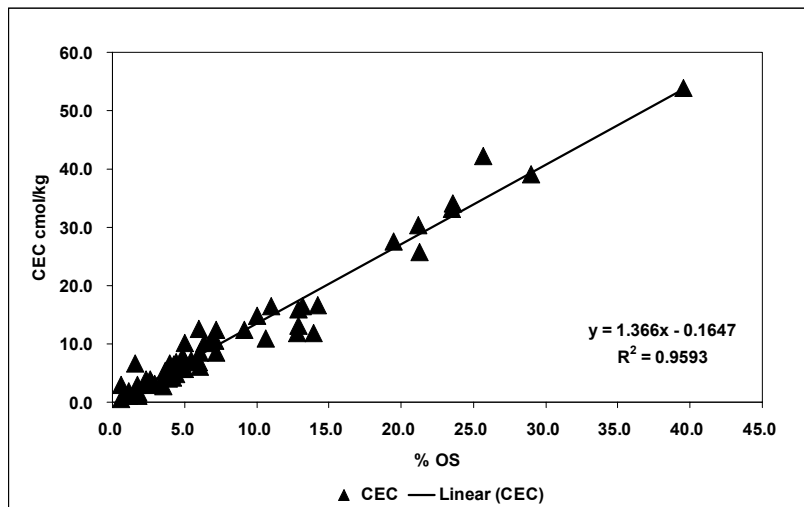
Organische stof speelt een belangrijke rol in de vochthuishouding van de bodem. Hoe hoger het organische stofgehalte, hoe beter het vochthoudend vermogen van de grond is. Waarschijnlijk heeft dat te maken met het hogere vermogen van organische stof om water te ad- en absorberen in vergelijking met minerale grond. In tabel 2.2 is weergegeven hoe het vocht leverend vermogen van een bouwvoor van 30 cm verloopt bij verschillende percentages organische stof (Boekel, 1992). Het vochtleverend vermogen neemt dus niet-lineair toe met het % organische stof. De toename wordt kleiner naarmate het organische stof gehalte toeneemt.

Tabel 2.2. Beschikbare hoeveelheid vocht (in mm) in zandgronden bij verschillende gehalten aan organische stof (OS).

Percentage OS	Beschikbaar vocht (mm)
2	50
3	62
5	70
6	75

Cation Exchange Capacity (CEC)

De CEC is een belangrijke maat voor de uitwisselbaarheid van positief geladen ionen in de bodem. De CEC van de bodem wordt in hoofdzaak bepaald door het gehalte aan klei- en siltdeeltjes en het gehalte aan organische stof. In bodems met een (zeer) laag gehalte aan klei en silt bepaalt het organische stofgehalte dus in hoge mate de CEC. Die relatie is goed onderzocht voor een groot aantal gronden en kan in een algemene formulevorm worden weergegeven. Voor veenkoloniale gronden is de relatie grafisch weergegeven in figuur 2.1.



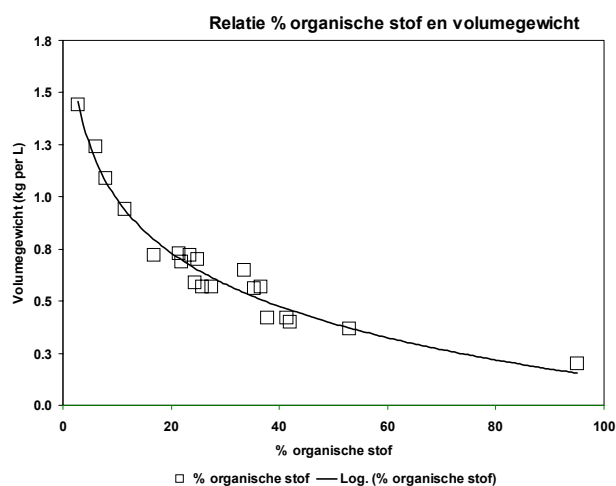
Figuur 2.1. De relatie tussen het gehalte aan organische stof en de CEC voor veenkoloniale gronden (Zwart ongepubliceerde resultaten).

Temperatuur

In het algemeen geldt dat grond donkerder wordt naarmate het organische stof gehalte toeneemt. Het gevolg daarvan is dat warmte beter wordt opgenomen, waardoor de temperatuur van de grond in het voorjaar sneller oploopt bij een hoog organische stofgehalte.

Volumegegewicht

Het volumegegewicht van zandgronden vertoont een vrij nauwe relatie met het organische stofgehalte. In figuur 2.2 is deze relatie voor veenkoloniale gronden weergegeven.



Figuur 2.2. Relatie tussen het % organische stof en het volumegegewicht van veenkoloniale gronden (naar Dilz e.a. 1983).

Bodemleven

Levende organismen in de bodem zijn voor het functioneren afhankelijk van de afbraak van dode of levende organische stof. In het algemeen zal gelden dat vooral de aanvoer van vers organisch materiaal de activiteit van bodemorganismen bepaalt. Organische stof die al langer in de bodem aanwezig is, zal over het algemeen minder goed afbreekbaar zijn dan vers materiaal, waardoor het ook minder aantrekkelijk wordt voor bodemorganismen.

Hoewel het merendeel van het bodemleven niet zichtbaar is, is het totale gewicht ervan erg groot. In een onderzoek van een perceel in de Noordoostpolder werd gevonden dat in de bouwvoor van een

gangbare akker in totaal 3000 kg (800 kg N) aan levende organismen kan voorkomen. In een akker onder geïntegreerde teelt was dat zelfs ruim 3500 kg. Het grootste deel van dit gewicht wordt ingenomen door micro-organismen en regenwormen. Die biomassa is niet statisch; voortdurend vindt er afsterving en nieuwe aangroei plaats. De totale omzet op de gangbare akker was ruim 9000 kg jaar⁻¹ en op de geïntegreerde akker zelfs ruim 16000 kg jaar⁻¹ (vergelijkbaar met een gewicht van 16-20 koeien). Het verschil werd hoofdzakelijk veroorzaakt doordat op het gangbare perceel alleen kunstmest en op het geïntegreerde perceel organische mest werd gebruikt (Zwart e.a., 1994).

Een teler is in staat om de activiteit van het bodemleven via indirecte maatregelen te beïnvloeden, zowel in positieve als negatieve zin. Micro-organismen reageren sterk op verschillende omstandigheden met betrekking tot hoeveelheid en aard van hun 'voedsel', pH van de bodem en de beschikbaarheid van zuurstof. Dus afhankelijk van de omstandigheden die een teler creëert in de bodem, zal de activiteit van micro-organismen variëren. Door toevoeging van kalk verhoogt de zuurgraad van de bodem, waardoor organismen worden gestimuleerd die hun activiteitsoptimum hebben bij een hoge pH. Gelijktijdig worden organismen die liever een lage pH hebben afgeremd. Door grondbewerking komt er extra zuurstof in de bodem. Dat is goed voor de wortels, maar het stimuleert ook de aërobe micro-organismen en onderdrukt de anaërobe activiteit. Daardoor wordt denitrificatie voorkomen. Micro-organismen in de bodem zijn bijna volledig afhankelijk van organisch materiaal als voedsel, dus het toevoegen daarvan heeft effect op de activiteit van het bodemleven.

Nutriëntenlevering

Bij de afbraak van organische stof in de bodem komen naast CO₂ ook voedingsstoffen vrij in de vorm van stikstof, fosfor, zwavel, etc. in anorganische vorm. De mate waarin deze mineralen vrijkomen, hangt af van de samenstelling van het organische materiaal dat wordt afgebroken, zowel wat betreft het gehalte aan deze elementen als de verhouding ten opzichte van het gehalte aan koolstof en de snelheid waarmee de afbraak verloopt. Verder speelt ook de samenstelling van de organismen die bij de afbraak betrokken zijn een rol, doordat deze elementen ook in de nieuw gevormde biomassa worden ingebouwd. Van de koolstof uit organisch materiaal wordt 30-50% ingebouwd in nieuwe microbiële biomassa en het C/N quotiënt van microbiële biomassa is 3-7. Bij een C/N quotiënt van het organische materiaal dat wordt afgebroken dat hoger is dan 6-14, komt er dan geen anorganische stikstof vrij, maar kan er zelfs anorganisch stikstof worden vastgelegd (immobilisatie). Bij lagere C/N quotiënten wordt anorganisch stikstof afgegeven aan de omgeving. De snelheid van organische stof afbraak en de samenstelling ervan bepalen samen de snelheid waarmee anorganische stoffen vrijkomen die kunnen dienen als plantenvoeding.

2.4 Organisch stofbeheer

Voor het op peil houden of veranderen van het organische stofgehalte is kennis nodig van de dynamiek van organische stof in de bodem. Vooral kennis over de afbraak van organische stof in de bodem zelf en van die van vers aangevoerd materiaal is van belang.

De snelheid waarmee OS wordt afgebroken is afhankelijk van de samenstelling van OS en van een aantal randvoorwaarden als temperatuur, pH, zuurstofgehalte en vochtgehalte. In veel computermodellen die de afbraak van organische stof beschrijven wordt OS opgedeeld in een of meerdere pools die elk volgens een eigen karakteristiek worden afgebroken. Het C/N quotiënt en het gehalte aan lignine en fenolachtige verbindingen speelt een rol bij de afbraaksnelheid. In dergelijke modellen neemt de fractie aan resistent organisch materiaal toe met de tijd, doordat het gemakkelijkst afbreekbare deel het eerst verdwijnt. Het gevolg is een steeds lagere afbraaksnelheid naarmate de tijd vordert. In het model van Janssen (1984) worden geen aparte pools onderscheiden, maar neemt de specifieke afbraaksnelheid af met de tijd, met uiteindelijk een vergelijkbaar resultaat als de modellen met meerdere pools. De berekeningen in deze deskstudie zijn uitgevoerd met het eenvoudige spreadsheetmodel XCLNCE (Zwart, 2002).

Het spreadsheet model XCLNCE (Zwart, 2002) bevat twee organische stof pools, bodem organische stof en organische stof die wordt toegevoegd via mest, compost, gewasresten etc. Het C/N quotiënt van de eerste pool wordt verondersteld gelijk te zijn aan 10. De afbraak van deze pool wordt bepaald door het initiële organische stofgehalte, hoe hoger het initiële organische stofgehalte, hoe lager de

afbraaksnelheid. Deze benadering is vergelijkbaar met die van Wadman & De Haan (1997) en is ook gebaseerd op een deel van dezelfde dataset (alleen gronden met een afslibbaar kleigehalte lager dan 40%). Wadman & De Haan (1997) beschrijven de resultaten van de organische stofafbraak in landbouwgrond gedurende incubatieproef van twintig jaar met gronden van meer dan 30 verschillende locaties met een sterk uiteenlopend gehalte aan klei, zand en organische stof. Het afbraakpatroon werd goed beschreven volgens drie curven: een 1^e orde curve zonder inerte fractie, een 1^e orde curve met inerte fractie en die volgens het model van Janssen (1984). Statistisch gezien beschreef de 1^e orde curve met een zekere inerte fractie van de organische stof de gemeten afbraak het beste, maar de verschillen met de beide andere curven waren gering.

In XCLNCE is geen fractie inerte organische stof opgenomen en verloopt de afbraak dus volgens een 1^e orde reactie. Zowel in het model van Wadman & De Haan (1997), als in XCLNCE, wordt de specifieke afbraaksnelheid van de organische stof uit de bodem zelf sterk bepaald door het initiële organische stofgehalte. Hoe hoger het initiële organische stof gehalte, hoe lager de specifieke afbraaksnelheid. In het model van Wadman & De Haan is de afbraaksnelheid in gronden met een hoog organische stof gehalte lager dan die in gronden met een laag gehalte; maar loopt de afbraak in het eerste geval langer door. Op deze manier kan de afbraak van de organische stof van elke grond worden berekend op basis van het initiële gehalte.

2.5 Effect bemesting met organische mest en gewasresten

Met organische mest, compost en gewasresten wordt organische stof aangevoerd; ze zijn alle te beschouwen als een organische meststof. Ook de organische stof uit dergelijke meststoffen is onderhevig aan afbraak en in XCLNCE wordt de afbraak eveneens berekend met behulp van een 1^e orde afbraaksnelheid, waarbij 4 pools worden onderscheiden: zeer gemakkelijk afbreekbaar (eiwit e.d.), gemakkelijk afbreekbaar, moeilijk afbreekbaar en zeer moeilijk afbreekbaar. De verdeling van deze fracties verschilt per organische meststof en elke fractie wordt gekenmerkt door zijn eigen afbraakconstante. Die voor de zeer gemakkelijk afbreekbare pool is gebaseerd op incubatie-experimenten, die van de overige pools zijn gelijk aan die van organische mest en zijn afkomstig van Lammers (1984).

XCLNCE berekeningen zijn uitgevoerd voor diverse biologische bedrijven en voor de Telen met toekomst percelen op Vredepeel en Meterik, waarbij de berekening van de mineralisatie werd getest aan de hand van het gehalte aan anorganische stikstof in de bodem op verschillende tijdstippen in het jaar. De vergelijking met gemeten gehalten was over het algemeen redelijk goed (Zwart, ongepubliceerde resultaten). Ook de voorspelling van het organische stofgehalte in een bodem waaraan meer dan 20 jaar geen organische mest was toegevoerd, of die meer dan 20 jaar stalmest had gekregen verliep redelijk goed (Zwart, 2003).

2.6 Verwijderen van gewasresten

2.6.1 Effect van het verwijderen van gewasresten op de organische stof ontwikkeling

Het effect van het verwijderen van gewasresten is voor deze studie berekend voor een rotatie zoals die de afgelopen jaren op het PPO proefbedrijf Vredepeel in het project Telen met toekomst werd gehanteerd. Deze rotatie bestond uit akkerbouwgewassen (granen, suikerbieten aardappelen en maïs) en akkerbouwmatig geteelde groentegewassen (conservenerwt, sperzieboon en waspeen). De volgende situaties zijn onderzocht:

1. Bemesting met kunstmest, gewasresten blijven op het land achter; dit is vergelijkbaar met het Analyse-2 systeem uit *Telen met toekomst*.
2. Volledig verwijderen van alle bovengrondse gewasresten, inclusief de bovengrondse delen van groenbemesters; voor stoppels en de ondergrondse delen van gewassen en groenbemesters is aangenomen dat die 5% van het totale gewas innemen en dat die nog steeds op het perceel achterblijven.

3. Verwijderen van gewasresten en verwerken tot compost die vervolgens weer wordt teruggebracht op het perceel, voorafgaand aan aardappel of suikerbiet. Daarbij is aangenomen dat de samenstelling van de compost gelijk is aan die van GFT compost en dat er per keer 10 ton compost kon worden opgebracht. Niet nagegaan is of deze hoeveelheid realistisch is indien alle gewasresten worden gecomposteerd.
4. Als 1, maar dan in bemesting met RDM en kunstmest voor granen, maïs, aardappelen en suikerbieten. De eerste stikstofgift werd gegeven met RDM waarbij de hoeveelheid RDM gelijk was aan 1/0,75 van die van kunstmest (werkingscoëfficiënt van RDM is 75% ten opzicht van kunstmest). Bij vervolggiften (NBS bijvoorbeeld) werd steeds kunstmest gebruikt.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een periode van 32 jaar (4 volledige rotaties) met 2001 en 2002 als vaste weerjaren. In de berekeningen is uitgegaan van de situatie op de Analyse-2 percelen van het PPO proefbedrijf Vredepeel in 2002. In Analyse-2 werd geen dierlijke mest gebruikt, werden zoveel mogelijk groenbemesters geteeld en was de dubbelteelt conservenerwt en boon vervangen door conservenerwt en bladrammenas. Voor elk gewas is in alle jaren de bemesting en de stikstofonttrekking van het jaar 2002 genomen. Om ook het effect van dierlijke mest te berekenen is in scenario 4 bij aardappelen en suikerbieten de eerste kunstmestgift vervangen door dunne rundveemest, waarbij werd uitgegaan van een werkingscoëfficiënt van 75%. De gewassen die 10 ton compost kregen in het voorjaar in scenario 3, zijn aangemerkt in tabel 2.3.

Tabel 2.3. Rotatie zoals gebruikt in de XCLNCE berekeningen en de gebruikte groenbemestingsgewassen en de gewassen waaraan GFT compost is toegediend.

Jaar	Gewas/groenbemester	Groenbemester	Compostgift
1	Triticale	Bladrammenas	
2	Waspeen		
3	Aardappel (vroeg)	Bladrammenas	10 ton
4	Suikerbiet (laat)		10 ton
5	Snijmaïs	Zomergerst	
6	Conservenerwt	Bladrammenas	
7	Aardappel (laat)		10 ton
8	Suikerbiet (vroeg)	Bladrammenas	10 ton

Het effect van de verschillende bemestingen en het verwijderen van gewasresten op het organische stofgehalte na 32 jaar is vervolgens berekend en de resultaten staan vermeld in tabel 2.4, het uitgangshehalte was 4,7%.

Tabel 2.4. Organische stof gehalte op Vredepeel na 32 jaar en verandering in bruto stikstofmineralisatie (kg N ha⁻¹ jaar⁻¹) uit bodem, organische mest en gewasresten bij 4 verschillende scenario's (zie tekst). De getallen tussen haakjes geven minimum en maximum mineralisatie uit gewasresten weer.

Scenario	% Organische stof	Verloop stikstofmineralisatie bodem (jaar 1 en jaar 32)	Gemiddelde stikstofmineralisatie uit RDM en gewasresten (minimum-maximum)
1	3,7	88-65	109 (72-164)
2	3,5	88-65	15 (9-26)
3	3,8	88-65	33 (22-43)
4	4,3	88-65	117 (72-178)

Het percentage organische stof daalde in alle berekeningen, ook indien dunne rundveemest werd gebruikt. In dat geval was de daling wel het geringst (0,4%). De verschillen tussen het volledig verwijderen van gewasresten, het volledig achterlaten en het weer terugbrengen na compostering (bij een volledige kunstmestbemesting) waren vrij gering; in alle gevallen daalde het percentage organische stof ca. 1%. Dat de verschillen klein waren is het gevolg van de betrekkelijk hoge snelheid waarmee de meeste gewasresten worden afgebroken (zeer lage humificatiecoëfficiënten). Dat compost een net iets hoger organisch stofgehalte gaf dan volledig achterlaten van de gewasresten komt waarschijnlijk door de aannames over

hoeveelheden en samenstelling van de compost.

Ook experimenteel was de hoge afbraaksnelheid van gewasresten vastgesteld (Smit & Zwart 2003). Bij het terugvoeren van gewasresten in de vorm van compost blijft het organische stofgehalte even hoog als bij het achterlaten van de gewasresten. Het effect van het verwijderen van de gewasresten op de stikstofmineralisatie is echter groot (tabel 2.4). XCLNCE berekent de mineralisatie uit de organische stof van de bodem en die van organische mest en gewasresten apart en in de berekeningen blijven beide pools gescheiden (N.B. voor de berekening van het organische stofgehalte worden beide pools weer bij elkaar opgeteld). Daardoor daalt in alle scenario's de mineralisatie uit de bodemorganische stof op dezelfde wijze en wel van 88 naar 65 kg N jaar⁻¹. Bij gebruik van dunne rundveemest is de mineralisatie uit mest en gewasresten gemiddeld 117 kg N jaar⁻¹. Bij gebruik van alleen kunstmest daalt deze mineralisatie naar 109 kg N jaar⁻¹. De variatie per jaar is vrij groot en hangt sterk af van de hoeveelheid en de samenstelling van de gewasresten. Het volledig verwijderen van de bovengrondse gewasresten zorgt voor een sterke daling in de stikstofmineralisatie tot ca. 15 kg N jaar⁻¹. Na het terugvoeren van de gewasresten in de vorm van compost, stijgt de stikstofmineralisatie weer tot 33 kg N jaar⁻¹.

2.6.2 Effect op de beschikbaarheid van stikstof voor gewassen

Het effect van de lagere stikstofmineralisatie op de gewasgroei kan niet worden berekend, doordat in XCLNCE de gewasgroei zelf niet wordt berekend. De te verwachten stikstofopname wordt ingevoerd en de stikstofopname verloopt via een logistische curve (France & Thornley, 1984). Elke dag wordt gekeken of er voldoende minerale stikstof in de bovenste 30 cm aanwezig is om aan de vraag van die dag te voldoen. Indien dat niet het geval is wordt de berekende stikstofopname geremd, waardoor de uiteindelijk berekende opname lager is dan wat er in werkelijkheid is gerealiseerd. Deze wijze van berekenen zegt daardoor iets over de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof. Daardoor kan onderzocht worden in hoeverre verschillende maatregelen de hoeveelheid beschikbare stikstof beïnvloeden.

In de berekeningen voor deze deskstudie is uitgegaan van een verwachte maximale stikstofopname die gelijk was aan die welke in 2002 door de verschillende gewassen werd gerealiseerd. De opname van 2002 is gedurende de gehele periode van 32 jaar opgevoerd als de te verwachten stikstofopname.

De maximum (= gerealiseerde) opname en de door XCLNCE berekende beschikbaarheid van stikstof voor het jaar 2002 staan weergegeven in tabel 2.5. Voor scenario 1 is de berekende beschikbaarheid vergeleken met de werkelijk gemeten opname.

Tabel 2.5. Gemeten gewasopname van stikstof in 2002 op de Analyse-2 percelen van Vredepeel en de berekende beschikbaarheid volgens scenario 1, berekend met XCLNCE. Scenario 1 komt overeen met de werkelijk uitgevoerde bemesting.

Gewas	Gemeten gewasopname	XCLNCE Scenario 1	% van gemeten
Waspeen	184	179	97
Triticale	121	119	98
Aardappel vroeg	180	176	98
Suikerbiet vroeg	206	205	100
Snijmaïs	203	187	92
Conservenerwt	100	90	90
Aardappel laat	220	220	100
Suikerbiet laat	207	200	97

Voor snijmaïs en voor conservenerwt bleek de berekende beschikbaarheid 10% lager te zijn dan de werkelijke opname. Een mogelijke verklaring voor snijmaïs kan zijn dat dit gewas een deel van de benodigde stikstof uit lagen dieper dan 30 cm betreft, terwijl XCLNCE alleen de bovenste 30 cm in de berekeningen opneemt. Conservenerwt is een speciaal gewas, aangezien dit leguminoze gewas stikstof uit de lucht kan binden tot ammonium-stikstof. In alle jaren van het project Telen met toekomst bleek dat de stikstofopname van conservenerwten veel hoger was dan op grond van bemesting en mineralisatie kon worden verwacht, zodat er dus een aanzienlijke stikstofbinding moet zijn opgetreden. De fractie die door stikstof binding in het gewas is terechtgekomen is niet exact bekend. Voor de huidige berekeningen is aangenomen dat 100 kg N afkomstig zou zijn uit de minerale stikstof in de bodem en de rest het gevolg was geweest van stikstofbinding, maar die aanname berust niet op werkelijke metingen. In de berekeningen bleek 90 kg N

beschikbaar te zijn in de bovenste 30 cm gedurende de groeiperiode van conservenerwt. In alle scenario's was de berekende beschikbare hoeveelheid minerale stikstof voor conservenerwt even groot. Van de overige gewassen kwam de werkelijk opgenomen stikstof goed overeen met de berekende beschikbaarheid. (N.B. De berekende beschikbaarheid kan nooit groter zijn dan de gemeten opname, omdat die gelijk is gesteld aan de maximum op te nemen hoeveelheid! Door de bemesting te verlagen of de te verwachten productie te verhogen, kan wel worden gekeken of er meer minerale stikstof beschikbaar is dan nodig voor de gewasopname).

Tabel 2.6. Berekende stikstofbeschikbaarheid over een periode van 32 jaar volgens verschillende scenario's (zie tekst paragraaf 2.6.1). De gemeten opname is gelijk aan 4 keer de som van de werkelijke opname in 2002 (zie tabel 2.5).

	Stikstofopname / beschikbaarheid hoofdgewassen	% ten opzichte van de gemeten opname	Berekende stikstofopname groenbemesters
Gemeten gewasopname	5684	100	
1	5452	96	549
XCLNCE 2	5398	95	487
Scenario 3	5332	94	492
4	5419	95	531

In tabel 2.6 is de gewasopname gesommeerd over 32 jaar weergegeven. Er is verondersteld dat de gemeten opname gedurende deze periode gelijk is gebleven. De berekende opname is berekend over een periode van 32 jaar. Daarin is onderscheid gemaakt tussen de opname van de hoofdgewassen en die van de groenbemesters. Uit de resultaten van tabel 2.6 blijkt dat de stikstofbeschikbaarheid voor de hoofdgewassen tussen de verschillende scenario's nauwelijks verschilt. Het verschil tussen scenario 1 en de gemeten opname komt vooral op conto van de gewassen maïs en conservenerwt (zie eerdere opmerking daarover). Daardoor kan worden geconcludeerd dat zelfs bij het volledig verwijderen van de gewasresten de stikstoflevering bij de gehanteerde bemesting niet in gevaar lijkt te komen. Bij deze conclusie is wel enige voorzichtigheid geboden. Over het algemeen gaan modelberekeningen gepaard met onzekerheden en XCLNCE is daarop geen uitzondering. Zo is de berekende denitrificatie XCLNCE zeer laag. De denitrificatieberekeningen zijn gebaseerd op Lammers (1984) en voor zandgronden is de denitrificatie gering. Ook denitrificatiemetingen op Vredepeel laten een lage activiteit zien, maar toch is de kans aanwezig dat denitrificatie in de bouwvoor wordt onderschat. In dat geval zou de beschikbaarheid van stikstof dalen. Desondanks roept de getrokken conclusie de vraag op of er dan zelfs niet op de stikstofbemesting bezuinigd zou kunnen worden.

2.6.3 Effecten verwijderen gewasresten op de uitspoeling

Verwacht mag worden dat de verliezen het laagst zijn bij het volledig verwijderen van de gewasresten. De uitspoeling kan met XCLNCE alleen worden berekend als een verlies uit de bovenste 30 cm als gevolg van neerslagoverschot. Aangenomen mag worden dat in werkelijkheid een deel hiervan nog door dieper liggende wortels kan worden opgenomen, maar globaal gezien vormt dit verlies toch een aanzienlijk risico voor uitspoeling naar het grondwater. De uitspoeling is berekend over de gehele periode van 32 jaar en vervolgens gedeeld door 32. Op die manier is een globaal jaargemiddelde berekend en dit is weergegeven in tabel 2.7. Volgens de berekeningen zou bij het volledig verwijderen van gewasresten en ook na het terugbrengen hiervan in de vorm van compost, de uitspoeling met 25% kunnen worden teruggebracht.

Tabel 2.7. Berekende uitspoeling van stikstof uit de bovenste 30 cm voor vier verschillende scenario's (zie tekst paragraaf 2.6.1).

XCLNCE Scenario	Totale uitspoeling over 32 jaar kg per ha	Per jaar	% t.o.v. scenario 1
1	2993	94	100
2	2234	70	75
3	2234	70	75
4	2688	84	90

Bij de berekening valt nog de volgende kanttekening te maken. Er is bij de berekeningen uitgegaan van een rotatie zoals die de afgelopen jaren op Vredepeel plaatsvond. In het toekomstige onderzoek zal die rotatie worden gewijzigd, doordat ook bloembollen, groentegewassen en bomen in het teeltplan zullen worden opgenomen. Over de effecten daarvan op mineralisatie en het organische stofgehalte kan nog geen uitspraak worden gedaan, zolang de rotatie nog niet bekend is.

2.7 Conclusies

1. Organische stof speelt een belangrijke rol in een aantal bodemchemische, bodemfysische en biologische processen.
2. Voor het berekenen van de effecten van verwijderen van gewasresten op het organische stof gehalte, de stikstofbeschikbaarheid voor de hoofdgewassen en de uitspoeling zijn vier scenario's doorgerekend:
 - a. De huidige bemesting op het analyse-2 deel van Vredepeel, met alleen gebruik van kunstmest en het volledig inwerken van gewasresten en groenbemesters.
 - b. Als a, maar dan met volledige verwijdering van gewasresten en groenbemesters.
 - c. Als b, maar dan na terugbrengen van de gecomposteerde gewasresten en groenbemesters.
 - d. Als a, maar dan met dunne rundveemest in plaats van de eerste kunstmestgift en een werkingscoëfficiënt van dunne rundveemest van 75%.
3. Door het volledig verwijderen van gewasresten en de opbrengst van groenbemesters, daalt in berekeningen het organische stofgehalte in de bodem van het proefbedrijf Vredepeel in 32 jaar van 4,7% naar 3,5%. Wanneer de gewasresten weer worden teruggebracht in de vorm van compost is de daling iets geringer (wordt 3,8%). Echter, ook bij het volledig inwerken van gewasresten en groenbemesters en gebruik van alleen kunstmest, treedt een daling op tot 3,7% en bij zoveel mogelijk gebruik van dunne rundveemest blijft de daling beperkt tot 4,3%.
4. De stikstofbeschikbaarheid voor de hoofdgewassen blijft gelijk bij alle scenario's wat erop zou kunnen duiden dat de stikstofbemesting nog verlaagd zou kunnen worden.
5. De uitspoeling uit de bovenste 30 cm wordt met 25% verlaagd bij het volledig verwijderen van gewasresten, ook nadat deze in de vorm van compost weer zijn teruggebracht.

3 Gebruik van gewasresten als veevoeder

Vincent Hindle & Henk Valk (Animal Science Group)

De voederwaarde van (rund)veevoer is vooral gebaseerd op het gehalte aan energie en eiwit en de aard van het product. Verder is het gehalte aan mineralen en vitaminen van belang, maar de laatste zijn, behalve in rantsoenen met overwegend snijmaïskuilvoer in het algemeen voldoende aanwezig.

De energiewaarde wordt voor melkvee uitgedrukt in VEM (Voedereenheid melk) en voor vleesvee in VEV (voedereenheid vleesvee intensief). Voor eiwit worden vier verschillende waarden gehanteerd, RE (ruw eiwit), DVE (darmverteerbaar eiwit), OEB (onbestendig eiwitbalans) en VRE (Voedernorm ruweiwit). RE is een maat voor het totale stikstofgehalte, DVE is van belang voor de eiwitbehoefte van herkauwers en de OEB waarde van het rantsoen geeft inzicht of er in de pens voldoende stikstof N aanwezig is. Op rantsoenbasis mag de OEB niet negatief zijn omdat dan de pensmicroben niet voldoende groeien en de afbraak van het voer wordt geremd. VRE is speciaal voor paarden als niet-herkauwer. De structuurwaarde (SW) is gebaseerd op het Belgische systeem en moet voor een koe die 25 kg melk geeft met 4,4% vet tenminste 1 zijn (CVB, tabellenboek 2004).

Bij silage is het drogestofgehalte van groot belang, hoe lager het drogestofgehalte, hoe groter de hoeveelheid fermentatieproducten alcohol en melkzuur. Deze gaan vrijwel direct door de penswand naar de bloedbaan, zodat ze direct door het dier gebruikt kunnen worden.

Om gewasresten te kunnen beoordelen op hun kwaliteit als veevoer zijn de bovenstaande kwaliteitsnormen onderzocht met behulp van tabellen van het Centraal Veevoedingsbureau (CVB). Een uitgebreide lijst met de voeder- en structuurwaarde is weergegeven in Bijlage 1. De gehalten die voor gewasresten worden gehanteerd zijn vervolgens vergeleken met een aantal standaardwaarden die gelden voor weidegras, ingekuild gras en snijmaïskuil.

Hier worden de resten alleen beoordeeld op de normen voor de bovengenoemde eenheden plus het drogestofgehalte. Verder is de beoordeling beperkt tot het gebruik voor melkvee. Veel gewassen of gewasresten hebben een VEM die gelijk is of hoger dan die van gras of snijmaï(skuil) en hetzelfde geldt voor DVE. In tabel 3.1 staan de gewasresten waarvan de VEM en DVE waarde gelijk of hoger is dan 80% van die van verse snijmaïs. Al deze materialen zijn in principe ook geschikt voor vleesvee. In principe voldoet een groot aantal gewassen en gewasresten (inclusief die welke als groenbemester worden gebruikt) dus aan de belangrijkste criteria voor melkveevoeder. Globaal kan worden gesteld dat zetmeel interessant is voor hoogproductieve koeien. Teveel suikers wordt vermeden in verband met pensverzuring evenals ook een te hoge OEB waarde die zal leiden tot onnodig stikstofverlies. Dit bovenstaande zal uiteraard afhangen van de mate waarin het materiaal beschikbaar is, van de opname en van de inpasbaarheid in het rantsoen. In de praktijk wordt ook een aanzienlijk deel van de materialen die afkomstig zijn uit de voedingsindustrie, gebruikt als veevoer. Dat geldt in mindere mate voor gewasresten, maar in het recente verleden werden bietenblad en bietkoppen veel gebruikt als veevoer. Bij de huidige wijze van bietenoogst worden deze onderdelen niet meer opgevangen, maar ter plekke versnipperd (blad) en meestal snel na de oogst van de bieten ondergewerkt. Die praktijk zou moeten worden aangepast om het materiaal weer als veevoer in te zetten. Hetzelfde geldt voor een aantal andere gewassen, die bij de oogst voor een groot deel worden verpulverd (erwten, bonen) (Handboek voor de rundveehouderij, IKC 1993).

Tabel 3.1. Veevoederwaarde van gewassen en gewasresten die gelijk of hoger is dan 80% van de voederwaarde van verse snijmaïs (ds (drogestof) in g kg-1; As (asgehalte) en overige (zie tekst) in g kg-1 ds).

Materiaal	DS	AS	RE	VEM	DVE	OEB	VEVI
Aardappelen, rauw, kuil	350	90	90	1048	55	-17	1152
Aardappelen, vers		63	102	1088	57	3	1197
Aardappelschillen, kuil		80	93	1006	50	-10	1081
Aardappelsnippers, rauw	231			1130	64	-32	1249
Andijvie vers		164	290	954	119	88	1015
Appelen, vers				1120	79	-110	1238
Augurk, vers		84	226	905	108	45	937
Bieten, rode/kroten		98	123	1058	85	-30	1161
Bietenblad met koppen, vers		200	151	873	64	26	931
Bietenblad, vers		200	182	860	67	53	910
Bladrammenas, vers		176	214	818	70	66	837
Bloemkool vers		138	295	1131	114	97	1245
Cichoreiloof, vers		202	189	835	63	64	870
Erwtenloof, vers		93	184	822	74	41	822
Komkommer, vers		102	156	907	91	-1	953
Kool (rode/witte/savooie), vers		55	164	1045	90	4	1112
Kool blad, vers		150	201	969	84	42	1032
Kool, merg-, vers		130	172	972	81	19	1034
Koolrapen, vers		130	134	1013	72	0	1102
Lijnzaad	910	52	240	1805	75	121	2024
Paprika, vers		62	163	864	81	13	880
Peren, vers				1098	74	-155	1205
Prei, vers		97	165	970	80	24	1034
Sla, vers		175	237	996	106	59	1032
Snijgraan (stoppelgewas), vers		120	150	852	71	4	873
Spinazie vers		186	256	953	106	71	1019
Spruitenkoppen & stengels, vers		110	187	1006	88	27	1073
Spruitkool vers		84	227	1124	106	45	1226
Stoppelknollen met loof, vers		181	183	1000	75	40	1094
Tomaten, vers		90	164	973	93	5	1032
Tulp, bollen, kuil	435			1180	85	-62	1311
Veldbonen (vicia faba), kuil		134	135	1088	86	-18	1201
Wortelen (winterpeen), vers		100		1099	76	-69	1228
Wortelstoomschillen, vers		94		1082	75	-57	1198
Witte kool vers		131	91	1065	84	-50	1175
Witte kool, afval		55	164	1045	90	4	1112
Zonnebloemen, kuil		150	201	969	84	42	1032

4 Compostering van gewasresten

Adrie Veeken (Agrotechnology & Foodinnovations) & Loes Kater (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving)

In dit deel wordt besproken of compostering een geschikte methode is om gewasresten te verwerken. Daarbij wordt er naar gestreefd dat de verwerking plaats vindt met minimale nutriëntenverliezen en dat een organische meststof kan worden geproduceerd die past bij de behoefte van de gewassen. De volgende onderwerpen worden hier besproken:

- Achtergrond van de techniek van compostering (paragraaf 4.1.2).
- Technische beoordeling van het composteringsproces voor gewasresten (paragraaf 4.4.1).
- Nutriëntenverliezen bij compostering (gericht op N) (paragraaf 4.2).
- Overall beoordeling van gewasresten voor compostering (paragraaf 4.4.2 – paragraaf 4.4.4).

4.1 Het composteringsproces

4.1.1 Definities

Omdat in de praktijk vaak verschillende definities voor composteren en compost worden gebruikt, zijn hier allereerst expliciet de definities gegeven die aanvaard zijn in de wetenschappelijke wereld (Haug, 1993). Composteren wordt gedefinieerd als:

Het gecontroleerde, aërobe proces dat onder invloed van microbiologische activiteit leidt tot afbraak en stabilisatie van organische stof en waarbij gedurende een bepaalde periode het thermofiele temperatuurtraject wordt doorlopen (50-60 °C).

Hieruit volgt automatisch de definitie voor compost:

Een organische bodemverbeteraar waarin de organische stof gestabiliseerd is tot een humusachtig product, vrij is van ziektekiemen en plantenzaden, geen insecten en ongedierte aantrekt, geurvrij kan worden opgeslagen en de plantengroei bevordert.

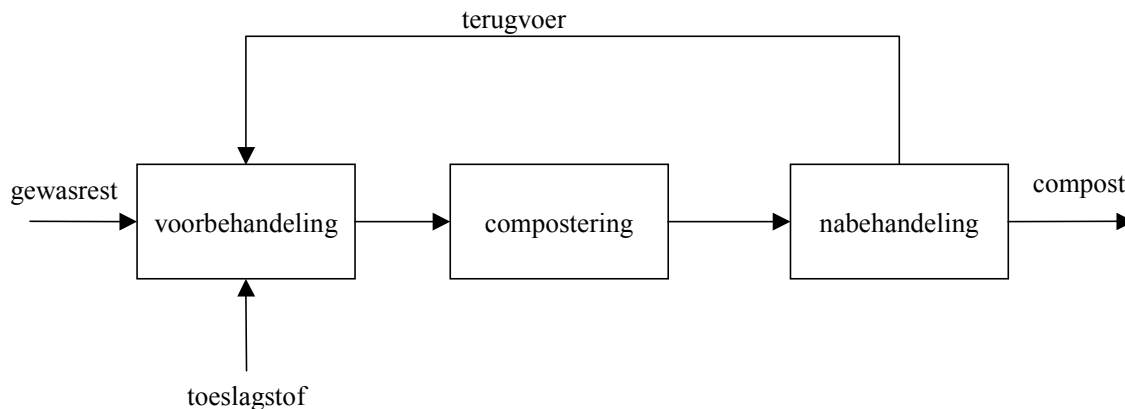
Bij een goed verlopend composteringsproces vinden de volgende processen plaats:

- Massa- en volumereductie door waterverwijdering en afbraak van organische stof.
- Afbraak van organische stof tot een bepaald stabiliteitsniveau.
- Doding van pathogenen en plantenzaden doordat een thermofiele fase in het composteringsproces is doorlopen.

Willen deze processen binnen een bepaald tijdsbestek verwezenlijkt worden dan moet de luchttoevoer naar de composthoop goed geregeld zijn. De luchtvoorziening zorgt voor voldoende aanvoer van koele, zuurstofrijke lucht en de afvoer van warme, waterverzadigde lucht. Onder dergelijke condities zullen de micro-organismen optimaal functioneren en zal de organische stof binnen afzienbare tijd (2-3 weken) stabiliseren.

4.1.2 Techniek en uitvoering van het composteringsproces

In figuur 4.1 is een stroomdiagram van het composteringsproces gegeven. In de eerste stap wordt het materiaal voorbehandeld om het materiaal geschikt te maken voor de compostering. In de tweede stap wordt de eigenlijke compostering uitgevoerd. In de derde stap wordt het materiaal nabehandeld zodat een bruikbaar product (de compost) wordt afgeleverd. Eventueel kan een vervolgstap worden ingebouwd waarin de compost wordt nagerijpt. De narijpsfase wordt in dit hoofdstuk niet behandeld.



Figuur 4.1. Stroomschema van het composteringsproces.

Voorbehandeling

In vele gevallen wordt er een voorbehandeling toegepast om het inkomende materiaal geschikt te maken voor composteren. Er zijn hierbij twee aspecten te onderscheiden:

- De structuur van het materiaal.
- De samenstelling van het materiaal.

De structuur van het materiaal moet de beluchting van de composthoop garanderen (Veeken e.a., 2003). De belangrijke aspecten hierbij zijn porositeit, permeabiliteit en inklinking (zie bijlage 2). De samenstelling van het uitgangsmateriaal heeft invloed op het composteringsproces, de stikstofemissies en samenstelling van de compost. Met een voorbehandeling van het materiaal kan de samenstelling geoptimaliseerd worden. Enkele voorbeelden van voorbehandelingsstappen zijn:

- Verbeteren van de structuur door toevoeging van structuurrijk materiaal.
- Toevoegen droog materiaal zodat een nat uitgangsmateriaal toch gecomposteerd kan worden.
- Toevoegen C-rijk materiaal zodat het C/N gehalte van de mest verhoogd wordt en de ammoniakemissies gereduceerd kunnen worden.
- Toevoegen energierijk materiaal zodat de geproduceerde warmte wordt verhoogd en betere droging plaats vindt.
- Zeven zodat grote deeltjes niet wordt mee gecomposteerd.
- Verkleinen van het materiaal zodat de afbraak van organische stof sneller verloopt.

Compostering

Het centrale deel van het composteringsproces, de compostering zelf, kan op vele manieren worden uitgevoerd. Het composteringssysteem wordt ingedeeld aan de hand van de hoeveelheid tijd en energie (dus kosten; zie paragraaf 4.1.3) die erin gestoken wordt:

- Intensieve processen.
- Extensieve processen.

De belangrijkste procesvariabelen hierbij zijn:

- Beluchting: passief of geforceerd.
- Menging: statisch, periodiek omzetten, (semi)continue menging.
- Systeem: in de open lucht, afgesloten ruimte of reactor.

Intensieve composteringssystemen maken gebruik van omzetmachines en geforceerde beluchting met ventilatoren om de lucht door de hoop te blazen. Het systeem kan wel of niet in een gesloten reactor worden uitgevoerd. Het nadeel van intensieve systemen zijn de hoge investeringen en operationele kosten. Een groot voordeel is dat het proces goed geregeld en gestuurd kan worden. Hierdoor wordt de kwaliteit en samenstelling van de compost beter gegarandeerd en worden schadelijke milieuemissies effectief aangepakt.

In het extensieve composteringssysteem wordt de lucht via natuurlijke convectie aangevoerd en worden de composthopen meestal in de open lucht geplaatst met eventueel een overkapping. De voordelen van het extensieve systeem zijn de lage kosten en de eenvoudige uitvoering. Een nadeel is het gebrek aan sturings- en regelmogelijkheden van het composteringproces. Hierdoor zijn de procesparameters

(temperatuur en zuurstofgehalte) en de kwaliteit van het product moeilijker te voorspellen en zijn schadelijke milieuemissies moeilijk te controleren.

Nabehandeling

De belangrijkste nabehandelingstap is het zeven van de compost tot een verpakkbaar, hanteerbaar of te vermarkten product. In de meeste gevallen wordt de compost afgezeefd op 10-15 mm waarbij de doorloop het eindproduct vormt en de overloop eventueel kan worden teruggevoerd als toeslagstof in de voorbehandeling.

Factoren die de compostering beïnvloeden

De volgende factoren zijn primair verantwoordelijk voor het verloop van het composteringsproces:

1. **Vochtgehalte.** Als er onvoldoende vocht aanwezig is, wordt de microbiële activiteit geremd. Als regel wordt een vochtgehalte >40% (op gewichtsbasis) aangehouden voor optimale microbiële activiteit. Volledige inactiviteit treedt op rond 20% vocht. Bij een te hoog vochtpercentage worden echter de luchtporiën van het compostbed gevuld met water. Hierdoor kan de lucht (zuurstof) niet voldoende plaatsen bereiken wat leidt tot een lage afbraaksnelheid en de productie van geurverbindingen in de anaërobe zones. Het optimale vochtgehalte hangt af van het type materiaal maar ligt voor de meeste materialen tussen 40-70 %.
2. **Zuurstofgehalte.** Er moet een voldoende hoog zuurstofgehalte in de poriën van de hoop heersen om aërobe afbraak te garanderen. Onder anaërobe condities vormen zich broeikasgassen (methaan en lachgas) en geurverbindingen. Te lage zuurstofgehalten komen voor bij een lage porositeit en hoog vochtgehalte van het materiaal.
3. **Temperatuur.** De maximale afbraaksnelheid ligt rond 50-60 °C. Bij lagere temperatuur daalt de afbraak met een factor 2 per 10 °C (de afbraak loopt dus bij 55 °C ongeveer 10 maal sneller dan bij 20 °C!). Bij hogere temperaturen daalt de activiteit van micro-organismen snel en zijn micro-organismen volledig inactief rond 65-70 °C.
4. **Deeltjesgrootte.** De afbraaksnelheid wordt bepaald door de hydrolyse van het vaste substraat (polymeer materiaal zoals polysachariden, eiwitten, lignine). Hydrolyse vindt plaats aan het oppervlak van de deeltjes dus zal de afbraaksnelheid toenemen met afnemende deeltjesgrootte, ofwel toenemend specifiek oppervlak. Verkleinen van het materiaal kan dus de afbraak versnellen maar kleinere deeltjes vergroten ook de kans op te lage permeabiliteit en porositeit voor aërobe condities.
5. **C/N verhouding.** Bij de microbiologische afbraak wordt een gedeelte van het substraat gemineraliseerd (dissimilatie) waarbij energie vrijkomt en een ander gedeelte wordt gebruikt voor de aanmaak van nieuwe micro-organismen (assimilatie). De yield (de hoeveelheid nieuw gevormde biomassa per hoeveelheid afgebroken substraat) bij aërobe afbraak bedraagt ongeveer 0,5-0,6, d.w.z. per gram afgebroken cellulose wordt 0,5-0,6 gram biomassa gevormd. De molecuulformule voor biomassa is grofweg $\text{CH}_{1,8}\text{O}_{0,5}\text{N}_{0,2}$. Voor de vorming van 1 gram biomassa is dus ca. 0,1 gram N nodig. Doordat de biomassa zelf ook weer substraat is voor afbraak, wordt een C/N gehalte van 25 als optimaal gezien voor het uitgangsmateriaal voor compostering.

4.1.3 Kosten van het composteringsproces

Door Starmans e.a. (2003) is een uitgebreide economische evaluatie gemaakt van de intensieve en extensieve compostering voor de vaste fractie van mest. Deze cijfers kunnen als richtlijn worden gebruikt voor de compostering van gewasresten. De kosten bedragen (Starmans e.a., 2003):

- Extensieve compostering (in ruggen op vloeistofdichte vloer): € 5,50 per ton uitgangsmateriaal.
- Intensieve compostering (vloeistofdichte vloer in een afgesloten hal; actieve beluchting en twee keer per week omzetten; ventilatielucht wordt door zuurwasser geleid): € 36 per ton uitgangsmateriaal.

4.1.4 Regelgeving

Er zijn diverse besluiten die voor composteren op eigen bedrijf van belang zijn, zoals het “Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen” en het “Besluit kwaliteit en gebruik van overige organische meststoffen” (BOOM). Deze wetten en besluiten zijn allemaal terug te vinden op de website <http://wetten.sdu.nl>. In het “Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen” wordt aangegeven dat een bedrijf niet zonder vergunning afvalstoffen kan aanvoeren naar het bedrijf om te verwerken. Onder afvalstoffen vallen onder andere GFT-afval, houtafval, plantaardig afval afkomstig van land- of tuinbouw en

plantsoen- of groenafval. Voor aanvoer van een van deze producten naar het bedrijf om de eigen composthoop aan te vullen is een vergunning nodig. Het bedrijf wordt dan volgens de wet gezien als afvalverwerkend bedrijf. Voor het composteren op eigen bedrijf is ook de Wet op verontreiniging oppervlakte water van belang (van 't Riet & van Dam, 2003).

Onderstaande eisen gelden voor een composteringsplaats voor eigen organisch restmateriaal bij bedrijven met open teelt met composteringshopen groter dan 10 m² grondoppervlak, of meerdere kleinere composteringshopen op een bedrijf, waarvan het gezamenlijke grondoppervlak meer is dan 10 m² (Anoniem, 2003) Voor kleinere composteringshopen geldt alleen de vereiste afstand tot waterlopen, zoals die is vastgelegd in het Lozingenbesluit.

Afstand tot woningen

Een composteringshoop mag niet dichterbij de eigen woning liggen dan 50 m en niet dichterbij dan 100 m bij een woning van derden. Dit is ter voorkoming van stankoverlast.

Afstand tot waterlopen

Een composteringshoop moet minstens 5 m verwijderd liggen van de insteek van de dichtstbijzijnde waterloop, om het gevaar van uitspoeling en afstroming van water rijk aan nutriënten van de hoop naar het oppervlaktewater te beperken.

Samenstelling en omvang van de composteringshoop

Een composteringshoop mag worden samengesteld uit:

- Niet-dierlijk organisch restmateriaal van eigen bedrijf, opgeslagen op een hoop, vers of meer of minder verteert.
- Hulpstoffen ter verbetering van het composteringsproces of de te produceren compost (waaronder mogelijk dierlijke mest), tot 50 volumepercent van de composteringshoop.

Het drogestofgehalte van het de composteringshoop moet minstens 30% bedragen. Dit is meestal wel het geval bij compostering van gewasresten van een afgestorven gewas, gebruikt stro en pelresten. Wanneer compost alleen uit verse gewasresten bestaat (b.v. gewasresten van groentegewassen en liliereesten uit de broeierij) is het droge stofgehalte lager dan 30%. Er moet droger materiaal toegevoegd worden om het drogestofgehalte te verhogen. Per perceel mag niet meer dan 500 m³ composteringshoop worden aangelegd.

Voorkomen van uitspoeling uit de composteringshoop

Het risico van belasting van de bodem met uitgespoelde nutriënten uit een composteringshoop neemt toe naarmate de hoop langer op dezelfde plaats ligt. Er worden drie situaties onderscheiden met een verschillend risico op belasting van de bodem:

1. De composteringshoop ligt korter dan twee weken op dezelfde plaats. In geval van overmacht (b.v. de hoop kan niet uitgereden of verplaatst worden vanwege onwerkbaar weeromstandigheden) kan de hoop langer op dezelfde plaats liggen.
2. De composteringshoop ligt langer dan twee weken en maximaal negen maanden op dezelfde plaats. Na verwijderen van de hoop wordt deze plaats gedurende twee jaar en drie maanden niet als composteringsplaats gebruikt.
3. De hoop ligt meer dan negen maanden binnen een periode van drie jaar op dezelfde plaats.

Voor deze situaties wordt hieronder aangegeven welke maatregelen minimaal getroffen moeten worden om uitspoeling van nutriënten uit de composteringshoop te voorkomen. Deze maatregelen kunnen desgewenst vervangen worden door de hoop op een vloeistofdichte vloer met opvang van lekwater te leggen.

- Situatie 1: de composteringshoop ligt korter dan twee weken. In dit geval hoeven geen maatregelen getroffen te worden ter voorkoming van uitspoeling van nutriënten.
- Situatie 2: de composteringshoop ligt langer dan twee weken en maximaal negen maanden binnen drie jaar op dezelfde plaats. In dit geval moet de uitspoeling uit de composteringshoop beperkt worden door deze af te dekken met vezeldoek of antiworteldoek in de periode van 1 september tot en met 31 maart. Het doek en de hoop moeten zo neergelegd worden dat water dat van het doek afloopt, niet terug in de hoop kan stromen. In plaats van vezeldoek mag ook een gelijkwaardig materiaal gebruikt worden, dat de percolatie door de composteringshoop in minstens gelijke mate vermindert.

- Situatie 3: de composteringshoop ligt meer dan negen maanden binnen drie jaar op dezelfde plaats. De uitspoeling uit de composteringshoop moet beperkt worden door deze af te dekken met vezeldoek in de periode van 1 september tot en met 31 maart en door aanleg van een adsorptielaag onder de composteringshoop. De adsorptielaag moet aan de volgende eisen voldoen:
 - De laag bestaat uit tuinturf of gelijkwaardig materiaal.
 - Per vierkante meter composteringsplaats wordt minstens 0,15 m³ tuinturf gebruikt, bij een droge bulkdichtheid van 0,5 tot 0,7 kg per liter. Dit leidt er toe dat de laag bij deze bulkdichtheid minstens 15 cm dik is. Dit betekent dat losgestorte tuinturf (droge bulkdichtheid ongeveer 0,14 kg per liter) aanzienlijk verdicht moet worden.
 - De laag ligt onder de hele composteringshoop.
 - De laag wordt gebruikt zolang de hoop er ligt. De tuinturf kan na gebruik worden gebruikt voor organische bemesting van percelen.
 - De laag mag bij het omzetten van de hoop niet beschadigd worden: de dikte moet gehandhaafd blijven zolang de composteringshoop er ligt.

In plaats van deze adsorptielaag mag ook een gelijkwaardige laag van een ander materiaal gebruikt worden, die de uitspoeling van stikstof en fosfaat in minstens gelijke mate vermindert.

4.2 Verlies van nutriënten tijdens composteren

4.2.1 Inleiding

Voor de bemestende waarde van een organische meststof zijn stikstof (N), fosfaat (P) en kalium (K) de belangrijkste nutriënten. Tijdens het composteringsproces kunnen nutriënten op verschillende manieren verloren gaan:

- Door vervluchtiging naar de atmosfeer via de luchtverversing.
- Door uitspoeling naar de bodem via lekwater.
- Via microbiële omzetting (gevolgd door vervluchtiging of uitspoeling).

De elementen P en K en zware metalen zijn conservatieve elementen d.w.z. ze zijn niet vluchtig of onderhevig aan microbiële omzettingen. De enige mogelijkheid van verlies is uitspoeling met het lekwater. Lekwater treedt op als het te composteren materiaal te nat is en door inklinking uit de hoop wordt geperst. Bij een goed functionerende compostering wordt lekwater vermeden omdat een te vochtige, lekkende hoop onvoldoende beluchting geeft en dus de compostering belemmert. Wordt de compostering in de open lucht uitgevoerd dan kan lekwater ontstaan door regenval. Ook dit moet voorkomen vanwege de hierboven beschreven redenen. De intrede van regenwater kan voorkomen worden door:

- De composthoop onder een overkapping te plaatsen.
- De hoop af te dekken met speciaal, luchtdoorlatend en vochtwerend doek (b.v. TopTex®) dat waterverdamping en warmteafvoer mogelijk maakt maar regenwater buiten houdt.

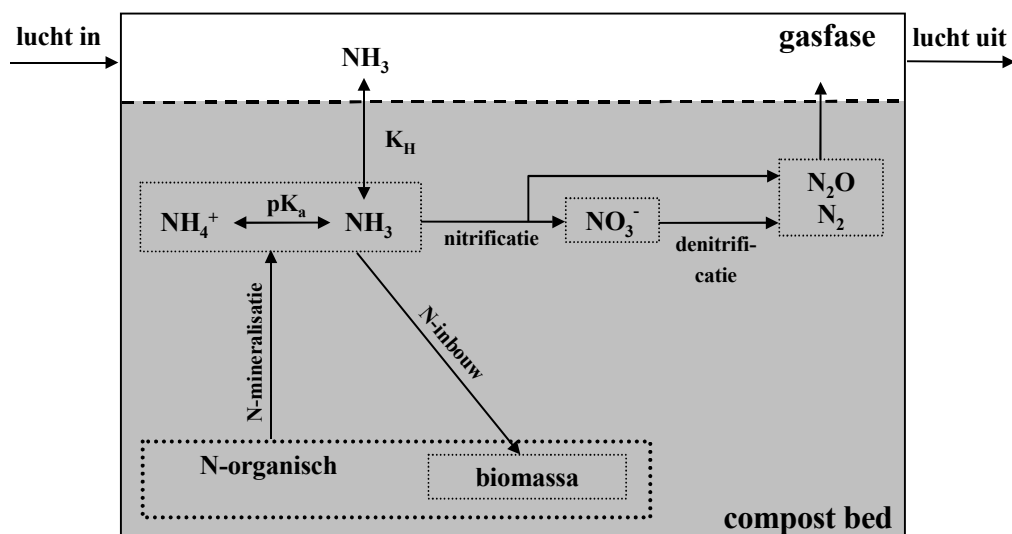
Indien lekwater wordt gevormd wordt het verlies van nutriënten bepaald door de wateroplosbaarheid:

- K is volledig oplosbaar dus sterk onderhevig aan uitloging.
- P is bijna niet oplosbaar dus zeer matig onderhevig aan uitloging; er kunnen echter kleine deeltjes (die P bevatten) uitspoelen met het lekwater.
- NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- zijn volledig oplosbaar en onderhevig aan uitloging.

Door de afbraak van organische stof vindt er een concentratie van nutriënten plaats. Dit komt ten uiting in een toename op basis van het percentage droge stof. De concentratie in compost wordt bepaald door het initiële organische stofgehalte en het afbraakpercentage van de organische stof door compostering (Veeken & Hamelers, 2002).

4.2.2 Gedrag van stikstof tijdens composteren

Het element met de grootste verliezen tijdens compostering is stikstof doordat het via vervluchtiging naar de verversingslucht de composthoop verlaat. De emissies zijn niet te vermijden omdat een composthoop belucht moet worden. In figuur 4.2 zijn de stikstofomzettingen en emissies schematische weergegeven.



Figuur 4.2. Stikstofomzettingen en emissies tijdens de compostering.

Figuur 4.2 geeft aan dat stikstof tijdens het composteren als ammoniak (NH_3), lachgas (N_2O) of stikstofgas (N_2) uit het compostbed verdwijnen. De volgende microbiologische processen bepalen de chemische vorm waarin stikstof voorkomt:

- Afbraak van organische stof: bij de afbraak van organische moleculen (voornamelijk eiwitten en de gevormde biomassa) komt stikstof vrij in de vorm van ammonium. De ammoniakemissie is sterk afhankelijk van pH, temperatuur en beluchtingdebiet.
- Inbouw in biomassa: bij de aërobe afbraak van organisch materiaal wordt een gedeelte van het organisch materiaal gemineraliseerd en uit het andere deel wordt biomassa gevormd (assimilatie).
- Nitrificatie: ammoniak wordt hierbij omgezet in nitriet en vervolgens in nitraat. Deze omzetting vindt alleen plaats in aanwezigheid van zuurstof (aëroob) en bij een temperatuur onder 35°C .
- Denitrificatie: omzetting van nitraat naar lachgas of stikstofgas. Deze omzetting vindt plaats onder anaërobe omstandigheden in aanwezigheid van afbreekbaar organisch materiaal. Normaliter wordt N_2 gevormd maar in aanwezigheid van zuurstof en gebrek aan gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal kan een aanzienlijk deel N_2O worden gevormd.

Het gevormde N_2 en N_2O zijn beide zeer slecht oplosbaar in water en vervluchtigen volledig naar de luchtfase. Ammoniak komt in de vloeistof voor als ammonia (NH_3) en ammonium (NH_4^+). De verhouding tussen deze twee chemische vormen wordt bepaald door de pH. Daarnaast worden zowel de zuur-base constante (pK_a) als de Henry coëfficiënt (K_H , de verdeling van ammoniak over gas en vloeistof) sterk beïnvloed door de temperatuur. In figuur 4.3 is het effect van de pH en temperatuur op de dampspanning van ammoniak gegeven. Bij hogere temperatuur en hogere pH is de dampspanning van ammoniak vele malen hoger zodat dit leidt tot veel hogere ammoniakemissies.

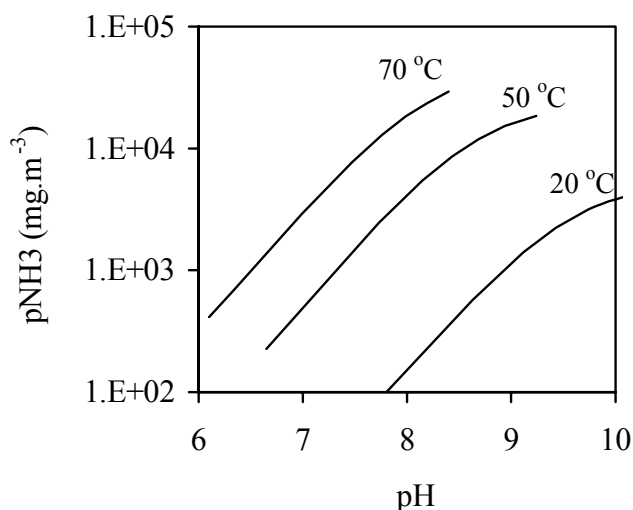
De stikstofverliezen tijdens composteren worden bepaald door de samenstelling van het uitgangsmateriaal en de uitvoering van het composteringsproces. Hierdoor kunnen de gerapporteerde stikstofverliezen sterk variëren. De belangrijkste factoren die de stikstofverliezen tijdens de compostering bepalen zijn:

1. Initiële vormen van stikstof. De belangrijkste vormen van stikstof in (verse) in gewasresten en andere organische reststromen zijn ammonium en organisch gebonden stikstof (N-org). De ammonium die aan het begin aanwezig is direct beschikbaar voor emissie. De partiële dampspanning van ammoniak neemt toe met de temperatuur en pH (zie figuur 4.3). Aannemende dat de partiële dampspanning in evenwicht is, zal ammoniakemissie toenemen met:
 - Toenemend beluchtingdebiet.
 - Hogere temperatuur van het compostbed.
 - Hogere pH van het compostbed.

Hierdoor kan de aanwezige ammoniak binnen een termijn van enkele uren tot dagen volledig uit het compostbed worden geëmitteerd. De aanwezige ammoniak kan in deze korte periode niet worden

ingebouwd in nieuwe biomassa omdat de microbiële afbraak veel minder snel verloopt dan het strippen van ammoniak.

2. C/N verhouding. Zoals eerder beschreven is de C/N verhouding van het uitgangsmateriaal belangrijk voor de compostering. Eigenlijk is het niet de C/N verhouding die belangrijk is maar de verhouding van afbreekbaar koolstof en afbreekbaar N-org. Omdat de afbreekbare fracties aan koolstof en stikstof moeilijk zijn te bepalen wordt de C/N-org verhouding als parameter gebruikt. Bij de afbraak van 1 gram cellulose (C-bron) is ca. 0,1 gram N nodig voor vorming van nieuwe biomassa. Een C/N-org verhouding >10 zou dus betekenen dat alle stikstof kan worden vastgehouden in de composthoop. De biomassa is echter zelf ook weer substraat voor afbraak. De richtlijn voor volledige inbouw van stikstof in biomassa is een C/N-org verhouding van 20-30 (Haug, 1996). Bij een lagere C/N-org verhouding komt stikstof vrij en bij hogere verhoudingen wordt de compostering geremd.
3. Nitrificatie-denitrificatie. Indien de ammoniak niet geëmitteerd is en niet is ingebouwd in nieuwe biomassa, is onder de juiste temperatuurcondities nitrificatie mogelijk. Nitrificeerders hebben een zeer lage groeisnelheid maar bij een voldoende lange composteringstijd is nitrificatie zeker te verwachten tussen 20-35 °C. Bij lagere temperatuur is de groeisnelheid van nitrificeerders zeer laag en bij hogere temperaturen functioneren nitrificeerders niet. Een temperatuur tussen 20-35 °C wordt meestal gevonden aan de buitenkant van (passief beluchte) hopen die in contact staan met de buitenlucht. Het geproduceerde nitraat hoopt zich meestal niet op in de hoop maar is onderhevig aan denitrificatie als er voldoende koolstofbron en anaërobe zones aanwezig zijn in het compostbed.



Figuur 4.3. Effect van pH en temperatuur op de partiële dampspanning van NH₃.

4.2.3 Richtlijnen voor stikstofverliezen tijdens composteren

Het is duidelijk dat de stikstofverliezen tijdens composteren niet eenvoudig te voorspellen zijn. Enkele vuistregels zijn:

- Voor een uitgangsmateriaal met een hoog mineraal NH₄ gehalte en pH>7 is het moeilijk initiële ammoniakemissies te voorkomen.
- Bij een C/N-org boven 30 wordt al de gemineraliseerde stikstof weer vastgelegd in nieuwe biomassa en wordt er geen NH₃ geëmitteerd.
- Emissies zijn sterk gerelateerd aan de techniek van de compostering. Bij intensieve compostering wordt de initieel aanwezige NH₄ direct geëmitteerd als NH₃ terwijl in extensieve systemen een grote kans is dat NH₄ wordt ingebouwd in biomassa of wordt omgezet via nitrificatie-denitrificatie.

Voor de twee meest voorkomende composteringssystemen worden de stikstofverliezen in het kort besproken.

Intensief composteringsproces in gesloten reactorsysteem

In een reactorsysteem met geforceerde beluchting en temperatuurregeling wordt het proces gestuurd op snelle omzetting van organisch materiaal. Hierbij wordt de gehele reactor zo snel mogelijk naar een

temperatuur van 50-60 °C gebracht en zo lang mogelijk op deze temperatuur geregeld. De composteringduur bedraagt 2-4 weken onder optimale omstandigheden. Onder deze omstandigheden wordt de initieel aanwezige ammoniak bijna volledig uit het compostbed gestript door de geforceerde beluchting. De hoge ammoniakconcentraties in de uittredende lucht (>1000 ppm; zoals bij de compostering van mest) kan eenvoudig met een zuurwasser worden opgevangen zodat emissies naar de omgeving worden voorkomen. Deze methode is succesvol beproefd bij de compostering van mest en voor bereiding van champignonsubstraat. Bij lage concentraties aan ammoniak in de uittredende lucht (<100 ppm; zoals bij de compostering van groenafval) kan volstaan worden met een biofilter voor de luchtreiniging. De emissies aan N_2 en N_2O kunnen voorkomen worden door de aërobe condities in het compostbed via een goede beluchting te garanderen.

Stikstofverliezen zijn alleen te voorkomen door het uitgangsmateriaal op een juiste C/N-org verhouding te brengen. Verlies van initieel aanwezig NH_4 kan echter niet voorkomen worden. Eventueel kan de vloeistof van de zuurwasser toegevoegd worden aan de compost of apart worden ingezet als vloeibare meststof.

Extensief composteringsproces met passieve beluchting en regelmatig omzetten

In de systemen met passieve beluchting kunnen de verliezen aan ammoniak meestal beperkt worden doordat ammoniak aan de buitenkant van de composthoop, waar een lage omgevingstemperatuur heerst, wordt geabsorbeerd. De ammoniak die in de buitenlaag van de hoop wordt geabsorbeerd, kan afhankelijk van de C/N-org verhouding worden vastgelegd in biomassa of via nitrificatie-denitrificatie de composthoop verlaten als N_2 of N_2O . De uiteindelijke stikstofverliezen zijn dus even hoog als in het gesloten reactor systeem (indien ammoniak niet wordt opgevangen in een zuurwasser en wordt hergebruikt). De verliezen van stikstof bij extensieve compostering van strorijke mest zijn door Veeke e.a. (2003) in kaart gebracht. De emissies als NH_3 , N_2O en N_2 zijn sterk afhankelijk van de uitvoering van de compostering en porositeit van de composthoop. Ook hier geldt dat stikstofverliezen alleen zijn te voorkomen door het uitgangsmateriaal op een juiste C/N-org verhouding te brengen. Een voordeel van het extensieve proces is dat initieel aanwezig NH_4 minder snel wordt geëmitteerd en bij een juiste C/N-org verhouding alsnog in biomassa kan worden ingebouwd zodat geen stikstof verloren gaat.

4.3 Bemestende waarde van compost en dierlijke organische meststoffen

4.3.1 Bemestende waarde compost

De samenstelling van de geproduceerde compost is primair afhankelijk van de samenstelling van het uitgangsmateriaal. De nutriënten P en K blijven behouden als tijdens de compostering verlies van lekwater voorkomen wordt. Door de verdamping van water en de afbraak van organische stof treedt er een massareductie op en zal het percentage P en K van de compost toenemen in vergelijking met het uitgangsmateriaal. De chemische vormen van P en K veranderen niet tijdens het composteren, dus wordt de gewasbeschikbaarheid van deze elementen bepaald door de chemische vorm in het uitgangsmateriaal. Meestal wordt verondersteld dat de beschikbaarheid van P en K 100% is (in het eerste jaar wordt de werking geschat op 60-80% voor fosfaat).

De stikstoflevering van compost wordt bepaald door het gehalte aan minerale stikstof en door de mate waarin de nog aanwezige organische stikstof verder kan mineraliseren. Over het algemeen is het gehalte aan minerale stikstof laag door immobilisatie en verliezen gedurende de compostering.

De C/N verhouding van de organische stof in compost is afhankelijk van de initiële verhouding in het uitgangsmateriaal. Afhankelijk van de totale C/N verhouding zal de compost NH_4 leveren of NH_4 uit de bodem vastleggen. De snelheid van levering of vastlegging is afhankelijk van de stabiliteit van het organische materiaal. Omdat stikstof gedeeltelijk wordt vastgelegd in nieuwe biomassa is de stikstoflevering niet direct te vergelijken met stikstoflevering uit N-org in uitgangsmateriaal. Voor compost kan een stikstof-werkingscoëfficiënt van 10-15% worden aangehouden.

Door Moolenaar e.a. (2002) is in opdracht van het Ministerie van LNV onderzoek gedaan naar de stabiliteit en stikstofmineralisatie van verschillende typen bodemverbeteraars en/of compost (GFT-compost,

groencompost, champost, tuinturf, schors en slib). Hiervoor is een eenvoudige meetmethode gebruikt die binnen de sectie Milieutechnologie is ontwikkeld. De stabiliteit van de organische stof wordt onder gestandaardiseerde condities direct gemeten via de zuurstofconsumptiesnelheid (Veeken e.a., 2003). Deze meetmethode voor stabiliteit wordt momenteel door Blgg in het analysepakket geïmplementeerd. In tabel 4.1 zijn voor verschillende typen organische stof de respiratiesnelheid gegeven. Onafhankelijk van de respiratiesnelheid (dus stabiliteit) van het uitgangsmateriaal kan door composteren de organische stof met een factor 10-30 worden gestabiliseerd. Een stabiliteit vergelijkbaar met bodem organische stof kan via composteren bereikt worden door nog eens 3 weken intensief te composteren of door 5 maanden van narijping. De respiratiesnelheid kan direct gerelateerd worden aan de initiële leeftijd a zoals die door Janssen is geformuleerd (zie Moolenaar e.a., 2002).

Tabel 4.1. Respiratiesnelheid van organische stof in verschillende materialen (bij 30 °C).

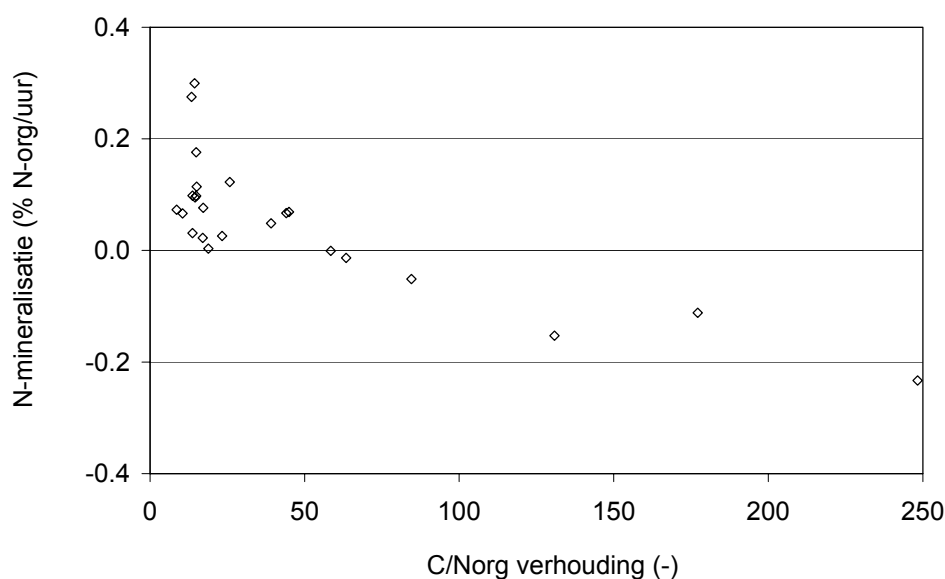
Type materiaal	Respiratiesnelheid (mmol O ₂ kg ⁻¹ os uur ⁻¹)
Vers GFT-afval, groenafval, mest	50 – 200
Na 3 weken actief composteren	7 ± 3
Na 5 maanden opslag (rijping)	3 ± 1
Bodem organische stof	2 – 3
Lichtveen	1,5 – 1,8
Donkerveen	0,5 – 0,7

Op basis van het LNV project, onderzoek in het kader van keurmerk compost in opdracht van RHP, eigen onderzoek en de stabiliteitswaarden uit tabel 4.1 zijn criteria opgesteld voor de stabiliteitsklassen van compost. De stabiliteitsklassen in tabel 4.2 komen zeer goed overeen met de stabiliteitsklassen zoals die door de door US Composting Council zijn gepubliceerd (USCC, 2003).

Tabel 4.2. Criteria voor stabiliteit van compost: indeling via respiratiesnelheidsmeting (bij 30 oC).

Stabiliteitsklasse	Respiratiesnelheid (mmol O ₂ kg ⁻¹ os uur ⁻¹)
Zeer onstabiel	>30
Onstabiel	15-30
Stabiel	5-15
Zeer stabiel	<5

Met dezelfde meetmethode is tevens een snelle test ontwikkeld om stikstofmineralisatie van compost te bepalen. In figuur 4.4 is te zien dat het omslagpunt voor afgifte of vastlegging van compost rond een C/N-org verhouding van 30 ligt (gebaseerd op 30 monsters GFT-compost, groencompost, champost, tuinturf, schors of slib). Ook kan het voorkomen dat in eerste instantie stikstof wordt vastgelegd die op een later tijdstip weer vrijkomt. Dit patroon hangt samen met de aanwezigheid van snel afbreekbare organische verbindingen zoals vluchtige vetzuren. Voor goed gestabiliseerde compost is dit patroon dus afwezig. De stikstofmineralisatiesnelheid (of stikstofvastleggingsnelheid) is direct gerelateerd aan de stabiliteit van de organische stof.



Figuur 4.4. Stikstofmineralisatie van organische bodemverbeteraars als functie van de C/N-org verhouding (uit Moolenaar e.a., 2002).

4.3.2 Samenstelling en bemestende waarde dierlijke organische meststoffen

In tabel 4.3 is de gemiddelde samenstelling van verschillende soorten organische mest weergegeven.

Hierbij moeten de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- Het gebruik van organische meststoffen is via een aantal wetten en besluiten (o.a. Meststoffenwet, BGDM en BOOM) aan wettelijke regels gebonden.
- De werkelijke gehalten kunnen en zullen afwijken van de in de tabel vermelde gemiddelde gehalten. Dit hangt o.a. samen met verschillen in rantsoenen, watergebruik, productiewijze en mate van menging. Het wordt aangeraden gebruik te maken van goed gemixte mest en deze van tevoren te laten analyseren.

Werking van dierlijke organische meststoffen

De werking van fosfaat bedraagt bij eenjarige toediening 60% voor rundveemest, 100% voor varkensmest en 70% voor kippenmest. Bij langjarig gebruik kan een werking van 100% worden aangehouden. De werking van kalium bedraagt 100%. Voor stikstof wordt onderscheid gemaakt tussen najaars- en voorjaarstoepassingen en tussen de minerale en organische stikstof. De minerale stikstof fractie is direct beschikbaar. De organische stikstof is voor een deel beschikbaar. Bij voorjaarstoediening is de N-org werkzaamheid voor rundveemest ongeveer 30% en voor varkens- kippenmest ongeveer 45%. Bij herfst en wintertoediening van dierlijke mest is de werking van de totale stikstof (mineraal en organisch) lager met 20% (dunne mest) en 25% (vaste mest). Bij toediening in januari/februari is ongeveer 35% van de totale stikstof werkzaam.

Wanneer regelmatig dierlijke mest wordt gebruikt op een zelfde perceel wordt de werkingscoëfficiënt van de organische stikstof hoger: +30% werking bij rundveemest en +20% bij varkens- en kippenmest.

Tabel 4.3. Gemiddelde samenstelling van dierlijke mest en compost in kg per 1000 kg product (Bron: IKC-Landbouw 1996 m.u.v. dunne en vaste mest, GFT-compost en champost).

	droge stof	org. stof	N-totaal	N-m	Norg	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	dichtheid (kg m ⁻³)
<i>Dunne mest</i>										
Rundvee ¹	86	64	4,4	2,2	2,2	1,6	6,2	1,3	0,7	1005
Vleesvarkens	90	60	7,2	4,2	3,0	4,2	7,2	1,8	0,9	1040
Zeugen	55	35	4,2	2,5	1,7	3,0	4,3	1,1	0,6	
Vleeskalveren	20	15	3,0	2,4	0,6	1,5	2,4			
Kippen	145	93	10,2	5,8	4,4	7,8	6,4	2,2	0,9	1020
<i>Gier</i>										
Rundvee	25	10	4,0	3,8	0,2	0,2	8,0	0,2	1,0	1030
Vleesvarkens	20	5	6,5	6,1	0,4	0,9	4,5	0,2	1,0	1010
Zeugen	10	10	2,0	1,9	0,1	0,9	2,5	0,2	0,2	
<i>Vaste mest</i>										
Rundvee (grupstal) ¹	248	150	6,4	1,2	5,2	4,1	8,8	2,1	0,9	900
varkens (stro)	230	160	7,5	1,5	6,0	9,0	3,5	2,5	1,0	
Leghennen ²	515	374	24,1	2,4	21,7	18,8	12,7	4,9	1,5	605
Kippenstrooiselmest	640	423	19,1	8,6	10,5	24,2	13,3	5,3	4,2	600
Vleeskuikenouderdieren ³	610		19,0			28,5	21,1			625
Vleeskuikens	605	508	30,5	5,5	25,0	17,0	22,5	6,5	3,0	605
Vleeskalkoenen	565	464	24,7	6,4	18,3	19,6	18,4	6,3	7,3	535
Schapen	290	205	8,6	2,0	6,6	4,2	16,0	2,8	2,3	
Geiten	265	182	8,5	2,6	5,9	5,2	10,6	3,5	1,9	
Nertsen	285	185	17,7	10,1	7,6	27,0	3,9	2,2	5,1	
Eenden	265	209	8,3	1,7	6,6	7,4	11,3	1,6	0,8	
Konijnen	450	367	13,6	3,3	10,3	13,8	11,7	5,7	2,2	
Paarden	310	250	5,0			3,0	5,6	1,8		700
<i>Compost</i>										
GFT-compost (landelijk gemiddelde Blgg)	650	210	8,5	0,8	7,8	3,7	6,4	2,7	-	800
Champost	350	220	5,8	0,3	5,5	3,6	8,7	2,4	0,9	550
Groencompost	602	181	3,8			2,1	5,0	2,8		

1. Samenstelling gewijzigd in 2002 Bron: Blgg Oosterbeek.

2. Gehouden op een mestbandbatterij met geforceerde droging.

3. Gehouden op gedeeltelijk roostervloer.

Bron: van Dijk, 2003.

4.4 Beoordeling gewasresten op geschiktheid voor composteren met minimale nutriëntenverliezen

4.4.1 Beoordelingscriteria en beoordeling

Voor deze studie wordt aangenomen dat de compostering plaats vindt op het eigen bedrijf waarbij gebruik gemaakt wordt van een extensief systeem. De beoordeling moet plaats vinden op basis van de volgende criteria:

1. Is het materiaal geschikt voor de techniek van extensieve compostering.
2. Minimalisatie van de stikstofverliezen.
3. (Gewenste samenstelling van de compost voor gewasbehoefte).

Hier wordt alleen aandacht besteed aan criteria 1 en 2.

Composteertechnische beoordeling van materiaal (1)

Voor het composteren op grote schaal is het belangrijk dat het te composteren materiaal voldoende structuur en porositeit heeft. De structuur omvat de mate van inklinking, porositeit en permeabiliteit van het te composteren materiaal. Op basis van de structuurparameters kan bepaald worden of het technisch mogelijk is te composteren (zie bijlage 2).

Het drogestofgehalte moet voldoende hoog zijn om voldoende porositeit en permeabiliteit voor het composteringsproces te bieden en daarnaast om te komen tot een droge en hanteerbare compost. De afbreekbaarheid van de organische stof bepaalt de energieproductie en de maximaal haalbare waterverdamping en dus droging van het materiaal. Op basis van de expertise van de sectie Milieutechnologie worden de volgende randvoorwaarden aangehouden voor compostering:

- De porositeit mag niet lager dan 0,3 zijn om anaërobie te voorkomen en een redelijke aërobe omzettingssnelheid te garanderen.
 - De permeabiliteit mag niet lager dan 10^{-8} m^2 zijn om voldoende beluchting van de hoop te garanderen.
- Deze randvoorwaarden worden bepaald door de structuur van het materiaal en beïnvloed door o.a. de hoogte van de composthoop en het vochtgehalte. De volgende richtlijnen kunnen aanhouden worden:
- Bulkdichtheid van niet ingeklonken materiaal moet lager dan 800 kg m^{-3} bedragen.
 - Het compostbed mag niet meer dan 40% inklinken bij een hoogte van 1 m.
 - Drogestofgehalte van het uitgangsmateriaal bedraagt minimaal 25-30%.
 - De afbreekbaarheid van de organische stof moet minimaal 40-50% bedragen voor een goede droging (bij drogestofgehalte van 30%). Voor droging van materiaal met hogere drogestofgehaltes hoeft minder organische stof afbreekbaar te zijn.

Op basis van laboratoriumexperimenten (bepaling van structuur en aërobe afbraak) kan goed beoordeeld worden of een materiaal te composteren is en kan een composteringsproces worden ontworpen (zie bijlage 3).

Beoordeling op stikstofverliezen (2)

Tijdens het composteren worden stikstofverliezen op de volgende manieren beperkt:

- Het initiële gehalte aan NH_4 is laag zodat dit niet direct als NH_3 wordt geëmitteerd.
- De C/N-org verhouding is groter dan 30 zodat stikstof wordt ingebouwd en niet verloren gaat als NH_3 , N_2O of N_2 .

4.4.2 Indeling van oogstresten op basis van beoordelingscriteria

De hoeveelheden, samenstelling en vrijkomen van verschillende oogstresten in Nederland zijn in bijlage 4 samengevat. De volgende aannames zijn hierbij gemaakt:

- Stikstof bestaat volledig uit organisch gebonden stikstof, N-org; er is dus geen ammonium of nitraat (NH_4 en NO_3) aanwezig.
- Het organische stofgehalte (os) van alle oogstresten is op 90% (van ds) gesteld.
- De organische stof van alle oogstresten bestaat voor 45% uit C.

Op basis van het drogestofgehalte, structuur en C/N-org verhouding zijn de oogstresten in verschillende categorieën onderverdeeld.

De ervaringen met het composteren van gewasresten van tomatenteelt en komkommerteelt hebben laten zien dat de structuur van dit soort materiaal zeer gering is. Een hoop van dit materiaal klinkt ver in; deze inklinking wordt versterkt tijdens compostering doordat het materiaal afbreekt en het materiaal in temperatuur stijgt. Ook hooi heeft een beperkte structuur. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat geen van de vollegrondsgroentegewassen voldoende structuur heeft om een composthoop mee op te zetten. Van de oogstresten heeft stro voldoende porositeit en mechanische sterkte (zie bijlage 2) om als structuurmateriaal te dienen.

Daarnaast kan geconcludeerd worden dat de vollegrondsgroentegewassen een te laag drogestofgehalte hebben om te composteren. Deze materialen produceren lekwater en daarnaast kunnen de materialen niet gedroogd worden tot een rulle en hanteerbare compost, er zit teveel water in om te verdampen. De oogstresten van akkerbouwgewassen hebben daarentegen een redelijk drogestofgehalte; dit geldt met name voor het stro (een opmerkelijke uitzondering vormt stro van korrelmaïs).

De vollegrondsgroentegewassen hebben een lage C/N-org verhouding zodat stikstofverliezen verwacht mogen worden. De oogstresten uit de akkerbouw hebben een gunstige C/N-org verhouding: weinig stikstofverliezen te verwachten en geen remming van de compostering door gebrek aan N.

4.4.3 Logistiek van compostering

Het is niet goed om verse gewasresten van groentegewassen langere tijd op te slaan (binnen enkele dagen treedt geurontwikkeling en inklinking op). Zodra de resten beschikbaar zijn moeten ze worden gecomposteerd en zoals eerder al is opgemerkt zijn dergelijke gewasresten alleen geschikt indien er ook ander, structuurrijk en droger materiaal beschikbaar is. Het composteren van gewasresten uit de groenteteelt lijkt geschikter te zijn voor de late oogsten (einde zomer, herfst en winter), dan voor de vroege. In de latere perioden is ook stro van graangewassen beschikbaar (oogst augustus – oktober). Dat is logistiek inpasbaar. Vrijkomen gewasresten akkerbouwgewassen:

- Graangewassen: augustus – oktober.
- Suikerbieten oktober en november.
- Aardappelen van juni tot en met oktober.

De meeste groentegewassen (structuurarme materialen) worden in het Zuiden van Nederland en in Noord-Holland verbouwd. Boomgewassen worden ook voornamelijk in het Zuiden verbouwd, maar ook in Gelderland en Overijssel. Suikerbieten worden in het hele land verbouwd maar komen minder voor in Gelderland, Overijssel. Granen worden in het hele land verbouwd. Boomkwekerijgewassen zijn terug te vinden in de provincie Noord-Brabant, Gelderland (laan- en parkbomen) en Limburg (rozen). De resten komen voornamelijk in het voorjaar en de zomer vrij. De drogere resten van boomkwekerijen zouden als aanvullend materiaal op groentebedrijven kunnen dienen, maar in de huidige wetgeving is verplaatsing van restmateriaal tussen bedrijven problematisch, waardoor on-farm compostering in het geding komt. De resten van boomkwekerijgewassen zijn vroeger beschikbaar dan de resten van groentegewassen die in aanmerking komen om te worden gecomposteerd. Wellicht kan het droge en houtige boommateriaal opgeslagen worden.

4.4.4 Evaluatie

Op basis van het drogestofgehalte, structuur en C/N-org verhouding zijn de oogstresten in drie categorieën onderverdeeld:

1. Oogstresten van vollegrondsgroentegewassen; deze kunnen niet gecomposteerd worden omdat deze materialen te nat zijn, geen structuur hebben en een lage C/N-org verhouding hebben.
2. Oogresten van akkerbouwgewassen die geen structuur hebben en relatief nat zijn.
3. Oogresten van akkerbouwgewassen die structuurrijk en droog zijn (voornamelijk stro).

Oogstresten uit categorieën 2 en 3 hebben een gunstige C/N-org verhouding zodat stikstofverliezen beperkt blijven. De oplossing is deze drie materiaalstromen op te mengen om tot een ideaal mengsel te komen met betrekking tot:

1. structuur.
2. drogestofgehalte.
3. C/N-org.

Voor de meest geschikte mengsels kunnen dan experimenten op laboratoriumschaal worden uitgevoerd (zoals in bijlage 3) wordt besproken om deze mengsels te beoordelen op geschiktheid voor composteren. Als er te weinig structuurmateriaal voorradig is, kan besloten worden de oogstresten te mengen met andere structuurrijke afvalstromen zoals GFT-afval en groenafval. Dit heeft echter wel consequenties omdat een bedrijf niet zonder vergunningen afvalstoffen kan aanvoeren naar het bedrijf om dit te verwerken.

4.5 Conclusies

1. Het verwerken van eigen afval- en oogstresten en van snoeimateriaal op het bedrijf is mogelijk door extensief composteren. De kosten van het extensieve composteringsproces op bedrijfsniveau bedragen €6 per ton ingaand materiaal. In Nederland zijn potentieel vele tonnen materiaal aanwezig die gecomposteerd zouden kunnen worden. Om het composteringsproces goed te laten verlopen zijn de belangrijkste randvoorwaarden en uitgangspunten beschreven. De structuur en het drogestofgehalte

bepalen de geschiktheid van het materiaal voor compostering en de C/N-org verhouding bepaald de stikstofverliezen tijdens composteren.

2. Er kan duidelijk een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende oogstresten. Oogstresten van groentegewassen kunnen niet direct gecomposteerd worden vanwege het gebrek aan structuur, lage drogestofgehalte en de lage C/N-org verhouding. Oogstresten van akkerbouwgewassen kunnen in twee categorieën worden ingedeeld. Allereerst de structuurloze en natte oogstresten die niet direct gecomposteerd kunnen worden en ten tweede de droge en structuurrijke materialen die goed gecomposteerd kunnen worden. De C/N-org verhouding van deze oogstresten is voldoende hoog zodat geen stikstofverliezen verwacht worden.
3. Extensieve compostering van alle oogstresten is goed mogelijk zonder verlies van stikstof door de verschillende oogstresten op te mengen tot een uitgangsmateriaal met een optimale structuur, drogestofgehalte en C/N-org verhouding.
4. Het bij te mengen materiaal zal bij vollegrondsgroentebedrijven bijna altijd van buiten moeten komen. Bij de huidige regelgeving is dat moeilijk realiseerbaar. Het is namelijk niet toegestaan om zonder vergunning afvalstoffen, en daaronder vallen ook gewas- en oogstresten afkomstig van buiten het bedrijf of andere bedrijven, op het eigen bedrijf te gebruiken.
5. Er zijn voldoende en relatief goedkope mogelijkheden om op laboratoriumschaal te onderzoeken of materialen of mengsels van materialen geschikt zijn voor extensieve compostering. Dit in tegenstelling tot uitvoerige, tijdrovende en dure experimenten op bedrijfsniveau. Uit de laboratoriumexperimenten verkregen parameters worden ingevoerd in computermodellen waarmee de maximale dimensies van de composthoop, massa- en energiebalansen en ammoniakemissies voor een compostering berekend worden.

5 Perspectieven voor bioraffinage en vergisting van gewasresten

Hendrik-Jan van Dooren (Animal Science Group) & Wolter Elbersen (Agrotechnology & Foodinnovations)

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk komt de geschiktheid van gewasresten voor vergisting, bioraffinage of een combinatie daarvan aan de orde. Allereerst wordt besproken wat verstaan wordt onder vergisting en bioraffinage en wordt kort ingegaan op de achtergronden van deze processen. Uit deze beschrijving volgen de algemene eisen die aan de eigenschappen van de gewasresten gesteld worden en kunnen de verschillende producten beoordeeld worden op hun geschiktheid.

5.2 Procesbeschrijving vergisting

Vergisting

Net als compostering is vergisting een gecontroleerde afbraak van organische stof door microbiologische activiteit waarbij energie vrijkomt. Het belangrijkste verschil met compostering is echter dat deze afbraak zonder zuurstof plaatsvindt. Vergisting is dus een anaëroob proces. De energie die door de afbraak van organische verbindingen bij compostering vrijkomt als warmte, wordt bij vergisting opgeslagen in de vorm van biogas dat voor een belangrijk deel uit methaan bestaat. Deze energie in het biogas kan door verbranding vrijkomen en worden gebruikt voor de opwekking van elektriciteit en/of warmte. Het proces van vergisting is op sterk vereenvoudigde manier weer te geven als:



De omzetting gebeurt echter in verschillende fasen met tussenproducten die in de volgende fase weer gebruikt worden. Elke fase heeft een eigen populatie micro-organismen met specifieke optimale omstandigheden. Er zijn globaal drie fasen te onderscheiden:

1. Hydrolyse. Tijdens de hydrolyse worden onoplosbare organische componenten (bijvoorbeeld. eiwitten, vetten en koolhydraten) omgezet in kleinere oplosbare delen (w.o. aminozuren, lange vetzuurketens, suikers en glycerol). Deze eerste stap is bepalend voor de snelheid van het hele proces.
2. Zuurvorming. In de volgende stap worden de eindproducten van de hydrolyse omgezet in vluchtige vetzuren en alcohol en uiteindelijk in azijnzuur, waterstof en kooldioxide. In deze fase komt ook de organisch gebonden stikstof in opgeloste vorm vrij (ammonia).
3. Methaanvorming. In de laatste fase maken bacteriën uit waterstof, azijnzuur en kooldioxide het biogas, een mengsel van methaan en kooldioxide.

Bij de afbraak van organische stof en de vorming van methaan spelen een aantal factoren een rol die het proces of een deel daarvan kunnen beïnvloeden.

Temperatuur

Vergisting kan in verschillende temperatuurtrajecten plaatsvinden, elk met een groep aan deze temperatuur aangepaste bacteriën. Veranderingen in temperatuur hoeven niet direct te leiden tot verstoring van het proces. Binnen bepaalde marges kan de bacteriepopulatie zich aanpassen aan veranderende omstandigheden mits deze niet plotseling plaatsvinden. Over het algemeen worden drie soorten temperatuurtrajecten onderscheiden:

- *Psychrofiële vergisting* ($< 20^{\circ}\text{C}$), ook wel koude vergisting genoemd. Hierbij wordt het te vergisten mengsel niet verwarmd. Het is dus vergisting bij omgevingstemperatuur. Onder Nederlandse omstandigheden betekent dit dat de verblijftijd van het te vergisten mengsel lang moet zijn om een redelijke biogasopbrengst te bereiken. Het volume van de vergister neemt daardoor sterk toe. Deze manier van vergisten is daarom in Nederlands vrijwel niet interessant.
- *Mesofiële vergisting* vindt plaats bij temperaturen tussen 20 en 40 °C. Het te vergisten mengsel wordt op temperatuur gebracht met de warmte geproduceerd door de gasmotor waarin het biogas verbrand wordt.
- *Thermofiële vergisting* vindt plaats tussen de 40 en 60 °C. Ook hier wordt deze temperatuur bereikt door het te vergisten materiaal op te warmen met bv. koelwater van de gasmotor. Het voordeel van thermofiële vergisting ligt in de kortere verblijftijden in daardoor kleinere (=goedkopere) installaties en het doden van pathogenen. Aan de andere kant is het mesofiële vergistingsproces stabielere dan de thermofiële. Een grote stabiliteit van het proces is vooral van belang als de te vergiste stromen (mest en overige biomassa) wisselend van samenstelling kunnen zijn.

Zuurgraad (pH)

Vooral de methaanvormende bacteriën hebben een kritisch optimaal gebied dat tussen pH 6,5 en 7,5 ligt. Daarbuiten wordt de methaanvorming geremd. Tijdens de verzuringsfase daalt de pH, maar dat wordt door methaanvorming weer geneutraliseerd. Het is dus van belang dat de snelheid van de methaanvorming nauw afgestemd is op de snelheid van de zuurvorming of dat het gevormde zuur gebufferd kan worden om verandering van de pH en daardoor remming van de methaanvorming te voorkomen.

Verblijftijd

De verblijftijd van het substraat moet voldoende lang zijn om de methaanvorming op gang te brengen. De verblijftijd van de organische stof moet daarom minimaal 15 dagen zijn (De Mes e.a., 2003). Aanbod van te vergisten materiaal, verblijftijd en het volume van de vergister zijn drie grootheden die bij het ontwerp van een vergistingsinstallatie goed op elkaar moeten worden afgestemd.

Afbreekbaarheid Organische stof

Organische stof is een overkoepelende term voor het koolstofbevattende deel van de droge stof. Binnen dat deel wordt dan verder onderscheid gemaakt. De afbreekbaarheid van de organische stof door microbiële activiteit kan sterk verschillen en daarmee de gasopbrengst per eenheid ingebracht materiaal. Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD) en de bioafbreekbaarheid samen met de hydrolyseconstante zijn drie criteria voor beoordeling van afbreekbaarheid van de aanwezige organische stof en daarmee van de potentiële gasopbrengst van een te vergisten materiaal.

Installatie

Om de hierboven beschreven processen op grote schaal goed te laten verlopen vindt vergisting plaats in speciaal daarvoor ontworpen installaties. Vooral de laatste decennia heeft zich op dit gebied een grote ontwikkeling voorgedaan in Duitsland en Denemarken. In Duitsland heeft men lange tijd vooral gewerkt aan kleinschalige vergisters, bedoeld voor één of een paar boeren. In Denemarken is men vrijwel direct begonnen met het opzetten van coöperaties waarin mestvergisting op een grootschalige manier werd georganiseerd. De ontwikkelingen in de Nederland lijken voorlopig nog niet die kant op te gaan. De initiatieven die van de grond komen bestaan vaak uit een samenwerkingsverband van een aantal (5-10) veehouders of akkerbouwers.

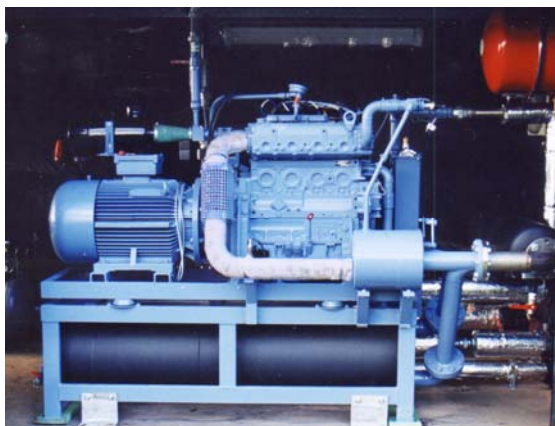
Installaties kunnen grofweg met drie criteria ingedeeld worden: aard van het materiaal (droog of nat), temperatuurtraject (mesofiel of thermofiel) en continue of batch vergisting. De meest eenvoudige installatie is een volledig gemengde continue vergister voor verpompbaar materiaal die in het mesofiële temperatuurtraject werkt. Omdat verwacht wordt dat dit type vergister in Nederland opgang zal maken wordt in het vervolg hiervan uitgegaan en wordt de installatie hieronder kort beschreven.

Een volledig gemengde vergister is een opslagseenheid die geschikt is gemaakt voor vergisting door isolatie, het aanbrengen van een warmtewisselaar waarmee de inhoud op temperatuur gebracht wordt en een gasdichte overkapping waarin het biogas dat ontstaat wordt opgevangen en opgeslagen (zie figuur 5.1). In de vergister bevindt zich het te vergisten materiaal dat voortdurend gemengd wordt. Regelmatig wordt nieuw materiaal toegevoegd. Ook bestaande opslagunits kunnen worden omgebouwd tot vergisters.

Daarbij kan het volume van de vergister niet meer kan worden afgestemd op aanbod en gewenste verblijftijd. Doordat het opgevangen biogas wordt afgekoeld condenseert de waterdamp en daalt de relatieve vochtigheid. Met het condensatiewater verdwijnt ook een groot deel van het ammoniak uit het gas. Verder wordt het gas biologisch gezuiverd van zwavelwaterstof door inbrengen van ongeveer 4 vol-% lucht. Vanuit de gasopslag wordt het gas naar een gasmotor gebracht waar het dient als brandstof. Deze gasmotor drijft een generator aan die elektriciteit opwekt (zie figuur 5.2). De warmte uit het koelcircuit van de motor en de uitlaatgassen wordt gebruikt voor opwarming van het te vergisten materiaal.



Figuur 5.1. Volledig gemengde vergister op Praktijkcentrum Sterksel.



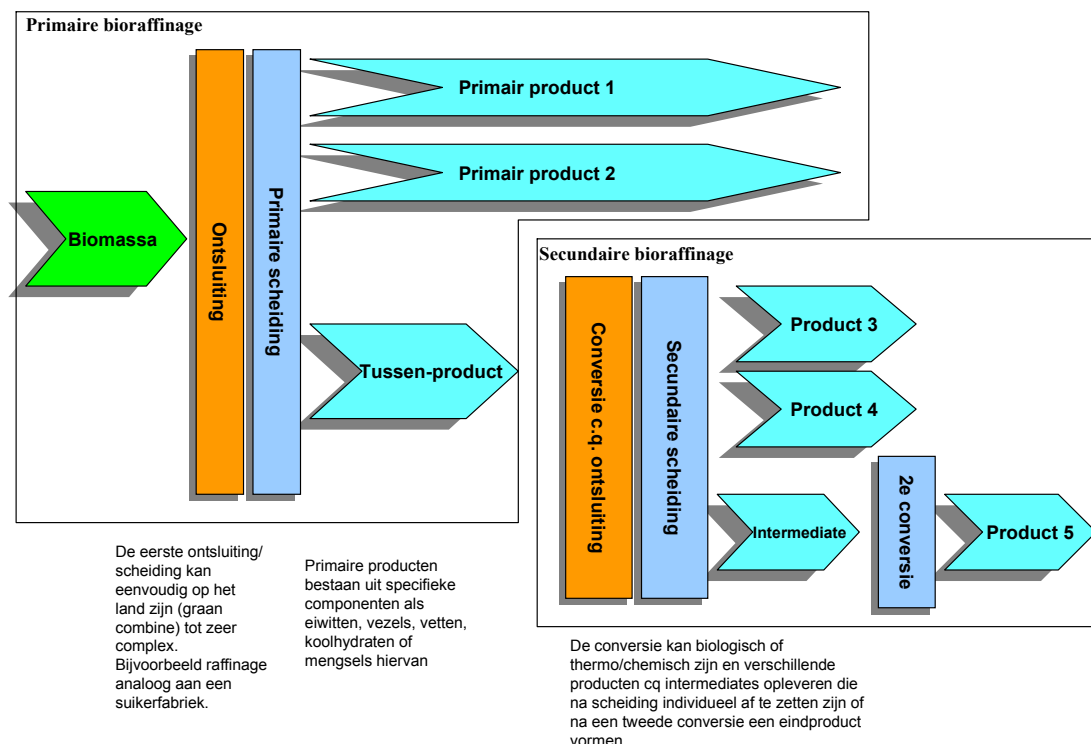
Figuur 5.2. Gasmotor geschikt voor de verbranding van biogas en de opwekking van elektriciteit en warmte.

Mest als uitgangspunt

Dierlijke mest bevat van nature bacteriën die de organische stof die na vertering in het maagdarm stelsel is overgebleven verder kunnen afbreken. De meeste mest in Nederland wordt geproduceerd als verpompbare drijfmest. In drijfmest heersen overwegend zuurstofloze omstandigheden waardoor het proces van biogasvorming al in de mestopslag op gang komt. Ook heeft mest een bufferende zuurwerking. Deze drie eigenschappen (verpompbaar, bufferende werking en aanwezigheid van methaanvormende bacteriën) maken drijfmest een geschikt materiaal voor vergisting. Drijfmest heeft echter een relatief laag organische stofgehalte. De gasopbrengsten per kg product zijn daardoor laag. Bovendien is de in de mest aanwezige organische stof het restproduct van afbraakprocessen van het maagdarm stelsel waarbij de processen in de pens van herkauwers vergelijkbaar zijn met die in een vergister. Het relatief snel afbreekbare deel van de organische stof is in het maagdarm stelsel al omgezet. De gasopbrengsten per kg OS uit de mest zijn daardoor relatief laag. Hoewel mest goed als basismateriaal voor vergisting kan dienen is door organisch materiaal rechtstreeks aan de mest toe te voegen de gasopbrengst te verhogen zonder veel extra kosten te maken. Dit wordt over het algemeen co-vergisting genoemd.

5.3 Bioraffinage

Bioraffinage is “het scheiden van biomassa in verschillende componenten die al dan niet na een verdere bewerking (biologisch, thermisch/chemisch) en scheiding afzonderlijk af te zetten zijn” (Elbersen e.a., 2003). Bioraffinage biedt de kans om op efficiënte wijze met een minimaal verlies aan energie en massa te komen tot producten die fossiele grondstoffen vervangen of aanvullen. Zie figuur 5.3 voor illustratie van het algemene concept. In bioraffinage wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande componenten in de biomassa en hun functionaliteit. Het concept biedt daarbij grote kansen om kleinschalige en regionale duurzame ontwikkelingen mogelijk te maken (Elbersen e.a., 2003).



Figuur 5.3. Schematische weergave van het concept Bioraffinage.

Een nog eenvoudiger definitie is van Kamm & Kamm (2004):

$$(biomassa) \text{ materiaal-mengsel} + \text{proces-mix} \rightarrow \text{product-mix}$$

Essentiële componenten zijn hierin het scheiden in componenten en het biologisch en chemisch converteren van deelcomponenten tot specifieke producten. In onderzoek wordt er onderscheid gemaakt in “heel gewas bioraffinage”, “groene bioraffinage” en “lignocellulose bioraffinage” systemen (Kamm & Kamm, 2004). Je zou ook nog allerlei tussenvormen kunnen bedenken of hele eenvoudige systemen. Voorbeeld hiervan is een droog scheidingssysteem voor stro en biomassagrassen waarbij een fractie geschikt voor vezelpulp productie en een pellet voor energieproductie wordt geproduceerd (Pedersen, 1998).

Verscheidene bioraffinage systemen zijn mogelijk geschikt om de hier genoemde gewasresten te verwerken. Er is een korte inventarisatie gemaakt van systemen die in aanmerking komen (tabel 5.1). Hierbij is vooral gekeken naar zogenaamde “green biorefinery” concepten die vers materiaal vaak op wat kleinere schaal tot verschillende ook in de landbouw af te zetten producten verwerken.

Tabel 5.1. Overzicht van verschillende bioraffinage systemen of concepten die mogelijk geschikt zijn voor verwerking.

Systeem	Technologie	Feedstock	Producten	Implementatie Fase*	Referenties
AVEBE	Refiner	Gras, aardappelloof, erwtenloof, bietentoppen,	Vezels, eiwitfracties (veevoer), ethanol, grass juice (melasses, veevoer)	Pilot	Hulst e.a., 2000 Patent.
2B Biorefineries AG	Refiner	Gras, klaver, bierbostel,	Vezels	Pilot/ commercieel	Grass e.a. 1999. www.2B-AG.ch
"Cascadering van maaisel"	Refiner of extrusie	Bermgras, natuurgras en soortgelijk materiaal	Vezel +	Proof of principle	Doorn e.a., 2001
Kamm	Mechanische persing		Melkzuur en polymelkzuur, chlorophyll, pigmenten, methaan, etc	Proof of principle / pilot	Kamm e.a., 2001.
Green biorefinery Austria	Gedecentraliseerd vaste stof fermentatie gevolgd door persing en scheiding.	Ingekuilde biomassa, bijvoorbeeld gras.	Melkzuur, vezels, biogas, etc.	Proof of principle / pilot	Wachter e.a., 2004.

*concept, proof of principle, pilot of commercieel



Hoe verhoudt bioraffinage zich tot composteren en vergisting?

Compostering of vergisting is een simpele vorm van bioraffinage waarbij vergisting een voor de hand liggende toepassing is van een van de fracties die bij scheiding vrij komt. Zoals in de tabel hierboven is aangegeven wordt er in veel concepten een biogasproductie opgenomen. Vanuit het oogpunt van afvalvermindering en effectieve stikstofrecycling zou het afscheiden van eiwitten richting producten en (veelal onvergistbare) vezels voor vezelproducten een voordeel kunnen hebben.

5.4 Beoordeling gewasresten

Voor de beoordeling van de geschiktheid van gewasresten voor vergisting en bioraffinage is uitgegaan van de gegevens over hoeveelheid en samenstelling die zijn samengevat in tabel 5.4. De algemene geschiktheid van gewasresten voor vergisting of bioraffinage vindt plaats op basis van de volgende criteria:

Samenstelling

Is de samenstelling van het materiaal zodanig dat het geschikt is voor vergisting of bioraffinage. De achtergrond van dit criterium is een economische. De samenstelling kan zodanig zijn dat er niet op nauwelijks opbrengsten te verwachten zijn.

Aard

Is de aard van het materiaal zodanig dat het direct geschikt is voor vergisting of moet het nog voorbewerkt worden. De achtergrond bij dit criterium is een technische. De aard van het materiaal kan zodanig zijn dat negatieve effecten te verwachten zijn wanneer het gebruikt wordt voor vergisting of bioraffinage of dat het zelfs ongeschikt daarvoor is hoewel de samenstelling gunstig is.

Eisen aan de keten, voorbehandeling en schaal

Hieronder vallen zaken als welke infrastructuur is er nodig? Hoe moet het materiaal wel of niet behandeld worden om geschikt te zijn voor behandeling? Wat is de optimale schaalgrootte? Hoe moet de logistiek worden opgezet?

Markt

De economische afzet van de producten die bij vergisting of bioraffinage worden geproduceerd is een voorwaarde voor implementatie van het concept.

5.5 Geschiktheid voor vergisting

Vergisting als alternatieve methode voor verwerking van gewasresten kan in principe zonder mest gebeuren. Verwerking van deze gewasresten in een vergistingsinstallatie voor mest is echter veel aantrekkelijker. Aanbieders van gewasresten (akkerbouwers en vollegrondsgroentetelers) zijn ook afnemers van dierlijke mest terwijl aanbieders van mest (veehouders) die deze mest (willen) vergisten, behoefte hebben aan aanvullend organisch materiaal. Koppeling van deze stromen ligt voor de hand. Daarnaast zijn gebouwde en geplande vergistingsinstallaties in Nederland voornamelijk geschikt voor verpompbaar materiaal. Daarom wordt er bij de beoordeling van de geschiktheid van de gewasresten van uitgegaan dat de gewasresten worden toegevoegd aan runderdrijfmest of drijfmest van vleesvarkens. Voor de samenstelling van runderdrijfmest (RDM) en vleesvarkensdrijfmest (VDM) wordt uitgegaan van de gegevens uit KWIN Veehouderij (2004), tabel 5.2.

Tabel 5.2. Samenstelling runderdrijfmest (RDM) en vleesvarkensdrijfmest (VDM) in kg ton⁻¹ product.

	DS	OS	N-tot	N-min	N-org	P ₂ O ₅	K ₂ O
RDM	90	66	4,9	2,6	2,3	1,8	6,8
VDM	90	60	7,2	4,2	3,0	4,2	7,2

Samenstelling

Door toevoeging van gewasresten met een organisch stofgehalte lager dan dat van drijfmest wordt het organische stofgehalte van het totale mengsel verlaagd ten opzichte van drijfmest. Ervan uitgaande dat bij co-vergisting geprobeerd wordt een hogere beladingsgraad van de vergistingsinstallatie te bereiken (uitgedrukt in kg os kg⁻¹ product) is het niet logisch dat gewasresten van andijvie, Chinese kool, kropsla en ijsbergsla gebruikt worden voor vergisting.

Wanneer gestreefd wordt naar een droge stofgehalte van 12% van het te vergisten product met organische stofgehalte van 90% op droge stofbasis zijn alle gewasresten van vollegrondsgroenten behalve

spruitkool ongeschikt voor vergisting. De akkerbouwgewassen zijn op basis van dit organische stofcriterium wel geschikt voor vergisting. Deze redenering gaat er echter van uit dat de afbreekbaarheid van de organische stof in de gewasresten minimaal gelijk is aan die van drijfmest. Met andere woorden dat de gasopbrengst per kg organische stof voor de gewasresten groter of gelijk is aan de gasopbrengsten per kg os van drijfmest. Op basis van de gegevens in tabel 5.4 kan niet nagegaan worden welk deel van de organische stof van de gewasresten afbreekbaar is. De gegevens zijn onvoldoende gedetailleerd. Daarom is op basis van de veevoeder waarden van het Centraal Veevoederbureau de te verwachten gasopbrengst berekend voor die gewasresten die ook als veevoer gebruikt kunnen worden (tabel 5.3). Hieruit blijkt dat gewasresten van aardappel en suikerbiet door hoge zetmeel- en suikergehalten het meeste en gras- en graanstro door een hoge fractie niet afbreekbare organische stof het minste perspectief bieden. Dit is in overeenstemming met eerdere praktijkervaringen.

Van een aantal gewasresten zijn geen gegevens gevonden. Dit geldt voor broccoli, aardappelloof, korrelmaïstro, blauwmaanzaadstro, karwijstro, lijnzaad en vlas. Voor de stroachtige gewasresten geldt waarschijnlijk hetzelfde als voor graan- en grasstro. Aardappelloof bevat stoffen die schadelijk zijn bij consumptie door mens en dier. Het effect op micro-organismen is onbekend.

Bij de gewasresten van bloemkool, spruitkool, rode kool, broccoli, witte kool, loof van pootaardappelen en kop en loof van suikerbieten wordt, in afnemende volgorde, de grootste hoeveelheid organische stikstof per hectare afgevoerd wanneer gewasresten worden vergist. Vergisting van deze gewassen draagt daarmee het meeste bij aan de doelstelling van het project, het voorkomen van stikstofverlies uit gewasresten.

Tabel 5.3. Overzicht gasproductie en methaangehalte van gewasresten op basis van voederwaarden.

Gewasrest	Toevoeging	CVB naamgeving	Biogas (m ³ ton ⁻¹)	Biogas (m ³ kg ⁻¹ ds)	Biogas (m ³ kg ⁻¹ os)	CH ₄ - gehalte
Wintertarwe	Stro	Tarwestro	277	0,31	0,34	51%
Zomertarwe	Stro	Tarwestro	277	0,31	0,34	51%
Winterrogge	Stro	Roggestro	314	0,35	0,39	51%
Zomergerst	Stro	Gerstestro	329	0,37	0,41	51%
Groene erwt droog	Stro	Erwtstro	312	0,37	0,41	53%
Stamslaboon	loof/stro	Bonenstro (vicia faba)	60	0,38	0,42	52%
Bruine bonen	Stro	Bonenstro (vicia faba)	320	0,38	0,42	52%
Kapucijners	Stro	Bonenstro (vicia faba)	320	0,38	0,42	52%
Veldboon	Stro	Bonenstro (vicia faba)	320	0,38	0,42	52%
Graszaad Engels raai	Hooi	Graszaadstro	356	0,40	0,44	52%
Cichorei		Cichoreilof, vers	295	0,49	0,55	55%
Bloemkool		Koolafvallen, vers	53	0,53	0,59	54%
Chinese kool		Koolafvallen, vers	27	0,53	0,59	54%
Rode kool		Koolafvallen, vers	5	0,53	0,59	54%
Spruitkool		Koolafvallen, vers	133	0,53	0,59	54%
Witte kool		Koolafvallen, vers	53	0,53	0,59	54%
Spinazie		Spinazie, vers	43	0,54	0,60	57%
Ijssla		Sla, vers	27	0,55	0,61	56%
Kropsla		Sla, vers	38	0,55	0,61	56%
Andijvie		Andijvie, vers	39	0,55	0,61	57%
Prei		Prei, vers	64	0,59	0,65	54%
Suikerbieten	blad+kop	Bietenblad met koppen, vers	109	0,73	0,81	50%
Aardappel, consumptie	Oogstrest	Aardappelen, vers	150	0,75	0,83	50%
Aardappel, consumptie	Kriel	Aardappelen, vers	150	0,75	0,83	50%
Aardappel, poot-	Oogstrest	Aardappelen, vers	150	0,75	0,83	50%

Aard

Bij verwerking van gewasresten moet rekening worden gehouden met de aard van het materiaal. Over het algemeen moet het co-vergistingsmateriaal verkleind worden om het zo goed mogelijk te ontsluiten voor micro-organismen in de vergister en om problemen met drijf- of bezinklagen te voorkomen. Verder moeten grondresten zoveel mogelijk vermeden worden. Vooral bij gewasresten van aardappels en suikerbieten speelt dit een rol. Droging van de gewasresten kan een optie zijn om het droge stofgehalte te verhogen maar daarmee neemt de kans op organische stofverliezen toe. Datzelfde speelt bij opslag van gewasresten. Omdat de gewasresten in een korte periode beschikbaar komen moeten ze waarschijnlijk gedeeltelijk opgeslagen worden. Kwaliteitsverliezen door omzettingen tijdens de opslag moeten voorkomen worden omdat daarmee de geschiktheid voor vergisting minder wordt.

5.6 Geschiktheid voor bio-raffinage

De geschiktheid van een biomassa soort voor een bioraffinage systeem wordt bepaald door de opbrengsten min de kosten van het proces/keten. De opbrengsten van het proces zijn een functie van de maximale potentie (MP) per product uitgedrukt in kg kg^{-1} gewasrest x de recovery rate (RR) van de winning, uitgedrukt in procenten (%) x opbrengst (O) van het product in € per kg. De functie is dus:

$$MP (\text{kg kg}^{-1}) \times RR (\%) \times O (\text{€ kg}^{-1}) = \text{Totale opbrengst}$$

De kosten van het hele (bioraffinage) proces en keten bestaan uit oogst, afvoer, opslag en scheidings- en conversieprocessen + afvoer en eventueel vermarkting. Indien de totale opbrengst voldoende hoog is t.o.v. kosten kan er een uitspraak gedaan worden over geschiktheid.

Voor de meeste van de hierboven genoemde bioraffinage processen en systemen zijn maar weinig data bekend en vrijwel geen van de gewasresten zijn in de hierboven genoemde processen getest. De efficiënte en kosten van productie van deelproducten (eiwit, vezel, methaan, ethanol, voercomponent, etc) is dus niet goed bekend. Het is moeilijk om veel te zeggen over geschiktheid voor een bepaald bioraffinage systeem. Het is wel mogelijk om beoordelingsaspecten kort aan te stippen.

Inhoudstoffen

In tabel 5.4 zijn een paar relevante getallen gegeven van inhoudstoffen. Bijvoorbeeld stikstofconcentratie waaruit de eiwit gehalten kan worden berekend. Bij te lage concentratie van het eiwit is het niet meer zinvol om het apart te scheiden. Hierbij speelt de opbrengst van het eiwitextractieproces ook een rol. Onder een bepaalde concentratie zal het niet meer zinvol zijn te scheiden.

Voor verdere beoordeling zou ook bekend moeten zijn wat vezelconcentratie, zetmeel, vrije suikers, aminozuren en andere interessante moleculen zijn. De lijst van mogelijke producten in de plant en producten die na een conversiestap gemaakt kunnen worden is eindeloos. De belangrijkste producten zijn:

- Eiwitten
 - Verschillende veevoerproducten
 - Non-food producten zoals coatings
- Vezels
 - Turf vervangers
 - Isolatiemateriaal
 - Composietmateriaal
 - Papierpulp
- Suikers
 - Veevoer in de vorm van een 'melasse' concentraat
 - Biogas
 - Ethanol
 - Melkzuur voor polymelkzuur plastics
- Chlorofyl en andere pigmenten
- Specifieke inhoudstoffen



'Antiquality' factoren

Hierbij moet worden gedacht aan zaken als residuen van bestrijdingsmiddelen, alkaloiden, contaminatie, etc, die hetzij het bioraffinageproces zelf, hetzij het eindproduct negatief beïnvloeden.

Vochtgehalte

Een hoog vochtgehalte verhoogt de kosten van vervoer en opslag en beperkt de transportafstand. Te lage vochtgehalten kan extractie bemoeilijken. Simpel uitpersen van gewasresten om daarna het persvocht verder te verwerken is niet mogelijk.

Aanhangend zand

Dit kan een probleem geven bij extractieprocessen zoals in "*refiners*" of "*extruders*". Oplossing zal liggen in handling eerder in de keten of het toevoegen van een wasstap.

Schaal en ketenfactoren

Een bioraffinagesysteem vereist een bepaalde omvang om rendabel te zijn. De concentratie waarmee gewasresten in een regio vrijkomen, zal bepalen of er in een regio voldoende biomassa-aanvoer is om een bioraffinagesysteem rendabel te laten draaien. De minimale omvang van de verschillende groene bioraffinagesystemen is niet geheel duidelijk, toch moet er gedacht worden aan minstens enige tienduizenden tonnen vers materiaal. Het AVEBE systeem gaat uit van 100.000 ton. Het is zinvol om naast gewasresten ook andere producten als bermgras, natuurgras en gewoon gras te verwerken.

Seizoensfactoren

Gewasresten komen in een relatief korte tijd in de zomer en herfst vrij. Om een bioraffinage systeem voldoende te benutten zal het wenselijk zijn buiten het oogstseizoen andere biomassa te kunnen verwerken. Oplossingen zijn o.a. opslag (inkuilen) van de gewasresten tot aan verwerking.

Markt

We kunnen twee markten onderscheiden, de gewasrestenmarkt en de producten markt.

De kosten voor aanvoer van gewasresten lijkt aantrekkelijker te worden indien afvoer gewenst wordt. Wat betreft de afzet van producten zou er in meer detail naar ieder product gekeken moeten worden. Dat is hier voor de meeste potentiële producten niet mogelijk. In het algemeen is er voor producten die fossiele grondstoffen vervangen een snel groeiende markt. Hierbij moet gedacht worden aan:

- Ethanol als transportbrandstof. Hiervoor zal snel een grote markt ontstaan nu de “*EU biofuels directive*” ingevoerd gaat worden.
- Methaan voor elektriciteitsproductie. De vergoeding is hiervoor recentelijk verhoogd tot 9,7 ct per KWh voor een gegarandeerde periode.
- Vaste biomassa voor elektriciteitsproductie. Droge schone biomassa levert tussen de €25 en €40 per ton op.
- Vezels zijn afhankelijk van de kwaliteit steeds breder af te zetten. Deze markt lijkt aantrekkelijker te gaan worden. Voorbeelden zijn o.a. papier, composiet materialen en turfvervanger.

Voor eiwitten zijn er ook vele food/feed en non-food opties als boven beschreven. Gebruik van eiwitten uit deze biomassaströmen voor veevoer kan een belangrijke bijdrage leveren om het Nederlandse eiwitoverschot te verminderen.

Beoordeling

Om een goede beoordeling te maken of bepaalde gewasresten geschikt zijn voor bioraffinage en voor welke vorm van bioraffinage is meer informatie nodig, zoals vochtgehalte, eiwitgehalte, koolhydraatgehalte, koolhydratensamenstelling, vezelgehalte, anitqualityfactoren, etc.

Uit de literatuur blijkt dat veel van de hier genoemde gewasresten verwerkt kunnen worden in de voorgestelde bioraffinage systemen. Of dit ook economisch aantrekkelijk is vereist nader onderzoek. Hierbij zal ook gekeken moeten worden of in bepaalde gebieden voldoende aanvoer mogelijk is om een bioraffinage systeem van voldoende omvang te realiseren zodat het ook economisch uit kan.

5.7 Conclusies

Co-vergisting

Wat betreft aard zijn gewasresten (eventueel na verkleining) geschikt als co-vergistingsmateriaal met drijfmest van runderen of vleesvarkens. Met uitzondering van spruitkool voegen gewasresten van vollegrondsgroenten echter niets toe aan de mest op basis van het gehalte aan droge stof en organische stof. Op basis van de huidige gegevens is de werkelijke meerwaarde in termen van afbreekbare organische stof en dus gasopbrengst van de overige gewasresten niet te schatten. Uit ervaring is echter duidelijk dat graan- en grasstro géén, en koppen en loof van suikerbieten waarschijnlijk wél een bijdrage leveren.

Bioraffinage

Voor de meeste (verse) gewasresten lijkt groene bioraffinage het meest voor de hand te liggen. Voor droge biomassa zoals stro kan een opdeling in fracties aantrekkelijk zijn, gevolgd door gebruik voor vezeltoepassingen (bijvoorbeeld pulp) of op termijn voor lignocellulose ethanolproductie. Vergeleken met omliggende landen lijkt stro in Nederland vaak goed af te zetten in andere branches.

Tabel 5.4. Samenstelling van oogstresten van vollegrondsgroenten- en akkerbouwgewassen.

Gewas	Type oogstrest	Hoeveelheid (kg ha ⁻¹)	ds (kg ha ⁻¹)	os (kg ha ⁻¹)	N-org (kg ha ⁻¹)	ds (% vers)	os (% ds)	N-org (% ds)	C/N-org (-)	P ₂ O ₅ (% ds)	K ₂ O (% ds)
<i>Vollegrondsgroentegewassen</i>											
Andijvie		20000	1300	1170	46	7	90	3.5	12	0.8	5.4
Bloemkool		50000	5000	4500	165	10	90	3.3	12	0.7	2.6
Broccoli		36000	3600	3240	120	10	90	3.3	12	1.1	3.6
Chinese kool		35000	1775	1597.5	58	5	90	3.3	12		
IJssla		40000	1990	1791	60	5	90	3.0	13	0.9	8.5
Kropsla		11000	770	693	26	7	90	3.4	12	1.3	8.8
Prei		22000	2420	2178	73	11	90	3.0	14	0.7	4.4
Rode kool		45000	4500	4050	125	10	90	2.8	15	0.7	3.0
Spinazie		9000	720	648	25	8	90	3.5	12	1.4	8.3
Spruitkool		30000	7500	6750	150	25	90	2.0	20	0.6	2.1
Witte kool		55000	5500	4950	113	10	90	2.1	20	0.9	5.3
<i>Totaal</i>		<i>353000</i>	<i>35075</i>	<i>31568</i>	<i>960</i>	<i>10</i>	<i>90</i>	<i>2.7</i>	<i>15</i>	<i>0.9</i>	<i>5.2</i>
<i>Akkerbouwgewassen</i>											
Aardappel, consumptie	loof	5600	2240	2016	20	40	90	0.9	46	0.4	2
Aardappel, consumptie	oogstrest	1667	333	300	6	20	90	1.7	25	0.6	3
Aardappel, consumptie	kriel	2775	555	500	9	20	90	1.7	25		
Aardappel, poot-	loof	35354	3889	3500	88	11	90	2.3	18		
Aardappel, poot-	oogstrest	1667	333	300	4	20	90	1.1	39		
Groene erwt droog	stro	1961	1667	1500	41	85	90	2.5	16	0.5	3
Stamslaboon	loof/stro	17600	2816	2534	65	16	90	2.3	18	0.7	4
Suikerbieten	blad+kop	32300	4845	4361	87	15	90	1.8	23	0.5	3
Winterrogge	stro	4300	3870	3483	16	90	90	0.4	96	0.2	1
Wintertarwe	stro	4400	3960	3564	26	90	90	0.6	63	0.2	2
Zomergerst	stro	3200	2880	2592	16	90	90	0.6	73	0.2	2
Zomertarwe	stro	3600	3240	2916	21	90	90	0.6	63	0.2	2
Engels raaigras graszaad	hooi	6000	5400	4860	43	90	90	0.8	51	0.4	3
Korrelmaïs	stro	25000	6250	5625	43	25	90	0.7	60	0.4	3
Blauwmaanzaad	stro	1730	1471	1323	22	85	90	1.5	26	0.9	3
Bruine bonen	stro	2988	2540	2286	15	85	90	0.6	69	0.1	1
Cichorei		4321	2593	2333	9	60	90	0.4	116	0.1	1
Kapucijners	stro	1961	1667	1500	29	85	90	1.8	23	0.4	1
Karwij	stro	3450	2760	2484	17	80	90	0.6	65	0.4	3
Lijnzaad		2662	2263	2036	0	85	90	0.0			
Vlas		148	123	111	1	83	90	0.5	84	0.5	1
Veldboon	stro	1961	1667	1500	21	85	90	1.3	32	0.3	2

6 Conclusies en aanbevelingen

Het volledig verwijderen van gewasresten

- Zal leiden tot een daling van het organische stofgehalte in de bodem. Het verschil ten opzichte van het volledig achterlaten van de gewasresten of het weer terugbrengen ervan als compost lijkt echter gering te zijn, bij gebruik van alleen kunstmest. Bij zoveel mogelijk gebruik van dunne (rundvee) mest was de daling het geringst.
- Heeft waarschijnlijk geen groot nadelig effect op de beschikbaarheid van stikstof.
- Daalt het risico op uitspoelen van stikstof daalt met ca 25%.

Aanbevelingen

De berekeningen geven aan dat er nog verder op de stikstofbemesting bespaard zou kunnen worden. Voor het nieuw te ontwerpen systeem op Vredepeel zou daarom een aantal effecten doorgerekend moeten worden:

- Effect van de gehanteerd organische stofregimes.
- Optimalisatie van de stikstofbemesting in relatie tot het organische stofbeheer.

Gebruik van gewasresten als veevoer

- De gewasresten zijn beoordeeld op de VEM, DVE, OEB, VRE en drogestofgehalte. Veel gewassen of gewasresten hebben een VEM en DVE gelijk of hoger aan die van gras of snijmaïs(kuil). Om bietenblad en erwten/bonenresten als veevoer te kunnen gebruiken moet de oogstmethode worden aangepast.

Compostering van gewasresten

- Oogstresten van vollegrondsgroentegewassen zijn niet geschikt voor compostering, tenzij ze met andere materialen worden gemengd. Het gehalte aan drogestof is te laag, ze bevatten te weinig structuurrijk materiaal en de C/N verhouding leidt tot hoge stikstofverliezen bij open compostering.
- Hetzelfde geldt voor resten van een deel van de akkerbouwgewassen met vergelijkbare drogestof gehalten. De C/N verhouding van deze resten is wel gunstig evenals dat van stro, dat bovendien ook nog structuurrijk en droog is.
- Het samenstellen van een optimaal mengsel binnen een bedrijf lijkt daarom een goed mogelijk, mengen van materialen van verschillende bedrijven stuit bij de huidige regelgeving op problemen.
- Snoeiafval uit de boomteelt is goed geschikt voor extensieve compostering, evenals afval uit de bollenteelt, waarmee al goede ervaring is opgebouwd.
- De stikstofverliezen kunnen sterk beperkt worden bij een gecontroleerde compostering in een gesloten systeem, de kosten daarvan zijn echter hoog.
- Fosfaat en kalium verliezen kunnen in elk composteringssysteem beperkt blijven.
- De beschikbaarheid van organische stikstof uit compost is laag, die van minerale stikstof, fosfaat en kalium bedraagt 100%.

Aanbevelingen

Op basis van de te ontwerpen systemen laten bepalen van optimale mengverhoudingen tussen de verschillende gewasresten door middel van laboratoriumproeven. De resultaten daarvan kunnen vervolgens met modelberekeningen worden omgezet naar praktijkschaaldimensies.

Co-vergisting en bioraffinage van gewasresten

- In principe komen alle gewasresten, behalve de zeer storijske in aanmerking voor co-vergisting, maar door de lage drogestofgehalten en/of de lage gehalten aan afbreekbare organische stof, valt een groot deel van de groentegewassen af. Het meest geschikt lijken resten van bieten, aardappelen en spruitkool.
- Voor elk gewasrest is er perspectief op het gebied van bioraffinage, maar een succesvolle toepassing is nog met vele onzekerheden omgeven. Voor de verse gewasresten komt groene bioraffinage het meest in aanmerking, voor de drogere resten is een toepassing als vezelproduct het meest geschikt.

Ontwikkelingen in de energie en grondstoffenprijzen zijn sterk bepalend voor de verdere ontwikkeling van bioraffinage.

- Verontreinigingen met aanhangend zand zijn ongunstig voor zowel co-vergisting als bioraffinage.
- Opslag van verse gewasresten door middel van silage biedt goede mogelijkheden.

Aanbevelingen

De conclusies voor co-vergisting en bioraffinage lijken in tegenspraak met elkaar voor een groot deel van de groentegewassen. Als ze wel geschikt lijken voor bioraffinage, zou de geschiktheid voor co-vergisting wel eens groter kunnen zijn dan nu wordt verondersteld. Nader onderzoek hierover is gewenst omdat co-vergisting logistieke voordelen biedt ten opzichte van bijvoorbeeld compostering. Er hoeft niet gewacht te worden op het beschikbaar komen van droog materiaal.

Referenties

Effect verwijderen gewasresten op het organische stofgehalte van de bodem

- Assinck, F.B.T., Rappoldt, C. (2004). MOTOR 2.0: Module for transformation of organic matter and nutrients in soil. User guide and documentation, Alterra rapport 933, 47 pp
- Assinck, F.B.T., Willigen, P. de (2003a). Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel, Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR. Telen met toekomst rapport OVO402, 40 pp
- Assinck, F.B.T., Willigen, P. de (2003b). Stikstofstromen op het kernbedrijf Meterik, Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR. Telen met toekomst rapport OVO405, 42 pp
- Boekel, P. (1985). Invloed van organische stof op de bodemstructuur. (Rapport Instituut voor Bodemvruchtbaarheid 10-85, 45 pp
- Boekel, P. (1991). Betekenis van huisvuilcompost voor de bodemfysische eigenschappen van de Nederlandse gronden. Rapport voor de Technische Commissie Bodembescherming TCBA91/08R, 81 pp
- Dilz, K., Schepers, A., Zaag, D.E. van der (1983). Optimalisering van de opbrengst van fabrieksaardappelen. Stichting Interprovinciaal Onderzoekcentrum voor de Akkerbouw op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost en Noordoost Nederland 19 pp
- France, J., Thornley, J.H.M. (1984). Mathematical models in agriculture. Butterworth, London
- Haan, J. de (2004). Nutriënten Waterproof, Projectplan. PPO-agv rapport 530133, 39 pp
- Heinen, M., Willigen, P. de (2001). FUSSIM2 version 5. New features and updated user's guide. Alterra rapport 363, 164 pp
- Jansen, B.H. (1984). A simple model for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. Plant and Soil 76, 297-304
- Lammers, H.W. (1984). Een berekende N-werkingscoëfficiënt voor diverse organische mestsoorten. De Buffer, 1985-5, 169-197
- Smit, A., Zwart, K.B. (2003). Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel: Mineralisatie van bodem en gewasresten. Telen met toekomst rapport OVO304, 26 pp
- Wadman, W.P., Haan, S. de (1997). Decomposition from 36 soils in a long-term pot experiment Plant and Soil 189, 289-301
- Zwart, K.B. (2002) XCLNCE, een spreadsheet voor het berekenen van stikstof en koolstof in de bodem. Alterra rapport 427, 39 pp
- Zwart, K.B. (2003). Long-term and short-term SOM dynamics. In: Mechanisms and regulation of organic matter stabilization in soils. Abstracts of an International Conference, Munich October 5-8, 2003.
- Zwart K.B., Burgers S.L.G.E., Bloem J., Bouwman L.A., Brussaard L., Lebbink G., Didden W.A.M., Marinissen J.C.Y., Vreeken Buys M.J., de Ruiter P.C. (1994). Population dynamics in the below-ground food webs in two different agricultural systems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 51:187-198

Gebruik van gewasresten als veevoeder

- CVB, (2004). Tabellenboek
- IKC, 1993. Handboek voor de rundveehouderij

Compostering van gewasresten

- Aendekerk, Th. G.L., Geers, F.A.M., de Beuze, M. (2000). Adviesbasis voor de bemesting van boomkwekerijgewassen: vollegrondsteelt. 72 p. Boskoop
- Anoniem (2003). Handreiking Composteren. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lisse
- Dubbeldam, R. (1991). Groente-, fruit- en tuinafvalcompost uit gescheiden inzameling zoekt afnemers. Landbouwkundig tijdschrift 103, nr. 1, 5-8
- Haug, R.T. (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis, Boca Raton, Florida
- Lune, P.J. van, Hassink, J., van Luit, B., Smilde, K.W. (1995). Onderzoek naar de landbouwkundige waarde van VAM GFT-landbouwcompost. IB-DLO
- Moolenaar, S.W., Veeken, A., Postma, R. (2002). Toetsen en normeren van bodemverbeteraars. Rapport 844.02, NMI BV, Wageningen

- Richard, T.L., Veeken, A., de Wilde, V., Hamelers, H.V.M. (2004). Air-filled porosity and permeability relationships during solid-state fermentation. *Biotechnology Progress* (in press)
- Riet, S. van 't, van Dam, A.M. (2003). Duurzaam bodemleven. Literatuurstudie voor composteren bij bloembollenbedrijven. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Lisse
- Starmans, D.A.J., Bruins, M.A., Melse, R.W., Veeken, A.H.M., Willers, H.C. (2003). Mest: compostering, nutriëntenverliezen en toepassing. Instituut voor Milieu- en Agrotechniek, WUR, Wageningen. Rapport 2003-11
- USCC (2003). Test Methods for the Examination of Composting and Compost. The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland
- Van Dijk, W. (2003). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*. Publicatienr. 307
- Veeken, A., Hamelers, H. (2002). Sources of Cd, Cu, Pb and Zn in biowaste. *Science Total Environment* 300, 87-98
- Veeken, A.H.M., Timmermans, J., Szanto, G., Hamelers, H.V.M., (2003). Design of passively aerated compost systems based on basis of compaction-porosity-permeability data. In: Pullammamappallil (ed.) *Orbit 2003 Organic Recovery and Biological Treatment*. Proceedings book of the meeting in May 2003, Perth, Australia
- Wiel, A.J.M., Smit, A.L., Uenk, D., Krijger, D.J.G., de Krij, C. (2002). De relatie tussen stikstofopname en gewasreflectie bij vijf buitenbloemen. *Plant Research International BV*, Wageningen. Nota 193

Perspectieven voor bioraffinage en vergisting van gewasresten

- Abma. (2000b). De plant als plant of the future: koppeling van de landbouw met de chemische industrie. Groningen, LNV Noord, Avebe, ABC, Nedalco, NOM
- AVEBE. Bio-fractionering van plantaardige grondstoffen. Workshopverslag "Landbouw in dialoog". 2001. Oranjewoud
- Bosgra, O.J. (2002). Concept Rapport. Bioraffinage. Potentieel, mogelijke bijdragen aan beleidsdoelstellingen en succes- en faalfactoren. Universiteit Utrecht, ATO. Utrecht, Wageningen
- Doorn J. van, E.R.P. Keijzers, Elbersen H.W. (2001). Cascadering van maaisel. Winning van industrieel toepasbare hernieuwbare grondstoffen gecombineerd met de opwaardering van brandstofkwaliteit voor de opwekking van energie. ECN rapport ECN-C—01-050
- Elbersen e.a. (2003). Transitie Bioraffinage. Een uitwerking van het Transitiepad Bioraffinage voor de Biomassa Transitie van EZ
- Grass, S., e.a. (2001). Production of ethanol, protein concentrate and technical fibers from clover/grass. in *Biomass a growth opportunity in green energy and value-added products*. Proceedings of the 4th biomass conference of the Americas. USA, August 29-September 2. Elsevier, Oxford. 1999. Oakland, USA. Elsevier Science Ltd
- Hansen, G., Grass, S. Method for using a vegetable biomass and a screw press to carry out said method. Patent. 2001, 2B AG. USA
- Hulst, A.C., J.J.M.H. Ketelaars, Sanders, J.P.M. (2000). Patentapplication: Separating and recovering components from plants. Application number NL 1010976C
- Hulst, A.C. (2001b). Milieu-effecten van gras bioraffinage, voor prijsvraag duurzaamheid van VROM. Veendam, Avebe, PRI, VROM
- Kamm, B. & Kamm, M. (2004). Biorefinery systems. *Chem. Biochem. Eng. Q.* 18, 1-6
- Kamm, B., Kamm, M., Richter, K., Reimann, W., Siebert, A. (2001). *Acta Biotech.* 20, 289
- Kasper, G.J. (1998). Voederwinning; fractioneren van gras en luzerne. *Landbouwmechanisatie* 1998(3): 47-48
- Ketelaars, J.J.M.H. (1998). Bio-raftinage van gras. Jaarverslag AB-DLO 1998. milieuproblemen en de relevantie van bioraffinage
- Kiel, P. (1999). The green biorefinery in Denmark- utilisation of green and brown juice as fermentation media. Centre for Agro-Industrial Biotechnology, University of Southern Denmark
- Mess, T.Z.D. de, Stams, A.J.M., Reith, J.H., Zeeman, G. (2003). Methane production by anaerobic digestion of wastewater and soil wastes. In: *Biomethane & Bio-hydrogen* (J.H. Reith e.a., eds) Dutch Biological hydrogen foundation, Petten, Nederland
- Pedersen, S.M. (1998). Reed canary grass for pulp and biofuel. *Economic viability and market possibilities*.

Sustainable agriculture for food agriculture, energy and industry. Strategies towards achievement., Braunschweig, Germany, James & James

Strijker, D., D.J. F. Kamann, e.a. (2000). Bioraffinage in Noord-Nederland. Groningen, Wetenschapswinkel voor economie, Rijksuniversiteit Groningen

Wachter B. e.a. (2004). The Green Biorefinery Austria - An Integrated, Decentralized and Sustainable Technology System for Green Biomass Utilization; 2nd Biomass World Conference; 10-14 May, 2004, Rome, Italy. Paper OA3-4

Bijlage 1. Gebruik van gewasresten als veevoer

Tabel B1.1 Toelichting tabellen voederwaarde gewassen en gewasresten

Afkorting	Betekenis	Eenheid
DS	Drogestof	g kg ⁻¹
As	As	g kg ⁻¹ ds
RE	Ruw eiwit	g kg ⁻¹ ds
VEM	Voedereenheid melk	g kg ⁻¹ ds
DVE	Darm verteerbaar eiwit	g kg ⁻¹ ds
OEB	Onbestendig eiwitbalans	g kg ⁻¹ ds
VEVI	Voedereenheid vee intensief	g kg ⁻¹ ds
FOS	Fermenteerbare organische stof	g kg ⁻¹ ds
RVET	Ruw vet	g kg ⁻¹ ds
RC	Ruwe celstof	g kg ⁻¹ ds
ZET	Zetmeel	g kg ⁻¹ ds
SUI	Suiker	g kg ⁻¹ ds
VOS	Verteerbare organische stof	g kg ⁻¹ ds
VRE	Verteerbaar ruw eiwit	g kg ⁻¹ ds
VRVET	Verteerbaar ruw vet	g kg ⁻¹ ds
VRC	Verteerbaar ruwe celstof	g kg ⁻¹ ds
VOK	Verteerbaar overige koolhydraten	g kg ⁻¹ ds
VCOS	Verteringscoëfficiënt organische stof	%
VCRE	Idem ruw eiwit	%
VCRVET	Idem ruw vet	%
VCRC	Idem ruwe celstof	%
VCOK	Idem overige koolhydraten	%

Literatuur	Auteurs	Referentie	
1	CVB	Handleiding Voederwaardeberekening Ruwvoerders	nov-03
2	CVB	Tabellenboek Veevoeding 2003	aug-03
3	A. de Vries	Groente- en fruitafval als veevoer: Inventarisatie Intern rapport IVO no 114	jul-82
4	R. Schapendonk	Het gebruik van aardappel(bij)producten in de varkensvoeding	mei-91

Tabel B1.2 Voederwaarde gewassen en gewasresten deel 1

Materiaal	DS	AS	RE	VEM	DVE	OEB	VEVI	FOS
Aardappelen, rauw, kuil	350	90	90	1048	55	-17	1152	646
Aardappelen, vers	197	63	102	1088	57	3	1197	524
Aardappelschillen, kuil	220	80	93	1006	50	-10	1081	615
Aardappelsnippers, rauw	231	33	79	1130	64	-32	1249	609
Andijvie vers	52	164	290	954	119	88	1015	596
Appelen, vers	157	24	26	1120	79	-110	1238	822
Augurk, vers	49	84	226	905	108	45	937	619
Bieten, rode/kroten	114	98	123	1058	85	-30	1161	748
Bietenblad & koppen, vers	160	200	151	873	64	26	931	608
Bietenblad, kuil	175	315	115	612	10	4	616	382
Bietenblad, vers	115	200	182	860	67	53	910	593
Bietenstartjes, kuil	136	191	104	787	41	5	821	580
Bladramenas, vers	98	176	214	818	70	66	837	513
Bloemkool vers	72	138	295	1131	114	97	1245	665
Bloemkool afval	120	200	200	911			160	
Bloemkool blad	112	248	257	870			206	
Cichoreiloof, vers	156	202	189	835	63	64	870	555
Cichoreiloof, kuil	175	341	115	464	0	49	434	352
Erwtenloof, vers	180	93	184	822	74	41	822	547
Erwtenloof, kuil	219	216	163	631	18	76	608	399
Gladiool	313	42	96	1099				
Hyacint	288	35	83	1135				
Iris	373	64	80	1060				
Komkommer, vers	58	102	156	907	91	-1	953	645
Kool (rode/witte/savooie), vers	85	55	164	1045	90	4	1112	704
Kool blad, vers	100	150	201	969	84	42	1032	614
Kool afval	137	175	139	941			111	
Kool, merg-, vers	120	130	172	972	81	19	1034	638
Koolrapen, vers	110	130	134	1013	72	0	1102	741
Krokus	511	22	102	1114				
Lijnzaad	910	52	240	1805	75	121	2024	312
Narcis	355	37	70	1113				
Paprika, vers	125	62	163	864	81	13	880	577
Peren, vers	165	24	16	1098	74	-155	1205	826
Prei, vers	100	97	165	970	80	24	1034	693
Sla, vers	61	175	237	996	106	59	1032	576
Snijgraan (stoppelgewas), vers	160	120	150	852	71	4	873	584
Snijgraan, kuil	250	170	98	727	29	0	724	470
Spinazie vers	94	186	256	953	106	71	1019	569
Spruitenkoppen en stengels, vers	180	110	187	1006	88	27	1073	654
Spruitkool vers	162	84	227	1124	106	45	1226	711
Spruitkool, stronk, vers	201	87	203	1058			181	
Stoppelknollen & loof, kuil	160	350	159	735	21	70	784	473
Stoppelknollen & loof, vers	81	181	183	1000	75	40	1094	680
Stro, bonen- (phaseolus vulgaris)	863	113	107	643	50	-12	605	477
Stro, erwten-	841	70	95	520	29	-3	453	388
Stro, gerst-	860	60	41	509	12	-31	438	387
Stro, graszaad-	844	85	83	583	32	-31	529	465
Stro, haver-	840	70	37	531	14	-44	463	428
Stro, rogge-	840	45	29	482	5	-44	404	399
Stro, tarwe-	902	80	43	418	2	-28	336	348
Stro, tuinbonen-	762	70	62	550			30	
Tomaten, vers	63	90	164	973	93	5	1032	634
Tuinbonen, loof, kuil (na bloei)	237	94	191	698			126	
Tulp, bollen, vers	408	25	93	1131				
Tulp, bollen, kuil	435	36	82	1180	85	-62	1311	778
Uien, vers	100	134	135	1088	86	-18	1201	719
Veldbonen (vicia faba), kuil	323	90	166	740	45	44	721	446
Veldbonen (vicia faba), loof, vers	167	145	176	714			131	
Witlofwortelen, niet getrokken	200	100	65	1099	76	-69	1228	823
Wortelen (winterpeen), vers	113	94	78	1082	75	-57	1198	784
Wortelstoomschillen, vers	54	131	91	1065	84	-50	1175	705
Witte kool vers	85	55	164	1045	90	4	1112	704
Witte kool, afval	140	175	165	896			127	
Witte kool, blad, vers	100	150	201	969	84	42	1032	614
Zonnebloemen, kuil	178	138	117	573	28	23	523	367

Tabel B1.3 Voederwaarde gewassen en gewasresten deel 2

Materiaal	RVET	RC	OK	ZET	SUI	VCOS	VCRE	VCRVET	VCRC	VCOK
Aardappelen, rauw, kuil	12	45	763	500		85	16	69	31	95
Aardappelen, vers	2	43	790	690		82	17	90	47	94
Aardappelschillen, kuil	13	188	626	500		85	50	71	74	93
Aardappelsnippers, rauw	2	30	856	734	15	92	75	90	33	98
Andijvie vers	22	122	402		156	86	85	55	80	91
Appelen, vers	20	75	855	40	642	89	60	38	56	94
Augurk, vers	21	167	502		335	79	63	41	70	90
Bieten, rode/kroten	20	69	690		475	89	67	78	67	96
Bietenblad & koppen, vers	20	100	529			82	79	38	67	87
Bietenblad, kuil	20	145	405			71	58	38	67	78
Bietenblad, vers	20	110	488			81	82	38	67	85
Bietenstartjes, kuil	20	150	535			77	53	78	69	84
Bladramenas, vers	30	220	360			74	82			
Bloemkool vers	35	111	421		150	84	80	60	80	90
Bloemkool afval	33	150	417			84	80	60	80	90
Bloemkool blad	51	110	334			83	80	60	80	90
Cichoreiloof, vers	0	133	476			80	73	0	80	83
Cichoreiloof, kuil	0	141	403			60	34	0	66	65
Erwtenloof, vers	35	274	414			70	77	57	51	81
Erwtenloof, kuil	26	245	350			71	64	86	66	76
Gladiool	6	45	811			87	52	0	30	95
Hyacint	3	35	844			89	52	0	30	95
Iris	5	64	787			86	52	0	30	95
Komkommer, vers	19	136	587		391	80	80	50	60	85
Kool (rode/witte/savooie), vers	18	195	568			86	80	61	79	91
Kool blad, vers	54	175	420			84	80	60	80	90
Kool afval	22	153	511			86	80	60	80	90
Kool, merg-, vers	35	180	483			83	84			
Koolrapen, vers	5	90	641			88	67	40	75	95
Krokus	6	49	821			87	52	0	30	95
Lijnzaad	386	103	219	60	37	80	81	94	25	82
Narcis	8	51	834			88	52	0	30	95
Paprika, vers	36	176	563		375	65	57	70	50	72
Peren, vers	15	146	799		558	88	60	0	65	95
Prei, vers	24	121	593		400	83	80	50	60	90
Sla, vers	40	116	432		100	85	80	60	80	91
Snijgraan (stoppelgewas), vers	30	250	450			76	76	42	69	82
Snijgraan, kuil	35	290	407			70	59	43	69	75
Spinazie vers	37	99	422			84	79	60	80	90
Spruitenkoppen en stengels, vers	25	180	498			80	79	61	75	83
Spruitkool vers	21	139	529		200	81	80	60	75	83
Spruitkool, stronk, vers	20	153	537			86	89	68	73	90
Stoppelknollen met loof, kuil	10	170	311			84	76			
Stoppelknollen met loof, vers	10	120	506			89	80			
Stro, bonen- (phaseolus vulgaris)	13	380	387			61	62	31	50	72
Stro, erwten-	17	425	393			49	58	60	41	55
Stro, gerst-	18	435	446			48	17	62	55	43
Stro, graszaad-	20	375	437			54	36	65	58	54
Stro, haver-	18	450	425			50	19	62	56	45
Stro, rogge-	16	485	425			46	14	57	54	38
Stro, tarwe-	19	420	438			42	23	41	48	38
Stro, tuinbonen-	5	539	324			52	49	57	43	68
Tomaten, vers	51	96	599		518	81	75	55	60	88
Tuinbonen, loof, kuil (na bloei)	25	292	398			61	66	52	40	74
Tulp, bollen, vers	5	39	838			88	52	0	30	95
Tulp, bollen, kuil	25	33	824			89	52	80	30	95
Uien, vers	7	115	609			79	52	54	30	95
Veldbonen (vicia faba), kuil	40	282	422	146		64	68			
Veldbonen (vicia faba), loof, vers	21	247	411			65	72	63	48	72
Witlofwortelen, niet getrokken	13	60	762		110	88	50	71	68	93
Wortelen (winterpeen), vers	15	85	728		363	89	72	63	87	92
Wortelstoomschillen, vers	21	129	628	30	19	90	62	88	87	94
Witte kool vers	25	195	561			86	80	61	79	91
Witte kool, afval	25	155	480			82	77	58	73	88
Witte kool, blad, vers	42	175	432			84	80	60	80	90
Zonnebloemen, kuil	25	317	403			69	47			

Tabel B1.4 Voederwaarde gewassen en gewasresten deel 3

Materiaal	VOS	VRE	VRVET	VRC	VOK
Aardappelen, rauw, kuil	774	14	8	14	725
Aardappelen, vers	736	17	2	20	743
Aardappelschillen, kuil	778	46	9	138	585
Aardappelsnippers, rauw	847	59	2	10	839
Andijvie vers	720	246	12	98	364
Appelen, vers	868	16	8	42	804
Augurk, vers	719	142	9	117	452
Bieten, rode/kroten	806	82	16	46	662
Bietenblad met koppen, vers	654	119	8	67	460
Bietenblad, kuil	486	67	8	97	315
Bietenblad, vers	646	150	8	73	415
Bietenstartjes, kuil	624	55	16	103	450
Bladramenas, vers	607	175			
Bloemkool vers	725	236	21	89	379
Bloemkool afval	675	160	20	120	375
Bloemkool blad	625	206	31	88	301
Cichoreiloof, vers	639	138	0	106	395
Cichoreiloof, kuil	394	39	0	93	262
Erwtenloof, vers	637	142	20	140	335
Erwtenloof, kuil	554	104	22	162	266
Gladiool	834	50	0	14	770
Hyacint	855	43	0	11	802
Iris	808	42	0	19	748
Komkommer, vers	715	125	10	82	499
Kool (rode/witte/savooie), vers	813	131	11	154	517
Kool blad, vers	711	161	32	140	378
Kool afval	707	111	13	122	460
Kool, merg-, vers	725	145			
Koolrapen, vers	768	90	2	68	609
Krokus	848	53	0	15	780
Lijnzaad	763	194	363	26	180
Narcis	844	36	0	15	792
Paprika, vers	611	93	25	88	405
Peren, vers	864	10	0	95	759
Prei, vers	750	132	12	73	534
Sla, vers	700	190	24	93	393
Snijgraan (stoppelgewas), vers	666	114	13	173	367
Snijgraan, kuil	579	58	15	200	306
Spinazie vers	683	202	22	79	380
Spruitenkoppen en stengels, vers	711	148	15	135	413
Spruitkool vers	738	182	13	104	439
Spruitkool, stronk, vers	789	181	14	112	483
Stoppelknollen met loof, kuil	549	120			
Stoppelknollen met loof, vers	727	147			
Stro, bonen- (phaseolus vulgaris)	539	66	4	190	279
Stro, erwten-	456	55	10	174	216
Stro, gerst-	449	7	11	239	192
Stro, graszaad-	496	30	13	218	236
Stro, haver-	461	7	11	252	191
Stro, rogge-	437	4	9	262	162
Stro, tarwe-	386	10	8	202	166
Stro, tuinbonen-	485	30	3	232	220
Tomaten, vers	736	123	28	58	527
Tuinbonen, loof, kuil (na bloei)	550	126	13	117	295
Tulp, bollen, vers	856	48	0	12	796
Tulp, bollen, kuil	855	43	20	10	783
Uien, vers	687	70	4	35	579
Veldbonen (vicia faba), kuil	587	113			
Veldbonen (vicia faba), loof, vers	554	127	13	119	296
Witlofwortelen, niet getrokken	791	33	9	41	709
Wortelen (winterpeen), vers	809	56	9	74	670
Wortelstoomschillen, vers	779	57	19	112	592
Witte kool vers	811	131	15	154	511
Witte kool, afval	677	127	15	113	422
Witte kool, blad, vers	715	161	25	140	389
Zonnebloemen, kuil	595	55			

Tabel B1.5 Voederwaarde gewassen en gewasresten deel 4

Materiaal	Ca	N	P	Mg	K	Na	Cl	S	Lit.
Aardappelen, rauw, kuil		14	3		22				1,2,4
Aardappelen, vers		16	3		22				1,2,4
Aardappelschillen, kuil		15	3		27				1,2,4
Aardappelsnippers, rauw		13	2		13				1,2,4
Andijvie vers	4	46	6		75	10			1,2,3
Appelen, vers	1	4	1	3	9	1		1	1,2,3
Augurk, vers		36							1,2,3
Bieten, rode/kroten	3		4		36	9			1,2,3
Bietenblad met koppen, vers		24	2		31				1,2,3
Bietenblad, kuil		18	3		39				1,2,3
Bietenblad, vers		29	2		35				1,2,3
Bietenstartjes, kuil		17	2		14				1,2,3
Bladramenas, vers		34	3		23				1,2
Bloemkool vers	3	47	6		43	2			1,2,3
Bloemkool afval									1,2,3
Bloemkool blad									1,2,3
Cichoreiloof, vers		30	7						1,2,3
Cichoreiloof, kuil		18							1,2,3
Erwtenloof, vers		29							1,2,3
Erwtenloof, kuil		26	4		22				1,2,3
Gladiol									3
Hyacint									3
Iris									3
Komkommer, vers	7	25	5		33	2			1,2,3
Kool (rode/witte/savooie), vers	6	26	4		33	1			1,2,3
Kool blad, vers		32	3		23				1,2,3
Kool afval									1,2,3
Kool, merg-, vers		28	3		23				1,2,3
Koolrapen, vers		21	2		25				1,2,3
Krokus									3
Lijnzaad									2
Narcis									3
Paprika, vers	3	26	3		50	1			1,2,3
Peren, vers	1	3	2		7				1,2,3
Prei, vers	6	26	4		32	1			1,2,3
Sla, vers	5	38	5		56	3			1,2,3
Snijgraan(stoppelgewas), vers		24	4		29				1,2
Snijgraan, kuil									1,2
Spinazie vers	11	41	6	7	62		8	3	1,2,3
Spruitkoppen en stengels, vers		30	4		26				1,2,3
Spruitkool vers		36	7		28				1,2,3
Spruitkool, stronk, vers									1,2,3
Stoppelknollen met loof, kuil		25	6		25				1,2
Stoppelknollen met loof, vers		29	6		56				1,2
Stro, bonen- (phaseolus vulgaris)		17	2		15				1,2,3
Stro, erwten-		16	1		23				1,2,3
Stro, gerst-		8	1		18				1,2,3
Stro, graszaad-		11	2		18				1,2,3
Stro, haver-		6	1		18				1,2,3
Stro, rogge-		5	1		10				1,2,3
Stro, tarwe-		7	1		18				1,2,3
Stro, tuinbonen-		13	2		15				1,2,3
Tomaten, vers	2		4		60	2			1,2,3
Tuinbonen, loof, kuil (na bloei)									1,2,3
Tulp, bollen, vers									3
Tulp, bollen, kuil									1
Uien, vers	2	22	3		15	1			1,2,3
Veldbonen (vicia faba), kuil		27	3		26				1,2,3
Veldbonen (vicia faba), loof, vers									1,2,3
Witlofwortelen, niet getrokken		10	2		18				1,2,3
Wortelen (winterpeen), vers	4	12	3	2	27	7	2		1,2,3
Wortelstoomschillen, vers		15	5		49				1,2,3
Witte kool vers	5		3	2	21	1	4	9	1,2,3
Witte kool, afval									1,2,3
Witte kool, blad, vers									1,2,3
Zonnebloemen, kuil		19	4		38				1,2,3

Bijlage 2. Structuur van het compostbed

Bij de compostering is een goede structuur van het compostbed vereist omdat:

- De omzettingssnelheid afhankelijk is van de porositeit (een goed contact tussen de lucht en het vaste materiaal garandeert aërobe afbraak van organisch materiaal).
- Bij lage porositeit anaërobe gebieden ontstaan in het compostbed waardoor ongewenste geurverbindingen worden gevormd.
- De luchtverversing in een passief belucht systeem direct is gerelateerd aan de permeabiliteit van het compostbed.
- Het energieverbruik van de ventilator in geforceerd beluchte systemen toeneemt met afnemende permeabiliteit.

De permeabiliteit (weerstand tegen luchtstroming) moet zodanig zijn dan er voldoende beluchting kan plaatsvinden. De permeabiliteit neemt toe met afnemende deeltjesgrootte en afnemende porositeit. Een stevige structuur maakt het mogelijk dat de hoop voldoende hoog kan worden opgebouwd zonder dat de hoop teveel inklinkt. Hierdoor blijft de porositeit en permeabiliteit van de composthoop behouden en wordt de beluchting gegarandeerd.

De porositeit van het vaste materiaal is niet alleen afhankelijk van de samenstelling van het materiaal maar ook van de hoogte van het compostbed. Door de pakking van het compostbed wordt onderliggend materiaal samengeperst zodat de porositeit afneemt. De mate van samendrukbaarheid (of inklinking) wordt bepaald door de mechanische sterkte van het compostbed.

Binnen de sectie Milieutechnologie is een apparaat ontwikkeld dat tegelijkertijd de inklinking, porositeit en permeabiliteit van een compostbed kan meten (Richard e.a., 2004). Uit de meting worden de volgende structuurparameters bepaald:

1. Mechanische sterkte (mate van inklinking).
2. Initiële bulkdichtheid (bulkdichtheid als geen druk wordt uitgeoefend op het materiaal).
3. Helling van de porositeitvergelijking.
4. Snijpunt van de porositeitvergelijking.
5. Gemiddelde deeltjesgrootte.

Op basis van parameter 1 en 2 wordt de bulkdichtheid berekend, op basis van parameter 3 en 4 de porositeit als functie van de bulkdichtheid en uit parameter 5 de permeabiliteit als functie van de porositeit. Op basis van de vijf structuurparameters is een model afgeleid om de bulkdichtheid, porositeit en permeabiliteit van een compostbed te berekenen op basis van de hoogte van de composthoop.

De bepaling van de structuurparameters is essentieel om een composteringproces te kunnen opschalen van lab- of pilotschaal naar grote schaal. Ook is gebleken dat de structuur sterk afhankelijk is van:

- de temperatuur: een temperatuurstijging van 20 naar 60 °C leidt tot een afname in mechanische sterkte van 50%.
- de mate van afbraak van het materiaal: door de afbraak van de organische stof kan de mechanische sterkte van het materiaal sterk dalen.

In tabel B2.1 zijn voor verschillende materialen de initiële bulkdichtheid en de mechanische sterkte van verschillende materialen opgesomd. Materialen zoals mest en zuiveringsslib hebben een hoge bulkdichtheid en geen mechanische sterkte. Dit betekent dat dit materiaal op een composthoop snel inklinkt en dus niet geschikt is voor compostering. Tarwestro en groenafval combineren een lage bulkdichtheid met een hoge mechanische sterkte. Dit betekent dat de porositeit van het materiaal hoog is en het materiaal niet gemakkelijk inklinkt. Deze materialen zijn dus uitstekend geschikt om de structuur van de composthoop te verbeteren.

Door Veecken e.a. (2003) is een berekeningsmethode gepresenteerd om de bulkdichtheid, porositeit en permeabiliteit van een compostbed te berekenen op basis van de op laboratoriumschaal gemeten structuurparameters voor een compostbed met een bepaalde hoogte.

Tabel B2.1. Structuurparameters van verschillende materialen.

Materiaal	ds (% vers)	os (% ds)	Initiële bulkdichtheid (kg m ⁻³)	Mechanische sterkte (m ² N ⁻¹)
Tarwestro	89	92	36	772
Verkleind groenafval	47	89	172	691
Vaste fractie mest	29	83	632	25
Zuiveringsslib	42	65	590	10

Bijlage 3. Beoordeling van verschillende materialen (of mengsels) voor compostering

Het uitvoeren van praktijkproeven voor compostering vergt grote investeringen en de resultaten gelden slechts voor de heersende condities (type materiaal en composthoop). Op basis van laboratoriumexperimenten zijn tegen veel lagere kosten de verschillende parameters (structuurparameters en afbreekbaarheid) te meten. Deze parameters zijn de basis zijn om een composteringssysteem te ontwerpen en op te schalen. De volgende experimenten moeten hiervoor uitgevoerd worden:

- Bepaling structuurparameters: hiermee wordt voor een bepaalde bulkdichtheid de porositeit en luchtdoorlatendheid bepaald.
- Activiteitstesten (als functie van de porositeit): hiermee wordt de organische stof afbraak en de energieproductie gemeten.

Op basis van de gemeten parameters kan de maximale hoogte van de hoop, droging en massareductie berekend worden voor verschillende situaties (zie bijlage H4a).

Tevens zijn aan de sectie Milieutechnologie computermodellen beschikbaar waarmee stikstofemissies uit het composteringsproces en stikstofmineralisatie van compost berekend worden.

Bijlage 4. Hoeveelheden, samenstelling en vrijkomen van oogstresten in Nederland

In tabel B4.1 en tabel B4.2 zijn de hoeveelheden en samenstelling van oogstresten van vollegrondsgroentegewassen en akkerbouwgewassen gegeven.

Tabel B4.3 geeft inzicht in de resten van vollegrondsgroentegewassen (verse massa) in Nederland en de bijbehorende hoeveelheden N, P_2O_5 en K_2O in Nederland. De gewassen en hoeveelheden gewasresten zijn uitgesplitst naar regio's waar ze het meeste worden geproduceerd. Voor vollegrondsgroentegewassen is dat Zuid Nederland (Limburg en Noord-Brabant) en West Nederland (Zuid-Holland, Noord-Holland en Zeeland). Zo is te zien dat preiresten voornamelijk in Zuid-Nederland voorkomen, de meeste witte en bloemkoolresten in Noord-Holland worden geproduceerd en de meeste spruitkool te vinden is in Zuid-Holland.

Tabel B4.4 Akkerbouwgewassen. De resten van aardappelloof zijn minder interessant in verband met het vaak doodspuiten van loof om ziekte verspreiding tegen te gaan (bruinrot). Er zijn veel gewasresten afkomstig van suikerbiet. Het blad en de kopresten werden vroeger vaak als veevoer gebruikt. Er wordt veel stro geproduceerd, maar dit stro heeft vele toepassingen. Het wordt onder andere in de veehouderij gebruikt en in de bloembollen en aardbeienteelt. In de laatste twee gevallen kan het stro bij de compostering van gewas- en oogstresten op bloembol en aardbei bedrijven worden gebruikt. De gewassen en hoeveelheden gewasresten zijn uitgesplitst naar regio's waar ze het meeste worden geproduceerd.

Tabel B4.5 geeft informatie over de resten van bloembolgewassen per provincie, voor de nutriënten op nationaal niveau en wanneer de resten vrijkomen. In tabel B4.6 staan gegevens over groenbemesters vermeld, op nationaal niveau. In tabel B4.7 staat informatie over resten van boomgewassen en snoeiresten.

Tabel B4.1. Samenstelling van oogstresten van vollegrondsgroenteresten

Gewas	Hoeveelheid (kg ha ⁻¹)	Ds (% vers)	os (% ds)	N-org (% ds)	C/N-org (-)	P ₂ O ₅ (% ds)	K ₂ O (% ds)
Andijvie	20000	7	90	3,5	12	0,8	5,4
Bloemkool	50000	10	90	3,3	12	0,7	2,6
Broccoli	36000	10	90	3,3	12	1,1	3,6
Chinese kool	35000	5	90	3,3	12		
IJssla	40000	5	90	3,0	13	0,9	8,5
Kropsla	11000	7	90	3,4	12	1,3	8,8
Prei	22000	11	90	3,0	14	0,7	4,4
Rode kool	45000	10	90	2,8	15	0,7	3,0
Spinazie	9000	8	90	3,5	12	1,4	8,3
Spruitkool	30000	25	90	2,0	20	0,6	2,1
Witte kool	55000	10	90	2,1	20	0,9	5,3
<i>Totaal</i>	<i>353000</i>	<i>10</i>	<i>90</i>	<i>2,7</i>	<i>15</i>	<i>0,9</i>	<i>5,2</i>

Tabel B4.2. Samenstelling van oogstresten van akkerbouwgewassen

Gewas	type oogstrest	Hoeveelheid (kg ha ⁻¹)	ds (% vers)	os (% ds)	N-org (% ds)	C/N-org (-)	P ₂ O ₅ (% ds)	K ₂ O (% ds)
Aardappel, consumptie	loof	5600	40	90	0,9	46	0,4	2
Aardappel, consumptie	oogstrest	1667	20	90	1,7	25	0,6	3
Aardappel, consumptie	kriel	2775	20	90	1,7	25		
Aardappel, poot-	loof	35354	11	90	2,3	18		
Aardappel, poot-	oogstrest	1667	20	90	1,1	39		
Groene erwt droog	stro	1961	85	90	2,5	16	0,5	3
Stamslaboon	loof/stro	17600	16	90	2,3	18	0,7	4
Suikerbieten	blad+kop	32300	15	90	1,8	23	0,5	3
Winterrogge	stro	4300	90	90	0,4	96	0,2	1
Wintertarwe	stro	4400	90	90	0,6	63	0,2	2
Zomergerst	stro	3200	90	90	0,6	73	0,2	2
Zomertarwe	stro	3600	90	90	0,6	63	0,2	2
Graszaad, Engels raai	hooi	6000	90	90	0,8	51	0,4	3
Korrelmaïs	stro	25000	30	90	0,7	60	0,4	3
Blauwmaanzaad	stro	1730	85	90	1,5	26	0,9	3
Bruine bonen	stro	2988	85	90	0,6	69	0,1	1
Cichorei		4321	60	90	0,4	116	0,1	1
Kapucijners	stro	1961	85	90	1,8	23	0,4	1
Karwij	stro	3450	80	90	0,6	65	0,4	3
Lijnzaad		2662	85	90	0,0			
Vlas		148	83	90	0,5	84	0,5	1
Veldboon	stro	1961	85	90	1,3	32	0,3	2
<i>Totaal zonder structuur</i>		<i>110093</i>	<i>23</i>	<i>90</i>	<i>1,3</i>	<i>31</i>	<i>0,3</i>	<i>2,1</i>
<i>Totaal structuurmateriaal (stro)</i>		<i>52821</i>	<i>61</i>	<i>90</i>	<i>0,8</i>	<i>48</i>	<i>0,3</i>	<i>2,2</i>

Tabel B4.3. Gewas- en oogstresten van vollegrondsgroentengewassen. Totaal verse gewasresten in tonnen en nutriënten in tonnen.

Product	Limburg	Noord-Brabant	Noord-Holland	Zuid-Holland	Flevoland	Gelderland/Zeealand	Nederland	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
andijvie	0	7000	0	0	0	0	10000	20	5	35
bloemkool	10000	7500	65000	7500	8500	10000	115000	259	85	299
broccoli	1800	9000	9720	0	1080	5760	37800	128	42	137
Chinese kool	3500	4375	0	0	0	0	9800	17	7	45
ijssla	18000	10800	12000	0	0	0	56000	87	24	238
kropsla	0	1265	0	1320	0	0	4950	14	5	31
prei	35200	36300	0	0	0	0	81400	279	67	396
rode kool	2475	7200	18000	0	0	0	31050	79	21	93
spinazie	1530	10080	0	675	2610	0	18900	77	21	126
spruitkool	3750	10050	0	112800	5100	0	153000	861	230	816
witte kool	7150	0	91850	0	0	0	108900	245	95	574
boerenkool	0	4945	6670	0	0	0	17135	84	15	111
knolselderij	2400	12400	1500	3400	500	8600	29400	73	26	197
knolvenkel	0	0	0	0	0	0	5720	21	4	29
koolraap	0	0	0	0	0	0	1680	3	0	0
Kroten	0	930	7440	775	2790	0	13330	39	5	92
peen bos-	0	1739	0	0	0	0	2479	8	2	22
peen was-	5500	12100	0	0	2750	0	31625	67	22	281
peen winter-	5440	13260	8500	2210	28900	6205	87550	190	61	779
schorseneren	5700	10800	0	0	0	0	17040	60	22	114
spitskool	0	0	0	0	0	0	13440	49	4	47
stamslaboon	17400	53000	0	3200	14000	0	96000	292	106	643
witlofwortel	1365	8820	10185	8925	49140	14175	96600	161	48	705

Gegevens areaal groenten, CBS 1999 en 2000. Gewasresten gegevens AGV, 2003 en 2004.

Tabel B4.4a. Gewas- en oogstresten van akkerbouwgewassen. Totaal verse gewasresten in tonnen per provincie

Gewas/gewasrest	Nederland	Groningen	Friesland	Drente	Overijssel	Flevoland	Gelderland	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg
Cons.aardappel (loof)	695738	97619	0	149380	0	73685	0	22809	57226	90698	87371	0
Cons.Aardappel (oogstrest)	207106	29059	0	44467	0	21934	0	6790	17035	26999	26009	0
Cons.aardappel (kriel)	344763	48374	0	74023	0	36513	0	11303	28358	44944	43296	0
Pootaardappel (loof)	1369843	290359	234924	50308	0	294212	0	250975	40444	89126	66323	0
Pootaardappel (oogstrest)	64578	13688	11075	2372	0	13870	0	11832	1907	4202	3127	0
Groene erwststro	1841	0	0	0	0	0	0	218	0	273	522	0
Suikerbieten (blad+kop)	3470151	442672	0	453492	0	447032	0	221901	237825	500844	431302	362018
Korrelmaïsstro	561600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blauwmaanzaad (stro)	1009	0	0	0	0	0	0	0	0	716	223	0
Bruine bonenstro	4425	0	0	0	0	0	0	0	0	4270	0	0
Cichorei	19423	0	0	0	0	0	0	1854	1668	8344	6793	0
Kapucijnersstro	1286	0	0	0	0	212	0	0	0	684	0	0
Karwij	656	276	0	0	0	0	0	0	0	311	0	0
Lijnzaad	11779	0	0	0	0	1326	0	0	338	8572	729	0
Vlas	650	0	0	0	0	72	0	0	0	474	40	0
Veldboon (stro)	1198	0	0	0	0	196	0	210	0	0	369	392
(winter)rogge	15123	1264	0	5319	2735	0	2494	0	0	0	1032	860
Wintertarwe	456474	30228	0	0	0	40748	26708	30228	48730	102203	50006	30980
Zomergerst	186858	38918	11472	48275	15238	7402	16013	6614	5888	18595	10195	7667
Zomertarwe	91598	16650	4468	9616	0	9115	5263	8215	11347	11444	9349	0

Vervolg Tabel B4.4b Nutriënten in oogstresten per gewas in tonnen

Gewas of type	Oogstrest	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cons.aardappel (loof)	loof	2435	1044	4174
Cons.Aardappel (oogstrest)	oogstrest	683	228	1056
Cons.aardappel (kiel)	kiel	1138		
Pootaardappel (loof)	loof	3425		
Pootaardappel (oogstrest)	oogstrest	136		
Groene erwtstro	stro	39	8	42
Suikerbieten (blad+kop)	blad+kop	9369	2429	16657
Korrelmaïsstro	stro	956	505	4045
Blauwmaanzaad (stro)	stro	13	8	22
Bruine bonenstro	stro	22	4	28
Cichorei		41	14	103
Kapucijnersstro	stro	19	4	15
Karwij	stro	3	2	16
Vlas		3	3	7
Veldboon (stro)	stro	13	3	20
(winter)rogge	stro	57	27	153
Wintertarwe	stro	2648	730	6801
Zomergerst	stro	934	392	2784
Zomertarwe	stro	531	147	1365

Tabel B4.5a. Gewasresten van bloembolgewassen. Totaal verse gewasresten in tonnen en nutriënten in tonnen per provincie

	Hyacint	Iris	Krokus	Narcis G	Narcis K	Tulp	Overig	Gladiool P	Gladiool K	Lelie
Nederland	22097	3753	2705	19140	2967	128334	29586	24285	16523	51799
Groningen	0	0	0	80	12	1664	0	0	0	0
Friesland	0	0	0	0	0	2057	0	0	0	3152
Drenthe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5840
Overijssel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5305
Flevoland	0	267	17	90	14	22111	1624	5972	4064	4069
Gelderland	0	0	67	470	73	0	0	2228	1516	1154
Noord-Holland	12103	3358	2478	12400	1922	84392	17236	3997	2720	20425
Zuid-Holland	9937	41	164	5660	877	13335	5228	2259	1537	1288
Zeeland	19	29	0	0	0	1918	1068	2670	1817	0
Limburg	0	41	0	30	5	0	2293	4535	3085	6953
Noord-Brabant	76	0	0	10	2	1562	0	2054	1398	3131

Tabel B4.5b Gewasresten van bloembolgewassen. Totaal verse gewasresten in tonnen en nutriënten in tonnen per gewas

Gewas	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Hyacint	29	8	115
Iris	11	1	31
Krokus	10	4	18
Narcis G	30	11	88
Narcis K	6	2	3
Tulp	212	46	401
Overig	61	19	147
Gladiool P	59	23	148
Gladiool K	40	12	87
Lelie	96	23	109

Tabel B4.5c. Pelafval van bloembolgewassen Totaal vers pelafval in tonnen en nutriënten in tonnen per provincie

Gewas	Hyacint	Iris	Krokus	Narcis	Tulp	Overig	Gladiool	Lelie
Groningen	0	0	0	29	732	0	0	0
Friesland	0	0	0	0	906	0	0	1958
Drente	0	0	0	0	0	0	0	3629
Overijssel	0	0	0	0	0	0	0	3296
Flevoland	0	197	9	33	9732	504	1412	2528
Gelderland	0	0	35	170	0	0	527	717
Noord-Holland	3268	2478	1286	4479	37146	5346	945	12691
Zuid-Holland	2683	30	85	2044	5870	1621	534	800
Zeeland	5	21	0	0	844	331	631	0
Brabant	21	0	0	36	688	0	486	1946
Limburg	0	30	0	116	0	711	1072	4320

Tabel B4.5d. Pelafval van bloembolgewassen Totaal vers pelafval in tonnen en nutriënten in tonnen per gewas

Gewas	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Vrijkomen gewasresten	Vrijkomen pelafval
Hyacint	25	4	22	Juni-juli	Aug-september
Iris	12	2	14	Juni-juli	Aug-september
krokus	9	1	4	Juni	Aug-september
Narcis	35	5	29	Juli-augustus	September
Tulp	322	47	247	Juni-juli	Aug-september
Overig	44	8	41		
Gladiool	26	12	28	Oktober-november	Februari
Lelie	137	20	170	Oktober-december	Februari

Pelafval: de gehalten van de bollen zijn als uitgangspunt genomen.

Tabel B4.6a. Groenbemesters. Totaal verse massa in tonnen en nutriënten in tonnen, op nationaal niveau.

Gewas	Bovengrondse delen			Totaal in tonnen		C/N
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	versgewicht	drooggewicht	
Wikken	50	15	100	12500	1250	11
Bladkool	0	0	0	0	0	21
Bladrammenas	2282	684	4563	992000	99200	18
Gele mosterd	1204	361	2409	573500	57350	18
Zomerkoolzaad	0	0	0	0	0	18
Stoppelknollen	0	0	0	0	0	18
Hopperups klaver	0	0	0	0	0	14
Witte klaver	7	2	11	1538	200	12
Rode klaver	9	3	13	2077	270	14
Facelia	36	11	71	11500	1150	17
Tagetes	30	9	61	12698	1600	19
Zomerrogge groen	0	0	0	0	0	15
Winterrogge	192	77	499	48000	6000	15
Westerwolds raaigras	53	21	137	18462	2400	17
Italiaans raaigras	1100	440	2860	384615	50000	17
Engels raaigras	339	136	881	96800	12100	17

Het areaal groenbemesters akkerbouwgewassen wordt gesteld op ongeveer 10% van het akkerbouw areaal van 800.000 ha. Op 25% van het bollen areaal van ongeveer 24000 ha worden ook groenbemesters verbouwd/gebruikt. Op 87.000 ha groenbemesters maken bladrammenas en gele mosterd 58% uit. Italiaans raaigras maakt 23 % uit. 3 groenbemesters 81%. CBS groenbemesters: 2002 en 2003 ruim 24000 ha.

Tabel 4.6b Groenbemesters: Verhoudingen N: P2O5: K2O

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Grassen	1	0,4	2,6
Vlinderbloemigen	1	0,3	1,5
Anderen	1	0,3	2
Kool	1	0,3	1,8

Dit is afgeleid uit de verhoudingen van de gewassen zoals ze zijn gebruikt in de deskstudie org. stof kringlopen.

Tabel B4.7a Bomen: resten, uitval en onverkoopbaar.

Product	Vers kg ha ⁻¹	Droog kg ha ⁻¹	Organische stof kg ha ⁻¹	N in droog gewas	C-N in droog gewas	P ₂ O ₅ in kg ha ⁻¹	K ₂ O
Bos en haagplantsoen verplant	3392	1628	1465,2	20,3	32	4,7	21,2
Bos en haagplantsoen, zaai	488	234	210,6	2,9	33	0,7	3
Laan- en parkbomen	5388	2586	2327,4	32,3	32	7,4	33,6
Laan- en parkbomen spillen	1463	702	631,8	8,8	32	2	9
Vruchtbomen	5388	2586	2327,4	32,3	32	7,4	33,6
Rozen struiken	1160	696	626,4	8,7	32	2	9
Sierconiferen	4740	1422	1279,8	17,8	32	4,1	38,5
Sierheesters en klimplanten	8766	3068	2761,2	38,3	32	8,8	39,9
Vaste planten	8200	1640	1476	32,8	20	7,5	27,9
<i>Snoeiresten</i>							
Bos en haagplantsoen verplant	1310	629	566,1	9,4	27	2,2	8,2
Bos en haagplantsoen, zaai	188	90	81	1,4	26	0,3	1,2
Laan- en parkbomen	1428	857	771,3	12,9	27	2,9	11,1
Laan- en parkbomen spillen	1125	540	486	8,1	27	1,9	7
Vruchtbomen	1785	857	771,3	12,9	27	2,9	11,1
Rozen struiken	1942	1165	1048,5	17,5	27	4	15,1
Sierconiferen	73	22	19,8	0,3	30	0,1	0,3
Sierheesters en klimplanten	14554	5094	4584,6	76,4	27	17,5	66,2
Vaste planten	2780	556	500,4	13,9	16	3,2	9,5

Bron: Kwingegevens Boomteelt, 1998 en expert kennis PPO-Bomen. Gegevens vaste planten schattingen gebaseerd op rapport van de Wiel e.a., 2002.

Tabel B4.7b Hoeveelheid verse gewasresten in tonnen voor onverkoopbaar en uitval en snoeiresten per provincie voor boomkwekerijgewassen .

	Nederland	Groningen	Friesland	Drente	Overijssel	Flevoland	Gelderland	Utrecht	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg
<i>Gewasresten</i>													
Bos en haagplantsoen verpl	4358	115	7	58	105	7	58	54	20	54	24	3334	451
Bos en haagplantsoen, zaai	318	23	0	4	4	0	19	3	3	9	0	235	26
Laan- en parkbomen	12855	86	59	97	102	409	4779	447	48	269	102	4973	1482
Laan- en parkbomen spillen	1413	0	1	1	10	12	405	20	1	16	9	818	118
Vruchtbomen	4218	75	0	11	5	641	593	32	11	65	404	1013	1368
Rozen struiken	537	16	1	1	6	0	6	7	9	30	1	125	335
Sierconiferen	11234	81	393	332	1536	95	1185	313	152	114	142	4584	1275
Sierheesters en klimplanten	18154	96	193	447	1227	123	1289	447	640	6723	465	5216	1280
Vaste planten	9184	98	98	410	189	123	541	205	1435	2821	205	2050	1000
<i>Snoeiresten</i>													
Bos en haagplantsoen verpl	1684	45	3	22	41	3	22	21	8	21	9	1288	174
Bos en haagplantsoen, zaai	122	9	0	2	2	0	7	1	1	3	0	91	10
Laan- en parkbomen	3408	23	16	26	27	109	1267	119	13	71	27	1318	393
Laan- en parkbomen spillen	1087	0	1	1	8	9	312	16	1	12	7	629	91
Vruchtbomen	1398	25	0	4	2	212	196	11	4	21	134	336	453
Rozen struiken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sierconiferen	899	27	2	2	10	0	10	12	16	50	2	210	561
Sierheesters en klimplanten	174	1	6	5	24	1	18	5	2	2	2	71	20
Vaste planten	30142	160	320	742	2038	204	2139	742	1062	11163	771	8660	2125

Tabel B4.7c. Hoeveelheid nutriënten in gewasresten in tonnen voor onverkoopbaar en uitval en snoeiresten voor boomkwekerijgewassen

Nutriënten in tonnen	Nederland		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Onverkoopbaar en uitval</i>			
Bos en haagplantsoen verplant	26,09	6,04	27,24
Bos en haagplantsoen, zaai	1,89	0,46	1,96
Laan- en parkbomen	77,07	17,66	80,17
Laan- en parkbomen spullen	8,50	1,93	8,69
Vruchtbomen	25,29	5,79	26,31
Vruchtbomen onderstam	0,00	0,00	0,00
Rozen struiken	4,03	0,93	4,17
Sierconiferen	42,19	9,72	43,85
Sierheesters en klimplanten	79,32	18,22	82,63
Vaste planten	36,74	8,40	31,25
<i>Snoeiresten</i>			
Bos en haagplantsoen verplant	12,08	2,83	10,54
Bos en haagplantsoen, zaai	0,91	0,20	0,78
Laan- en parkbomen	30,78	6,92	26,48
Laan- en parkbomen spullen	7,82	1,84	6,76
Vruchtbomen	10,10	2,27	8,69
Rozen struiken	8,10	1,85	6,99
Sierconiferen	0,71	0,24	0,71
Sierheesters en klimplanten	158,22	36,24	137,10
Vaste planten	15,57	3,58	10,64

Tabel B4.7c Variatie nutriënten in droge stof boomgewassen

Nutriënten	Variatie in g kg ⁻¹ droge stof
N	17 – 35
P ₂ O ₅	4,5 - 7,5
K ₂ O	13 – 25

Aendeckerk e.a., 2000.

Vrijkomen gewasresten en resten boomgewassen:

Snoeien vindt meestal ook in het voorjaar of zomer plaats. Zo worden Thuja's die grootschalig worden geteeld in april/mei teruggesnoeid. Buxus (ook een belangrijk gewas) wordt in juni tot bollen gesnoeid. Verkoop vindt plaats in het voorjaar; wat er dan nog over blijft, moet in mei het veld ruimen. Zowel sierheesters als coniferen worden voor 97,5% in de maanden maart/april/mei verhandeld. Dat betekent dat ze ook in die periode worden gerooid. Wat is uitgevallen, en als dood hout achterblijft, gaat doorgaans pas tijdens het rooien in het voorjaar er uit. In de rozen ligt het accent in het najaar, behalve de snoei die is halverwege het jaar. In het najaar worden weinig planten gerooid. Sierheesters en coniferen zijn zeer divers. Voorbeeldgewassen zijn Buxus en Thuja, dat zijn de meest toonaangevende gewassen.

Bijlage 5. Productie compost en gebruik mest

GFT-compost

Productie Huishoudelijk afval 5 miljoen ton in 1990, 50% is GFT afval. In 1994 verwachting 1 miljoen ton tot compost wordt verwerkt. In Nederland wordt 1,5 miljoen ton GFT-afval en 1,5 miljoen ton groenafval ingezameld en verwerkt tot compost (Advies aanpassing besluit kwaliteit en gebruik overige organische meststoffen, TCB A34 2004). De compostproductie van het GFT-afval is tussen de 35 - 40% van het ingezamelde afval (1994). Voor groencompost kan grofweg hetzelfde worden aangehouden. De productie zou 40 - 45% kunnen zijn.

Groencompost

De hoeveelheid groenafval in Nederland wordt geraamd op ca. 3.200.000 ton jaar⁻¹, de samenstelling staat in tabel B5.1.

Tabel B5.1 Samenstelling groenafval (ton jaar⁻¹)

Soort	Hoeveelheid	Aandeel
Plantsoenafval	1.180.000	37%
Bermmaaisel	563.000	17%
Slootmaaisel	1.159.000	36%
Dunningshout	200.000	6%
Heideplagsel	100.000	3%

Definitie groenafval

Plantaardige afvalstoffen die vrijkomen bij de aanleg en het onderhoud van particulier en openbaar groen, bos- en natuurterreinen en watergangen

Definitie bermmaaisel bermroofofsel

Groenafval dat vrijkomt bij het maaien van groenstroken en wegbermen. Het inzamelen van groenafval is niet door de overheid geregeld. Het wordt aan de markt overgelaten. Dit in tegenstelling tot het inzamelen van het GFT-afval. Groenafval wordt in de regel in de open lucht gecomposteerd. Het GFT-afval wordt over het algemeen in gesloten inrichtingen verwerkt. Groencompost is een product dat nog niet zoveel wordt gebruikt. Men zoekt daar een markt voor. Bijvoorbeeld in de boomteelt en ook in de bloembollenteelt.

Gebruik gewasresten

Meestal blijven gewas- en ook oogstresten op het land liggen en worden ondergewerkt. In Noord-Holland in de bloembollenteelt wordt steeds meer het pelafval en de stroresten op het bedrijf gecomposteerd. Dit wordt gedaan ten behoeve van de organische stofvoorziening van de bloembolpercelen op duinzand. Tevens is het een vrij goedkope manier om van het organische afval af te komen.

Mestgebruik

Rundvee, varkens en kippendrijfmest wordt veel op grasland en op maïs gebruikt en in de akkerbouw. Stalmest wordt veel gebruikt in de boomteelt (Gelderland) en de bloembollenteelt (Noord- en Zuid-Holland). Varkens en rundveedrijfmest wordt in het voorjaar ook op lelies en op gladiolen uitgereden in Oost en Zuidoost Nederland. Rundveedrijfmest wordt als stuifbestrijding in de veenkoloniën op een veenkoloniaal bouwplan gebruikt (12 tot 15 ton ha⁻¹).

system

·
innovatie
