Rapport 225

Composteren van dunne mest

november 2001



Colofon

Uitgever
Praktijkonderzoek Veehouderij
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info@pv.agro.nl.
Internet http://www.pv.wageningen-ur.nl

Redactie en fotografie
Praktijkonderzoek Veehouderij

© Praktijkonderzoek Veehouderij
Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Aansprakelijkheid
Het Praktijkonderzoek Veehouderij aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen
ISSN 0169-3689
Eerste druk 2001/oplage 100
Prijs € 17,50 (f 38,56)

Losse nummers zijn schriftelijk, telefonisch, per E-mail of via de website te bestellen bij de uitgever.

NMI
Rapport valt in de NMI-reeks onder nr. 766.01

PRAKTIJKONDERZOEK
VEEHOUDERIJ

nmi

Rapport 225

Composteren van dunne mest

Composting of cattle slurry

H.J.C. van Dooren

november 2001

WAGENINGEN UR

Voorwoord

Op kleine schaal ontplooien veehouders momenteel initiatieven met betrekking tot compostering. Daarbij worden aangevoerde grasproducten vanuit beheersgebieden of bermen gecomposteerd met dunne rundermest van het eigen bedrijf. De compost wordt vervolgens op het eigen bedrijf ingezet. Hiermee streeft men naar een duurzaam nutriënten- en waterbeheer door middel van verbetering van de bodemvruchtbaarheid.
In opdracht van het Productschap Zuivel en de Stuurgroep Landbouw Innovatie Noord-Brabant verricht het Praktijkonderzoek Veehouderij, in samenwerking met het Nutriënten Management Instituut, onderzoek naar de perspectieven van deze methode van compostering. In een driejarig project zal door combinatie van bureaustudies en experimenteel onderzoek antwoorden worden gezocht op de belangrijkste vragen. Dit rapport is het resultaat van de eerste stap: een literatuurverkenning en verkennende modelberekeningen. Het vormt de basis voor de verdere activiteiten in het project.
Mijn dank gaat uit naar iedereen die betrokken is bij de totstandkoming van dit rapport: de auteurs, de leden van de begeleidingscommissie en in het bijzonder Henri Bouwmans voor de gastvrijheid op zijn bedrijf.

F. Mandersloot, divisiehoofd Rundvee, Paarden en Schapen, Bedrijf en Omgeving

Samenvatting

In een melkveehouderijsysteem speelt het gebruik van dierlijke mest een centrale rol. Tot het begin van de jaren '70 waren koeien veelal in grup- of potstallen gehuisvest. Faeces en urine werden gescheiden (grupstal) of gemengd bewaard (potstal), waarbij door de toevoeging van strooisel een 'vorkbare' mest ontstond.
Door de opkomst van de ligboxenstal met roostervloer is sinds begin jaren '70 vrijwel de gehele melkveehouderijsector overgeschakeld op een systeem van dunne mest. Daardoor is er de laatste decennia in de reguliere melkveehouderij weinig aandacht besteed aan compostering van mest en de rol van organische stof in de bodem in relatie tot mineralen- en watermanagement. Organische stof is vooral van belang voor de bodemstructuur, het bodemleven en de vochtvoorziening van bodem en heeft daarmee invloed op de bodemvruchtbaarheid. Verhoging van het organisch-stofgehalte van zandgronden zou tot een verbetering van de mineralenbenutting kunnen leiden omdat het bodemsysteem meer "gebufferd" wordt. Voedingsstoffen zoals ammoniumstikstof en kalium worden gebonden aan het humuscomplex, maar ook andere voedingsstoffen worden tijdelijk vastgelegd in de organische stof. De verbeterde structuur kan tot een diepere en meer verspreide beworteling leiden, waardoor gewassen in staat zijn een groter deel van de bodem te benutten voor de opname van voedingsstoffen en water. De laatste jaren is de belangstelling voor composteren van mest weer toegenomen. Aan de ene kant als mestverwerkingstechniek waardoor veehouders, meestal varkenshouders, mest kunnen produceren en afvoeren van hun bedrijf in een vorm waar vraag naar is, en aan de andere kant als methode om mest op het eigen bedrijf beter te benutten en het organisch-stofgehalte in de bodem te doen toenemen.
Het 'Composteren op melkveebedrijven' wil bij bovengenoemde ontwikkelingen aansluiten en de rol verkennen die compostering kan spelen in de verbetering van het nutriënten- en waterbeheer in de melkveehouderij op zandgrond. Belangrijke vragen die hierbij een rol spelen zijn:

- Welke kennis is al beschikbaar over compostering en het gebruik van compost op grasland en voedergewassen.
- Wat betekent compostering voor de stikstofbalans van een melkveebedrijf. Welke verliezen vinden plaats naar bodem, lucht en water tijdens compostering en bij toepassing op grasland en voedergewassen.
- Welke invloed heeft het gebruik van compost op het organisch-stofgehalte en het bodemleven en wat betekent dat voor de benutting van nutriënten en water.
- Wat zijn de bedrijfseconomische en milieutechnische gevolgen van het composteren op een melkveebedrijf.

Dit rapport doet verslag van een literatuuronderzoek en modelberekeningen. Doel van de literatuurstudie was een overzicht te geven van de beschikbare kennis over composteren van dunne rundermest. Daarbij is uitgegaan van compostering op het eigen bedrijf waarbij het eindproduct ook op het eigen bedrijf wordt toegepast. Dat betekent een verschil met andere mestverwerkingsinitiatieven waarbij het doel vaak is de eindproducten af te voeren van het bedrijf. Aangezien de processen bij de compostering van dunne rundveemest vergelijkbaar zijn met die tijdens compostering van andere materialen of mestsoorten wordt in het literatuuroverzicht een breder beeld van compostering gegeven.
In de daarna volgende modelstudie wordt ingegaan op de bedrijfseconomische en milieutechnische consequenties van het composteren van dunne rundermest op bedrijfsniveau. Vanuit de brede beschikbare informatie uit de literatuurstudie worden een aantal specifieke situaties gedefinieerd en doorgerekend.

Uitgangspunt bij deze studie is een bedrijf met melkkoeien die gedurende een gedeelte van het jaar in een stal gehuisvest zijn. De mest die daar wordt geproduceerd, wordt als drijfmest gedurende minimaal 6 maanden opgeslagen onder de stalvoer of in een opslag elders op het bedrijf. In de perioden dat het is toegestaan wordt de drijfmest op het gras- en bouwland emissiearm uitgereden.
Wanneer dit bedrijf overgaat tot composteren ondergaat de drijfmest tussen opslag en toediening een extra bewerking. Doordat drijfmest een te laag drogestofgehalte heeft moet het, om een stapelbaar product te krijgen, gemengd worden met een materiaal dat voldoende structuur heeft. In aanmerking komen onder andere stro, bermhooi, hooi van beheersgrasland, snoei- en GFT-afval. Behalve eventueel hooi van beheersgrasland moeten deze materialen van buiten het bedrijf aangevoerd worden. Voor een aantal van deze producten zal vrijwel zeker betaald moeten worden (bijvoorbeeld stro). Andere kunnen zonder kosten of met een vergoeding aangevoerd worden (bijvoorbeeld bermmaaisel). Een andere methode om het drogestofgehalte te verhogen is het scheiden van drijfmest in een dikke en een dunne fractie. De dikke fractie wordt gecomposteerd waarbij minder organisch materiaal hoeft te worden bijgemengd. De dunne fractie wordt opgeslagen en toegediend. In het vervolg van deze studie zal uitgegaan worden van ongescheiden drijfmest.
Op het bedrijf zal een plaats gereserveerd moeten worden voor de opslag van het organisch materiaal omdat het waarschijnlijk is dat het slechts enkele malen per jaar kan worden aangevoerd. Het eigenlijke composteren begint met het mengen van het organische materiaal en de drijfmest. De manier waarop dit gebeurt en hoe het gemengde materiaal verder behandeld wordt hangt af van de gekozen composteringstechniek. In ieder geval moet een plek beschikbaar zijn waar de compostering kan plaatsvinden. Dit kan een vloeistofdichte, betonnen vloer zijn eventueel overkapt om weersinvloeden uit te schakelen of een speciaal voor dit doel gebouwde hal. De verhouding waarin de drijfmest en het organisch materiaal gemengd worden is afhankelijk van de samenstelling

en structuur van zowel mest als organisch materiaal. Na afloop van de compostering die, afhankelijk van de gekozen methode, enkele weken of enkele maanden duurt, wordt de compost opgeslagen totdat het toegediend kan worden op het gras- of bouwland. Ook hiervoor moet ruimte beschikbaar zijn. Bij het toedienen van de compost wordt gebruik gemaakt van dezelfde werktuigen als bij het uitrijden van vaste mest. Meestal zal dit door de loonwerker gebeuren. Doordat de mest omgezet wordt tot compost is een kleinere opslag voor drijfmest nodig.

Compostering is de biologische omzetting en stabilisatie van organische stof onder aërobe omstandigheden die het mogelijk maken dat door biologische activiteit de temperatuur oploopt tot in het thermofiele gebied en waarbij uiteindelijk een product ontstaat dat vrij is van ziektekiemen en onkruidzaden en dat een positieve werking heeft op gewasgroei.

Naast organische stof speelt ook stikstof een belangrijke rol tijdens composteren. Het proces moet zo verlopen dat er zo min mogelijk stikstofverliezen optreden en dat de stikstof die verloren gaat niet in een voor het milieu schadelijke vorm vrijkomt. De volgende factoren zijn hierop van invloed:

- Soort uitgangsmaterialen;
- C/N-verhouding;
- Porositeit;
- Deeltjesgrootte;
- Bulkdichtheid van de composthoop;
- Temperatuur;
- Vochtgehalte.

Een veehouder heeft daarnaast een aantal mogelijkheden om het composteringsproces te sturen:
Keuze voor composteringstechniek;

- Samenstelling en mengverhouding van uitgangsmaterialen;
- Manier en hoeveelheid van beluchting;
- Aantal keren omzetten.

Schadelijke vormen waarin stikstof kan vervluchtigen zijn lachgas (N_2O) en ammoniak (NH_3). Daarnaast kunnen ook methaan (CH_4) en allerlei geurstoffen gevormd worden. Tenslotte kunnen nitraat (NO_3^-) en nitriet (NO_2^-) in het lekvocht aanwezig zijn dat uit de composthoop kan treden wanneer de hoop niet beschermd is tegen weersinvloeden.
Naast de sturing van het proces is ook de bruikbaarheid van het eindproduct van belang. Belangrijkste kenmerken zijn:

- Stabiliteit van de humusfractie;
- Stikstoflevering;
- Biologische activiteit;
- Ziektewerendheid;
- C/N-verhouding.

Doel van het gebruik van compost is het organisch-stofgehalte in de bodem verhogen. Om het effect van langdurig gebruik te bepalen is een voorbeeldberekening uitgevoerd. Uitgangspunt daarbij is een bedrijf dat 2000 m^3 drijfmest samen met 30% beheersgras op gewichtsbasis composteert en toedient op 28 ha gras- en bouwland met een organisch-stofgehalte van 5,1%. Bij een jaarlijkse toediening is het organisch-stofgehalte na 20 jaar toegenomen met 1,1%. Hierbij is geen rekening gehouden met het scheuren van grasland wat het verschil met een aantal praktijkwaarnemingen kan verklaren. Mogelijke risico's bij gebruik van compost zijn echter:

- Uitspoeling van nitraat. Uit berekeningen van het NMI met GFT-compost blijkt echter dat bij wintertoediening de belasting van grond- en oppervlaktewater beperkt is.
- Aanvoer van zware metalen. Het aangevoerde organisch materiaal kan zware metalen bevatten. Omdat runderdrijfmest ook zware metalen bevat is deze aanvoerpost naar verhouding gering.
- Ziekteverwekkers en onkruidzaden. Wanneer de compostering optimaal verloopt zullen door de hoge temperaturen de ziekteverwekkers en onkruidzaden niet overleven.
- Organische zuren. Te hoge gehalten remmen de kiemkracht van gewaszaden maar kunnen voorkomen worden door voldoende beluchting tijdens het composteren.

Wanneer een melkveehouder besluit te composteren is het wettelijk kader bepalend voor zijn mogelijkheden. De belangrijkste eisen die de huidige wet- en regelgeving stelt aan de productie van compost uit runderdrijfmest betreffen de technische uitvoering van de inrichting en maximale geur- en ammoniakemissies. Voor het gebruik van compost is niet duidelijk of het product valt onder Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen (BGDM) uit 1998 of onder Besluit kwaliteit en gebruik overige organische meststoffen (BOOM). Het belangrijkste knelpunt op grond van BGDM is het uitrijverbod; de knelpunten van BOOM zijn de aanvoernorm voor organische stof en de kwaliteitseisen voor zware metalen. Indien het product onder BOOM valt, verdient het aanbeveling om de gehalten aan zware metalen en arseen in compost van runderdrijfmest te bepalen. Dit is eens te meer belangrijk omdat er voor de compost, als die gekwalificeerd kan worden als 'zeer schone compost', geen aanvoernorm geldt.

Voor de modelberekeningen wordt gebruik gemaakt van het Bedrijfsbegrotingsprogramma voor de Rundveehouderij (BBPR). Het BBPR is een deterministisch simulatiemodel dat ontwikkeld is door het Praktijkonderzoek Veehouderij (Van Alem en van Scheppingen, 1993; Mandersloot *et al.*, 1991; Schreuder *et al.*, 1995; Werkgroep normen voor de voedervoorziening, 1991). Aan de hand van de ingevoerde bedrijfsgegevens en rekening houdend met specifieke omstandigheden berekent BBPR technische, milieutechnische en bedrijfseconomische kengetallen. Uitgangspunt bij berekeningen is steeds de huidige advisering op onder meer het gebied van voeding en bemesting. Vergelijking van resultaten van een ingevoerde bedrijfsvoering met door BBPR berekende kengetallen, geeft inzicht in de rendabiliteit van het bedrijf en de doelmatigheid op technisch en milieutechnisch gebied. Door alternatieven door te rekenen is het mogelijk de gevolgen van een verandering in de bedrijfsvoering op de resultaten in te schatten.
Als uitgangspunt voor de berekening van de gevolgen van compostering is een tweetal bedrijfstypen gekozen. Grofweg betreft het de volgende twee bedrijfstypen:

- Een groot bedrijf op goed vochthoudende zandgrond, met 14.000 kg melk per ha en 20 % maïs (voeding of oppervlak). Het totale quotum is 650.000 kg bij een melkproductie per koe van 7.500 kg per jaar. Het vervangingspercentage van de veestapel is 30 % en de koeien weiden alleen overdag met 6 kg ds bijvoeding uit snijmaïs.
- Een bedrijf van gemiddelde omvang op droge zandgrond, 16.000 kg melk per ha en 25 % maïs. Het totale quotum is 400.000 kg bij een melkproductie per koe van 8.500 kg per jaar. Het vervangingspercentage van de veestapel is 25 % en de koeien weiden alleen overdag met 8 kg droge stof bijvoeding uit snijmaïs.

Naast deze twee bedrijfstypen zijn berekeningen uitgevoerd voor het bedrijf van veehouder Bouwmans, in Bakel (NB) waar al compostering van drijfmest wordt toegepast. Met de aangeleverde uitgangspunten is de situatie met toepassing van compostering doorgerekend. Daarnaast is, ter vergelijking, doorgerekend hoe het bedrijf met toepassing van louter drijfmest de bedrijfsvoering rondzet.
Simulatieberekeningen met betrekking tot de gevolgen van composteren op twee soorten melkveebedrijven en op het bedrijf van Bouwmans leidden tot de volgende conclusies:

- Composteren met beheersgras als dragermateriaal dat gratis of goedkoop wordt verkregen leidt tot verhoging van het saldo. Dit komt door daling van kunstmest- en voerkosten.
- Bij composteren is veel toevoegmateriaal nodig. Wanneer een bedrijf stro moet aankopen voor compostering kunnen de kosten voor aankoop gemakkelijk oplopen van ƒ50.000 tot ƒ90.000. Dit heeft een sterk negatieve invloed op de arbeidsopbrengst.
- Ook als het toevoegmateriaal zoals beheersgras gratis of voor een lage prijs wordt aangekocht, daalt de arbeidsopbrengst met ƒ30.000 tot ƒ50.000 door extra kosten voor opslag van compost en toevoegmateriaal, door extra loonwerkkosten, door extra kosten voor machines en werktuigen en door meer arbeid. Door te composteren is wel minder mestopslagcapaciteit nodig. Ook wordt bespaard op de kosten voor drijfmest uitrijden.
- Het bedrijf van Bouwmans heeft een verhoging van het saldo door te composteren, maar het netto bedrijfsresultaat en de arbeidsopbrengst dalen. De daling van de arbeidsopbrengst is kleiner dan bij het bedrijf op vochthoudende zandgrond en het gemiddelde bedrijf op droge zandgrond. De oorzaken zijn:
  - veel eigen arbeid bij Bouwmans
  - veel eigen mechanisatie bij Bouwmans
  - geen plaat voor opslag beheersgras en gerijpte compost
  - proces is 4 weken bij Bouwmans ten opzichte van 13 weken bij de zandbedrijven
  - Bouwmans heeft minder beheersgras nodig dan de berekende verhouding bij de andere twee bedrijven.
- Omdat voor composteren met bermgras ruim 2 maal zoveel toevoegmateriaal nodig is als voor composteren met stro zijn de kosten voor opslag (bouwwerken) en verwerking (extra arbeid of loonwerk) van composteren met bermgras ook ƒ15.000 tot ƒ25.000 hoger dan bij toepassen van stro, afhankelijk van de hoeveelheid te composteren drijfmest (950 m^3 t.o.v. 1675 m^3).
- Composteren leidt tot een grote aanvoer van stikstof uit toevoegmateriaal op de mineralenbalans. Bij stro is dit voor een gemiddeld groot bedrijf op droge zandgrond ongeveer 70 kg N/ha, bij toepassing van beheersgras op hetzelfde bedrijf is dat zeven keer zoveel. Als dit niet meetelt bij Minas, daalt het overschot bij toepassen van beheersgras door minder kunstmestaanvoer. Bij toepassen van stro stijgt het licht. Telt dit wel mee, dan stijgt het overschot, ook bij toepassen van beheersgras, fors.
- Een hogere gewasopbrengst heeft per procent een positief effect op de arbeidsopbrengst van ƒ500 tot ƒ1000 bij gemiddelde respectievelijk grotere bedrijven die in deze studie zijn doorgerekend. Om de meerkosten van composteren te compenseren moeten de gewasopbrengsten tientallen procenten hoger zijn dan bij toepassing van alleen drijfmest.

Onduidelijkheid blijft bestaan over de stikstofverliezen bij compostering onder praktijkomstandigheden. Aanbevolen wordt om middels opstellen van een stikstofbalans op een praktijkbedrijf inzicht te krijgen in de stikstofverliezen tijdens composteren.

Verder lijkt er discrepantie te bestaan tussen de mengverhouding van mest en organisch materiaal die op basis van de C/N-verhouding is berekend en die welke in de praktijk wordt toegepast. Omdat de hoeveelheid gebruikt organisch materiaal grote invloed heeft op het saldo en de mineralenbalans is duidelijkheid daarover gewenst.
Verder blijft onduidelijkheid bestaan over:

- Het positieve effect op diergezondheid door gebruik van compost;
- De toename organische stofgehalte van de grond op lange termijn;
- De werking van FIR.

Summary

The utilisation of manure plays a central role in a dairy-farming system. Up until the early 1970s, cows in the Netherlands were generally kept in tie stalls or loose housing. In the former, faeces and urine were separated; in the latter, they were mixed with litter and stored, forming a forkable manure. Since the arrival of cubicle housing with slatted floors in the 1970s, virtually the entire Dutch dairy-farming sector has switched to a slurry system. The upshot has been that in the last 30 years, ordinary dairy farmers have paid little attention to the composting of manure and to the role played by organic matter in the soil in relation to the management of minerals and water. Organic matter is particularly important for soil structure, soil biota and the soil moisture content and thus influences soil fertility. Raising the organic matter content of sandy soils could bring about improved mineral utilisation, because the soil system would be more buffered. Nutrients such as ammonium nitrate and potassium are bound to the humus complex, and other nutrients are temporarily sequestered in the organic matter. The improved structure can lead to deeper and more extensive rooting, enabling crops to take up nutrients and water from a larger volume of soil.

In recent years, there has been renewed interest in composting manure. On the one hand it is a manure-processing technique that enables farmers – generally pig farmers – to produce a marketable form of manure. On the other hand, it is a method that enables the farm's manure to be better used on the farm and increases the soil organic matter content.

'Composting on dairy farms' is intended to support the trends described above and to explore the role composting could play in improving the nutrient and water management in dairy farming on sandy soils. The following important questions play a role in this:

- What is already known about composting and the use of compost on grassland and fodder crops?
- How does composting affect the nitrogen balance of a dairy farm? What losses occur to the soil, air and water during composting and when spreading compost on grassland and fodder crops?
- What is the influence of compost applications on the organic matter content and soil biota, and what does this mean for the utilisation of nutrients and water?
- What impact does composting on a dairy farm have on farm economics and the environment?

This report reports the findings of a literature survey and a modelling study. The aim of the literature study was to obtain an overview of the available knowledge on composting cattle slurry. It was assumed that the manure would be composted on the farm and that the final product would be used on the farm. This differs from other manure-processing initiatives, in which the aim is often to remove the end-product from the farm. As the processes of composting cattle slurry are similar to those occurring during the composting of other material or manures, the literature review gives a broad picture of composting.

The modelling study that follows investigates the implications of on-farm composting of cattle slurry on farm economics and the environment. A number of scenarios are defined and modelled, using the widely available information from the literature study.

The modelling study assumes a dairy farm on which the cows are kept in a barn part of the year. The manure produced there is stored as slurry for a minimum of 6 months in a pit under the floor of the barn or elsewhere on the farm. In the period during which farmers in the Netherlands are permitted to apply slurry to the land, the slurry is spread on grassland and arable land, using techniques that minimise emissions to the atmosphere. When this farm switches to composting, the slurry undergoes an extra process before it is spread on the land. The dry matter content of the slurry is too low, so in order to be able to be made into a compost heap, it must be mixed with a material that has sufficient structure. This could be straw, the hay from road verges, the hay from managed grassland, prunings and domestic vegetable and garden waste. With the exception of hay from managed grassland, all these materials have to be brought in from elsewhere. Some of these products (straw) will almost certainly have to be paid for, others may be free, or subsidised (mowings from roadside verges). There is another method of increasing the dry matter content; it is to separate the slurry into thick and thin fractions. The thick fraction is composted, thus reducing the need for incorporating organic material. The thin fraction is stored and applied to the land. The remainder of this study assumes that the slurry is not separated.

As the slurry can probably be supplied several times a year only, a place for storing it has to be reserved on the farm. Actual composting begins by mixing the organic material into the slurry. How this is done and how the mixture is subsequently treated, depends on the composting technique. In each case, there has to be a

place where the composting can take place: a waterproof cement floor, roofed to protect it from the elements, or a purpose-built shed. The ratio of organic material to slurry depends on the composition and structure of the manure and of the organic material. After the composting, which takes several weeks to months, depending on the method, the compost is stored until it can be spread on the grassland or arable fields. Again, storage space must be provided. The compost is spread using the machinery used to spread solid manure. Usually the spreading is done by a contract worker. Because the manure is converted into compost, less storage space is required for slurry.

Composting is the biological conversion and stabilisation of organic matter under aerobic conditions that enable the temperature to rise to the thermophile area as a result of biological activity. The final product contains no pathogens or viable seeds and is beneficial to crop growth.

During composting, not only organic matter but also nitrogen plays an important role. The process must proceed with the minimum of nitrogen losses, and any nitrogen emitted must not be in a form that is harmful to the environment. The following factors influence this:

- the starting materials
- the C:N ratio
- the porosity
- the particle size
- the bulk density of the compost heap
- the temperature
- the moisture content

In addition, the farmer can choose between several options for steering the composting process:

- the composting technique
- the composition and proportions of the starting materials
- the aeration technique, and how much air is admitted
- the number of times the heap is turned

Nitrogen can volatilise in two harmful forms: laughing gas (N_2O) and ammonia (NH_3). In addition, methane (CH_4) and various aromatic compounds can be produced. Finally, nitrate (NO_3^-) and nitrite (NO_2^-) may be present in the leachate that may appear if the compost heap is not adequately protected against the weather.

In addition to the steering of the process, another factor that is important is the utility of the end-product. The most important characteristics are:

- stability of the humus fraction
- nitrogen supply
- biological activity
- absence of pathogens
- C:N ratio

Compost is applied in order to raise the soil organic matter content. To ascertain the effect of its long-term use, a calculation was performed. This assumes a farm which composts 2000 m^3 of slurry together with 30% (in weight) of grass cut on the farm, and which applies the compost to 28 ha of grass and arable land with an organic matter content of 5.1%. Assuming an annual application, after 20 years the organic matter content has increased by 1.1%. No account is taken of the ploughing up of the grassland; this probably accounts for the disparity with figures observed in practice. However, the following risks are associated with the application of compost:

- nitrate leaching. However, NMI calculations on organic waste separated at source show that if the compost is applied in winter, the risk to groundwater and surface water is slight.
- heavy metals. The organic material supplied may contain heavy metals. However, as cattle slurry also contains heavy metals, the relative contribution from this organic material is slight.
- pathogens and weed seeds. If the composting is optimal, the high temperatures will kill these.
- organic acids. Excessive levels of these reduce the viability of crop seeds. The preventive measure is to ensure sufficient aeration during composting.

The options open to a Dutch dairy farmer who has decided to compost manure are determined by legislation. Currently, the most important statutory requirements relating to the production of compost from

cattle slurry relate to the technical specifications of the facilities, and the maximum permitted odour and ammonia emissions. When using compost, it is unclear whether the product falls under the 1998 Decree on the Use of Animal Fertilisers (BGDM) or under the Decree relating to the quality and use of other organic fertilisers (BOOM). The most important obstacle arising from BDGM is the embargo on spreading manure. The constraints arising from BOOM that could apply to the compost are to do with the standards for the organic matter and the stipulations relating to the quality that refer to heavy metals. If the product falls under the BOOM legislation, it would be advisable to determine the content of heavy metals and arsenic in the cattle slurry. This is particularly important because if the compost qualifies as 'very clean compost' there are no restrictions to its application.

The software used for the model calculations was the farm budgeting program for cattle farms (BBPR). This is a deterministic simulation model developed by the Research Institute for Animal Husbandry (van Alem & van Scheppingen, 1993; Mandersloot *et al.,* 1991; Schreuder *et al.,* 1995; Werkgroep normen voor de voedervoorziening, 1991). From the data input on the farm, and taking account of the specific conditions, it calculates technical, environmental and farm management indices. The calculations assume the current recommendations on nutrition and fertilisation, etc. Comparing the results of an input farm management strategy with the indices calculated by BBPR reveals the profitability of the farm and its efficiency in technical and environmental terms. The repercussions of changing the farm management can be estimated by doing runs with different scenarios.

When estimating the repercussions of composting, the calculations assumed two types of farm:

- A large farm on good moisture-retentive sandy soil, producing 14 000 kg milk per ha and 20% maize (feed or area). The total quota is 650 000 kg at a milk yield per cow of 7500 kg per year. The herd replacement percentage is 30% and the cows are put to pasture during the day only and receive 6 kg DM supplementary feed, in the form of silage maize.
- A medium-sized farm on dry sandy soil, producing 16 000 kg milk per ha and with 25% maize. The total quota is 40 000 ha and the milk yield per cow is 8500 kg per year. The herd replacement percentage is 25% and the cows are put to pasture during the day only and receive 8 kg DM supplementary feed, in the form of silage maize.

In addition to these two types of farm, calculations were performed for the Bouwmans farm in Bakel (Noord Brabant), on which slurry is already being composted. The situation with the application of composting was calculated, assuming the conditions prevailing on the farm. For comparison, it was also calculated what the farm management would be if the farm only applied slurry.

The simulation runs on the two dairy farm types and the Bouwmans farm resulted in the following conclusions:

- composting with managed grass as the carrier material that can be obtained cheaply or for free, increases profits. This comes about because of a fall in the costs of fertiliser and feed.
- Composting requires large amounts of supplementary material. If a farm has to buy straw for composting, expenditure can easily rise from *f*50 000 to *f*90 000; this has a very negative effect on the returns to labour.
- Even if the supplementary material such as managed grass is purchased for a low price, or is free, the returns to labour fall by *f*30 000 to *f*50 000 because of the extra costs of storing the compost and supplementary material, the extra costs of contracting, the extra costs of machinery and equipment, and the extra labour. Composting does mean that less storage space is required, however. And savings are also made on the costs of slurry spreading.
- The Bouwmans farm has increased its profits as a result of composting., but the net farm balance has fallen and so have the returns to labour. The latter falls are smaller than those calculated for the farm on moisture-retentive sandy soil and the medium-sized farm on dry sandy soil. The reasons for this are:
    - Farmer Bouwmans invests a lot of his own labour
    - Farmer Bouwmans uses a lot of his own machinery
    - There is no area for the storage of managed grass and mature compost
    - The process lasts 4 weeks on the Bouwmans farm, compared with 13 weeks on the two hypothetical farms
    - Farmer Bouwmans needs less grass than the proportion estimated for the two hypothetical farms
- Because composting with verge grass requires twice as much supplementary material as composting with straw, the costs of storing (construction) and processing (extra labour or contract work) a mixture

with verge grass is also ƒ15 000 to ƒ25 000 higher than when straw is used, depending on how much slurry is to be composted (950 m^3 versus 1675 m^3).
- Composting results in a large supply of nitrogen from the supplementary material to the mineral balance. In the case of straw, this is approximately 70 kg N/ha on a medium-sized farm on dry sandy soil. When managed grass is used as the supplementary material on this farm, the latter figure increases sevenfold. If this is not counted in the MINAS accounting, the surplus falls when grass is used, because less fertiliser is brought in. But if straw is used, the surplus increases slightly. If this is counted in the MINAS accounting, the surplus increases sharply, even when grass is used.
- For each percent the crop yield increases, the returns to labour benefit by from ƒ500 on the medium-sized farm to ƒ1000 on the larger farm. To compensate for the additional costs of composting, the crop yields must be dozens of percents higher than when slurry alone is applied.

It remains uncertain what the nitrogen losses are in composting in practice. It is recommended to investigate this by setting up a nitrogen balance on an experimental farm. Furthermore, there seems to be a discrepancy between the ratio of manure and organic material in the mixture that is estimated on the basis of the C:N ratio and that which is applied in practice. This must be clarified, as the amount of organic material used has a major influence on the profitability and on the mineral balance. The other points that remain unclear are:

- the positive effect of compost use on animal health
- the increase in the soil organic matter content in the long term
- the operation of the FIR ('physical ion regulator': a carbonaceous clay mineral residual product of the mining industry).

Inhoud

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1 Inleiding 1

2 Literatuurstudie 3

2.1 Algemene beschrijving van het composteren van dunne mest op een melkveebedrijf....3

2.2 Techniek en installaties....4

2.2.1 Technieken om te composteren....4

2.2.2 Installaties en werktuigen voor compostering....5

2.2.3 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven....6

2.3 Processen en factoren....6

2.3.1 Microbiële omzettingen....6

2.3.2 Factoren die het composteringsproces beïnvloeden....9

2.3.3 Kenmerken van het eindproduct....13

2.3.4 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven....14

2.4 Milieueffecten....15

2.4.1 Emissie van ammoniak, broeikasgassen en overige stikstofverbindingen naar de lucht....15

2.4.2 Geuremissies....16

2.4.3 Emissies in het percolaat....16

2.4.4 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven....17

2.5 Landbouwkundige gebruik en daaraan verbonden milieurisico's....17

2.5.1 Landbouwkundig gebruik....17

2.5.2 Milieurisico's bij landbouwkundig gebruik....19

2.5.3 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven....20

2.6 Beleidsaspecten....20

2.6.1 Wet- en regelgeving landbouwkundige en milieukundige aspecten....20

2.6.2 Gebruik van groenrestproducten....23

2.6.3 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven....24

2.7 Overzicht composteringsmethoden....24

3 Berekeningen in bedrijfsverband 26

3.1 Opzet BBPR....26

3.2 Bedrijfstypen....27

3.3 Uitgangspunten en variaties bij modelberekeningen....27

3.4 Resultaten....29

3.4.1 Composteren op het grote bedrijf met vochthoudende zandgrond....29

3.4.2 Composteren op een bedrijf met droge zandgrond van gemiddelde omvang....33

3.4.3 Composteren op het bedrijf van Bouwmans....36

3.5 Gevoeligheidsanalyse....41

3.5.1 Gevoeligheid stikstofverliezen....41

3.5.2 Gevoeligheid kosten toevoegmateriaal en mengverhouding....42

3.5.3 Conclusies en discussie gevoeligheid....42

4 Conclusies en aanbevelingen 44

Literatuur 46

Bijlagen 49

Bijlage 1 Uitgangspunten berekening bedrijf op droge en vochthoudende zandgrond 49
Bijlage 2 Uitgangspunten berekeningen bedrijf Bouwmans 51

1 Inleiding

De huidige landbouw, waaronder de melkveehouderijsector, is voor bemesting en voeding afhankelijk van grootschalige import van grondstoffen voor kunstmest en veevoeders. Deze stoffen bevatten grote hoeveelheden nutriënten. Van deze nutriënten, die in de vorm van kunstmest en krachtvoer op een melkveebedrijf worden aangevoerd, wordt slechts een fractie weer afgevoerd in de vorm van melk en vlees. Het overgrote deel komt in de mest terecht. Een deel van deze stikstof en fosfaat in de mest wordt, na toediening, benut door gewassen, maar een ander deel hoopt zich op in de bodem of veroorzaakt onacceptabele verliezen naar het grond- en oppervlaktewater (nitraatuitspoeling en eutrofiering). Ook tijdens opslag en toediening treden verliezen op in de vorm van emissie van ammoniak uit de mest. Deze ammoniakemissie draagt bij aan de verzuring van het milieu. Door het ontbreken van zuurstof tijdens de opslag van de mest worden verder de broeikasgassen lachgas, methaan en koolzuurgas gevormd die bijdragen aan de opwarming van de aarde.
De overheid heeft de laatste decennia regelgeving in het leven geroepen die de verliezen van mineralen moeten beperken. De tot nu toe geïmplementeerde maatregelen richten zich vooral op het verlagen van de ammoniakverliezen rondom huisvesting en de opslag en toediening van mest. Als gevolg hiervan zijn opslagen afgedekt en is bovengrondse, breedwerpige toediening vrijwel geheel vervangen door zodenbemesting of bemesting met sleufkouter- of sleepvoetmachines. In 1998 is het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS) ingevoerd. De aan- en afvoer van mineralen moet bijgehouden worden en verliezen groter dan een vastgestelde norm worden belast. Het is daardoor van groot belang dat de dierlijke mest zo goed mogelijk benut wordt op het eigen bedrijf zodat de aanvoer van mineralen beperkt kan worden.
In een melkveehouderijsysteem speelt het gebruik van dierlijke mest een centrale rol. Tot het begin van de jaren '70 waren koeien veelal in grup- of potstallen gehuisvest. Faeces en urine werden gescheiden (grupstal) of gemengd bewaard (potstal), waarbij door de toevoeging van strooisel een 'vorkbare' mest ontstond. Slechts 20% van de mest werd als dunne mest opgeslagen (Kolenbrander, 1967). Daarnaast was ook 'toemaak' bekend. Toemaak, een term uit het veenweidegebied, was een al of niet gecomposteerd mengsel van stalmest of drijfmest, toegevoegd aan andere organische materialen dan stro. Deze materialen konden slootbagger, huisvuil, klei, terpaarde, veen, heideplaggen of zuiveringsslib zijn, afhankelijk van de beschikbaarheid in een bepaald gedeelte van het land. Toemaak werd gebruikt als meststof voor gras- of bouwland (Kolenbrander, 1967).
Door de opkomst van de ligboxenstal met roostervloer is sinds begin jaren '70 vrijwel de gehele melkveehouderijsector overgeschakeld op een systeem van dunne mest. Daardoor is er de laatste decennia in de reguliere melkveehouderij weinig aandacht besteed aan compostering van mest en de rol van organische stof in de bodem in relatie tot mineralen- en watermanagement.
Organische stof is vooral van belang voor de bodemstructuur, het bodemleven en de vochtvoorziening van bodem en heeft daarmee invloed op de bodemvruchtbaarheid. In de huidige bedrijfsvoering op zandgronden in Noord-Brabant speelt de organische-stofvoorziening van de bodem nauwelijks een rol. Verhoging van het organisch-stofgehalte van zandgronden zou echter tot een verbetering van de mineralenbenutting kunnen leiden omdat het bodemsysteem meer "gebufferd" wordt. Voedingsstoffen zoals ammoniumstikstof en kalium worden gebonden aan het humuscomplex, maar ook andere voedingsstoffen worden tijdelijk vastgelegd in de organische stof. De verbeterde structuur kan tot een diepere en meer verspreide beworteling leiden, waardoor gewassen in staat zijn een groter deel van de bodem te benutten voor de opname van voedingsstoffen en water.
De laatste jaren is de belangstelling voor composteren van mest weer toegenomen. Aan de ene kant als mestverwerkingstechniek waardoor veehouders, meestal varkenshouders, mest kunnen produceren en afvoeren van hun bedrijf in een vorm waar vraag naar is en aan de andere kant als methode om mest op het eigen bedrijf beter te benutten en het organisch-stofgehalte in de bodem te doen toenemen.
Op kleine schaal ontplooien veehouders en verwerkers van (groen)afval momenteel initiatieven met betrekking tot compostering. In Noord-Brabant gebeurt dit bijvoorbeeld door middel van compostering van bermhooi en dunne mest. In de varkenshouderij zijn verschillende projecten opgestart die mestverwerkingstechnieken ontwikkelen. Hoewel het hier om een andere tak van de veehouderij gaat zijn processen vergelijkbaar en kan lering getrokken worden uit opgedane ervaringen.
In het project 'Mest als kans' van het Louis Bolk Instituut worden de mogelijkheden gedemonstreerd om van reststoffen van buiten en binnen de landbouw bruikbare compost te maken voor biologische landbouwbedrijven.

Onderliggend project, 'Composteren op melkveebedrijven', wil bij bovengenoemde ontwikkelingen aansluiten en de rol verkennen die compostering kan spelen in de verbetering van het nutriënten- en waterbeheer in de melkveehouderij op zandgrond. Belangrijke vragen die hierbij een rol spelen zijn:

- Welke kennis is al beschikbaar over compostering en het gebruik van compost op grasland en voedergewassen.
- Wat betekent compostering voor de stikstofbalans van een melkveebedrijf. Welke verliezen vinden plaats naar bodem, lucht en water tijdens compostering en bij toepassing op grasland en voedergewassen.

- Welke invloed heeft het gebruik van compost op het organische-stofgehalte en het bodemleven en wat betekent dat voor de benutting van nutriënten en water.
- Wat zijn de bedrijfseconomische en milieutechnische gevolgen van het composteren op een melkveebedrijf.

Dit rapport doet verslag van een literatuuronderzoek en modelberekeningen. Doel van de literatuurstudie was een overzicht te geven van de beschikbare kennis over composteren van dunne rundermest. Daarbij is uitgegaan van compostering op het eigen bedrijf waarbij het eindproduct ook op het eigen bedrijf wordt toegepast. Dat betekent een verschil met andere mestverwerkingsinitiatieven waarbij het doel vaak is de eindproducten af te voeren van het bedrijf. Aangezien de processen bij de compostering van dunne rundveemest vergelijkbaar zijn met die tijdens compostering van andere materialen of mestsoorten wordt in het literatuuroverzicht een breder beeld van compostering gegeven.
In de daarna volgende modelstudie wordt ingegaan op de bedrijfseconomische en milieutechnische consequenties van het composteren van dunne rundermest op bedrijfsniveau. Vanuit de brede beschikbare informatie uit de literatuurstudie worden een aantal specifieke situaties gedefinieerd en doorgerekend.

Het rapport is opgebouwd uit vier hoofdstukken. Hoofdstuk 2 bevat de uitkomsten van een literatuurstudie naar de verschillende aspecten van composteren van mest in combinatie met andere materialen. Aan de orde komen de techniek van het composteren, de landbouwkundige waarden van compost, de milieuaspecten, de beschikbaarheid van de verschillende materialen, de wet- en regelgeving rondom compost en composteren en de kosten van composteren.
Hoofdstuk 3 bevat de uitkomsten van modelberekeningen naar de bedrijfseconomische en milieukundige effecten van composteren. Daarvoor zijn drie bedrijfstypen gedefinieerd, variërend in omvang, bodemsoort, intensiteit, bouwplan en beweidingssysteem. Bij deze bedrijven worden de situaties zonder en met composteren met elkaar vergeleken waarbij in de situatie met composteren onderscheid wordt gemaakt in materiaalkeuze, hoeveelheid materiaal en bijdrage van de compost aan de vruchtbaarheid. Verder worden in dat hoofdstuk de resultaten van literatuurstudie en modelberekeningen met elkaar in verband gebracht.
In hoofdstuk 4 tenslotte worden conclusies getrokken en aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan.

2 Literatuurstudie

Compost ontstaat door een natuurlijk afbraakproces en wordt al sinds mensenheugenis gebruikt om de groei van planten te bevorderen. De eerste stap naar een systematische benadering van het proces werd gezet door de Brit Albert Howard die in de eerste helft van de 20ste eeuw een relatie legde tussen bodemvruchtbaarheid en het humusgehalte van de grond (Haug, 1993). Hij ontwikkelde een composteringstechniek die bekend is geworden als de INDORE methode waarbij afwisselend lagen mest en gewasresten tot een composthoop gestapeld worden, die gedurende 3 maanden regelmatig wordt omgezet.
Er bestaat geen algemeen aanvaarde definitie van compostering. Toch komen in alle omschrijvingen dezelfde facetten terug. Haug (1993) hanteert de volgende definitie:
Compostering is de biologische omzetting en stabilisatie van organische stof onder aërobe omstandigheden die het mogelijk maken dat door biologische activiteit de temperatuur oploopt tot in het thermofiele gebied en waarbij uiteindelijk een product ontstaat dat vrij is van ziektekiemen en onkruidzaden en dat een positieve werking heeft op gewasgroei.
Kern van deze en andere definities is:
a) de omzetting van organische stof naar een stabiele humus onder
b) aërobe omstandigheden waarvan
c) een zuiverende werking uitgaat door de optredende hoge temperaturen met
d) een minimaal verlies aan nutriënten waardoor
e) een bruikbaar product ontstaat dat
f) een positieve werking heeft op bodemvruchtbaarheid en gewasgroei.

De zuurstofrijke (aërobe) omstandigheden zijn kenmerkend voor het composteringsproces. Afbraak van organische stof kan ook onder zuurstofloze (anaërobe) omstandigheden plaatsvinden. Er is dan sprake van vergisting. Dit proces wordt in de literatuur ook wel anaërobe compostering genoemd maar om verwarring te voorkomen wordt in het vervolg met compostering de aërobe omzetting bedoeld. Dit wil overigens niet zeggen dat er zich tijdens het composteren plaatselijk geen anaërobe omstandigheden kunnen voordoen.
Naast de genoemde aërobe omstandigheden zijn voor het verlopend composteringsproces ook aan een aantal andere factoren van belang: porositeit, C/N-verhouding, vochtgehalte, temperatuur en zuurtegraad zijn daarvan de belangrijkste.
Voordat in paragraaf 2.2 en 2.3 verder wordt ingegaan op de composteringstechnieken en de processen en factoren die hierbij een rol spelen, wordt in paragraaf 2.1 een globaal beeld gegeven van wat composteren van drijfmest op een melkveebedrijf in zou kunnen houden.

2.1 Algemene beschrijving van het composteren van dunne mest op een melkveebedrijf

Uitgangspunt van deze literatuurstudie naar het composteren van dunne mest op bedrijfsniveau is een bedrijf met melkkoeien die gedurende een gedeelte van het jaar in een stal gehuisvest zijn. De mest die daar wordt geproduceerd, wordt als drijfmest gedurende minimaal 6 maanden opgeslagen onder de stalvloer of in een opslag elders op het bedrijf. In de perioden dat het is toegestaan wordt de drijfmest op het gras- en bouwland emissiearm uitgereden.
Wanneer dit bedrijf overgaat tot composteren ondergaat de drijfmest tussen opslag en toediening een extra bewerking. Doordat drijfmest een te laag drogestofgehalte heeft moet het, om een stapelbaar product te krijgen, gemengd worden met een materiaal dat voldoende structuur heeft. In aanmerking komen onder andere stro, bermhooi, hooi van beheersgrasland, snoei- en GFT-afval. Behalve eventueel hooi van beheersgrasland moeten deze materialen van buiten het bedrijf aangevoerd worden. Voor een aantal van deze producten zal vrijwel zeker betaald moeten worden (bijvoorbeeld stro). Anderen kunnen zonder kosten of met een vergoeding aangevoerd worden (bijvoorbeeld bermmaaisel). Een andere methode om het drogestofgehalte te verhogen is het scheiden van drijfmest in een dikke en een dunne fractie. De dikke fractie wordt gecomposteerd waarbij minder organisch materiaal hoeft te worden bijgemengd. De dunne fractie wordt opgeslagen en toegediend. In het vervolg van deze studie zal uitgegaan worden van ongescheiden drijfmest.
Op het bedrijf zal een plaats gereserveerd moeten worden voor de opslag van het organisch materiaal omdat het waarschijnlijk is dat het slechts enkele malen per jaar kan worden aangevoerd. Het eigenlijke composteren begint met het mengen van het organische materiaal en de drijfmest. De manier waarop dit gebeurt en hoe het gemengde materiaal verder behandeld wordt hangt af van de gekozen composteringstechniek. In ieder geval moet een plek beschikbaar zijn waar de compostering kan plaatsvinden. Dit kan een vloeistofdichte, betonnen vloer zijn eventueel overkapt om weersinvloeden uit te schakelen of een speciaal voor dit doel gebouwde hal. De verhouding waarin de drijfmest en het organisch materiaal gemengd worden is afhankelijk van de samenstelling en structuur van zowel mest als organisch materiaal.

Na afloop van de compostering die, afhankelijk van de gekozen methode, enkele weken of enkele maanden duurt, wordt de compost opgeslagen totdat het toegediend kan worden op het gras- of bouwland. Ook hiervoor moet ruimte beschikbaar zijn.
Bij het toedienen van de compost wordt gebruik gemaakt van dezelfde werktuigen als bij het uitrijden van vaste mest. Meestal zal dit door de loonwerker gebeuren. Doordat de mest omgezet wordt tot compost is een kleinere opslag voor drijfmest nodig.

2.2 Techniek en installaties

Om de omstandigheden te creëren waaronder de omzetting van organische stof optimaal verloopt en om eventueel gedurende het proces te kunnen bijsturen zijn allerlei composteringstechnieken ontwikkeld. Deze lopen uiteen van een simpele composthoop tot een industriële installatie die in een continue proces grote hoeveelheden compost produceert.

2.2.1 Technieken om te composteren

Verschillende kenmerken kunnen dienen als criteria om de bestaande technieken in te delen. Bij *batch* processen is voor al het te composteren materiaal een begin- en eindpunt van de compostering aan te geven. De meeste eenvoudige composteringstechnieken zijn zulke batchprocessen waarbij meestal een composthoop wordt opgebouwd die nadat de compostering is voltooid weer wordt afgebroken. Daarbij kan nog onderscheid gemaakt worden tussen tafelcompostering (static pile) en rugcompostering (windrow). De grootschalige, industriële installaties maken vaak gebruik van *continue* processen waarbij er een constante aanvoer is van te composteren materiaal en een afvoer van compost. Het aanwezige materiaal bevindt zich op een bepaald moment in verschillende stadia van het composteringsproces. Binnen deze continue installaties is een onderscheid te maken tussen installatie met een verticale en installaties met een horizontale compoststroom. Ook in de manier waarop de luchttoevoer geregeld is, bestaan er verschillen tussen de technieken. Bij natuurlijke, passieve beluchting komt verse lucht beschikbaar doordat opgewarmde en vochtige lucht opstijgt uit de compost, het zogenaamde schoorsteeneffect. Bij geforceerde, actieve beluchting wordt met een ventilator verse lucht in de compost geblazen of door de compost aangezogen. Zowel natuurlijke als geforceerde beluchting komen voor bij batch systemen. Continue systemen zijn vrijwel altijd voorzien van geforceerde beluchting.
Ook de mate van menging van de compost is een indelingscriterium. In de continue systemen wordt de compost vrijwel altijd gemengd terwijl het bij de batchsystemen eenvoudiger is de hoop ongestoord te laten. Ook batchsystemen kunnen echter regelmatig omgezet worden. De rugcompostering en de compostering in (sleuf)silo's zijn daar voorbeelden van.
Een verdere indeling die in de Nederlandse literatuur regelmatig gemaakt wordt, is die tussen intensieve en extensieve compostering. Extensieve compostering is een vorm van composteren waarbij geen geforceerde beluchting wordt toegepast en het materiaal niet of slechte een enkele keer wordt omgezet (Hamelers, 1998). Bij intensieve compostering wordt wel belucht en wordt het materiaal regelmatig omgezet. Doel van intensieve compostering is het proces zo efficiënt mogelijk te laten verlopen en daarmee een maximale volume- en massareductie te bereiken (Hendriks, 1999). Gevolg daarvan is wel dat de kans op ammoniakemissie groter is. Alle continue systemen die hierboven besproken zijn vallen min of meer onder deze intensieve vorm van composteren. Maar ook de batch processen kunnen, wanneer er actief belucht wordt of de compost regelmatig wordt omgezet, daaronder gerekend worden.
Om een overzicht te krijgen van de verschillende indelingscriteria van het composteringsproces is het bovenstaande samengevat in Tabel 1.

Tabel 1 Indelingscriteria voor composteringssystemen

Indelingcriterium	Omschrijving
Reactor	In bak, sleufsilo, container, …
Non-reactor	Vrij op een (betonnen) plaat
Batch	Alle compost in hetzelfde stadium, een begin- en eindpunt bij elke composteringsronde
Continue	Continue toe- en afvoer van materiaal
Intensief	Veel omzetten, snelle compostering, hoge temperaturen (>60 °C)
Extensief	Weinig of niet omzetten, langzamer compostering, lagere temperaturen (50-60 °C)
Geroerd	Verschillende keren omzetten tijdens compostering
Ongeroerd	Geen omzetting gedurende composteringsproces
Passief belucht	Beluchting door natuurlijke trek (wind- en schoorsteeneffect)
Actief belucht	Beluchting met ventilatoren (d.m.v. over- of onderdruk)

Haug (1993) combineert in zijn handboek verschillende van deze criteria tot een indeling (zie Tabel 2). Hij maakt daarbij allereerst onderscheid tussen reactor en non-reactor compostering. Bij compostering in reactors wordt het te composteren materiaal samengebracht in een bak, container of silo terwijl bij non-reactor compostering het materiaal los op de grond wordt gestort. Bij compostering in een reactor worden verder verticale en horizontale compoststromen onderscheiden en systemen waarbij niet van een stofstroom sprake is. Bij non-reactor composteren verschil wordt gemaakt in de mate van menging van het materiaal tijdens het composteren. Een derde onderscheidende factor is de manier waarop lucht wordt toegevoegd aan het proces: actief door middel van ventilatoren of passief door natuurlijke ventilatie.

Tabel 2 Indeling van composteringsystemen

	Indelingscriterium	Toelichting/voorbeeld
I	Non-Reactor systemen	Los gestort
	A Geroerde systemen	Ruggencompostering
	1 Natuurlijke beluchting	Wind- en schoorsteeneffect
	2 Mechanische beluchting	Ventilatoren
	B Ongeroerde systemen	Tafelcompostering
	1 Natuurlijke beluchting	Wind- en schoorsteeneffect
	2 Mechanische beluchting	Ventilatoren
II	Reactor systemen	In bak, (sleuf)silo, container
	A Verticale compoststroom	Compost beweegt voornamelijk verticaal door installatie
	1 Geroerde systemen	Compost wordt gedurende het proces omgezet of gemengd
	2 Ongeroerde systemen	Compost wordt niet gemengd
	B Horizontale compoststroom	Compost beweegt voornamelijk horizontaal door installatie
	1 Roterende systemen	Draaiende trommel
	2 Geroerde systemen	Compost wordt gedurende het proces omgezet of gemengd
	3 Ongeroerde systemen	Compost wordt niet gemengd
	C Ongestoorde compostering	Compost verloopt zonder verder inmenging in het proces

Bron: Haug, 1993

2.2.2 Installaties en werktuigen voor compostering

Voor elk van de hierboven beschreven composteringsmethoden zijn specifieke installaties, werktuigen, hulpmiddelen of materialen nodig. De benodigde apparatuur kan onderscheiden worden in werktuigen voor het mixen en keren van compost, apparatuur voor de beluchting en eventueel voor zeven en scheiden nadat de compostering voltooid is.
Kenmerk van de continue processen is dat werktuigen voor het mixen of keren van de compost en de beluchtingsapparatuur geïntegreerd zijn in de composteringsreactor. Als voorbeeld kan de drumcomposteerder genomen worden (Rynk, 1992). Aan de ene kant van een langzaam om de lengteas draaiende buis wordt het te composteren materiaal ingebracht. Gedurende het proces wordt het materiaal continue gemixt en langzaam naar het andere eind van de buis getransporteerd. Tegelijkertijd wordt er lucht in tegengestelde richting door de buis geblazen of gezogen. Hierdoor vindt intensieve menging van compost en lucht plaats. Draaisnelheid en toevoersnelheid van het te composteren materiaal bepalen de duur van het proces. Aan het eind van de buis is een compost ontstaan die direct verder verwerkt kan worden.
Ook bij compostering in reactors volgens het batchprincipe zijn apparatuur voor beluchting en menging vaak geïntegreerd in de reactor. Beluchting kan plaatsvinden door een gaatjesrooster waarop de compost gestapeld is of door kanalen die in de hoop zijn aangebracht. Wanneer compostering plaatsvindt in sleufsilo's rijdt een mixmachine over de randen van de sleufsilo om de compost intensief te mengen.
Bij non-reactor compostering is de mate van mechanisering minder. Voor ruggen zijn portaalmengers verkrijgbaar, zowel als zelfrijder als in getrokken uitvoering achter een trekker. Geforceerde beluchting kan plaatsvinden door het leggen van drainagebuizen onder de compost waaraan een ventilator gekoppeld wordt. Voor alle varianten geldt dat een vloeistofdichte betonvloer nodig is om eventueel lekvocht op te vangen. Omdat neerslag het composteringsproces negatief beïnvloedt kan gekozen worden voor overdekking van de composthoop of -rug. Dit kan door de hoop af te dekken met plastic of worteldoek of door een folietunnel of een dakconstructie aan te brengen. Het is mogelijk om op portaalmengers een constructie aan te brengen die het plastic of worteldoek op- en afrolt tijdens het mengen, zodat dit geen belemmering vormt bij het omzetten van de ruggen.

Verschillende bronnen geven een beschrijving van de kosten van het door hen onderzochte systeem (Hamelers, 1998; Hendriks, 1999; Olde Olthuis, 1989; Rynk, 1992). Tabel 3 geeft een overzicht. Bij de beschrijving van de uitgangspunten van de modelberekeningen in hoofdstuk 3 wordt uitgebreider ingegaan op de kosten van het composteren.

Tabel 3: Samenvatting kosten van composteren en omzetten van compost

Composteringmethode	Investeringen [*f*/m^3]	Jaarkosten [*f*/m^3]	Bron
Extensieve compostering van strorijke varkensmest	200	21	Hendriks, 1999
Intensieve compostering van strorijke varkensmest	180	33	Hendriks, 1999
Scheiding dunne varkensmest en compostering van dikke fractie		25[1]	Olde Olthuis, 1989
Compostering van varkensmest na scheiding met strofilter	40[2]	63[2]	Hamelers, 1998
Getrokken portaalmenger door 40 pk trekker		7[3]	Rynk, 1992
Getrokken portaalmenger door 100 pk trekker		13[3]	Rynk, 1992
Mengen met trekker en voorlader (40pk)		4,5[3]	Rynk, 1992

[1] Kosten zijn berekend per m^3 dunne mest. Hiervan bestaat 50% uit kosten voor scheiding en opslag
[2] Kosten op basis van 1000 m^3 mest. Kosten zijn inclusief kosten voor strofilter
[3] Kosten op basis van 1200 m^3 aangevoerd materiaal inclusief arbeidskosten

Bij professionele composteerders wordt de compost na rijping tenslotte veelal gezeefd in verschillende fracties. Een gedeelte wordt gebruikt in het volgende proces terwijl een ander deel wordt verhandeld. Ook voor het in zakken doen van de compost zijn verschillende soorten machines beschikbaar, Omdat in dit rapport ervan wordt uitgegaan dat alle compost op het eigen bedrijf wordt aangewend, zal verder niet ingegaan worden op deze apparatuur. Voor het omzetten kan een eenvoudige portaalmenger gebruikt worden die aangedreven wordt door de meestal op het bedrijf aanwezige trekker. Bij opbouw en afbraak van de composthoop is verder een trekker met voorlader of een shovel nodig.

2.2.3 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven

Door hun industriële karakter lijken continue composteerprocessen niet geschikt voor toepassing op melkveebedrijven. Deze installaties vragen een grote investering en een constante aan- en afvoer van producten. Slechts door grote hoeveelheden te composteren kunnen de kosten per eenheid compost gereduceerd worden. De batchprocessen lijken beter toepasbaar op een melkveebedrijf. De investeringen zijn beperkt en de aan-afvoer van materialen is minder kritisch. Vanwege de eenvoudige techniek lijkt vooral rugcompostering een geschikte methode om toe te passen op een melkveebedrijf. Beluchting is niet noodzakelijk wanneer de rug in de loop van het proces zijn structuur behoudt. Gebeurt dat niet dan kan met het omzetten van de rug geprobeerd worden de structuur weer terug te brengen. Afhankelijk van het aantal keren omzetten is deze manier van composteren dus meer of minder intensief te noemen.

2.3 Processen en factoren

Ondanks de verschillen zijn alle composteringstechnieken erop gericht zodanige omstandigheden te creëren dat de compostering goed kan verlopen. In de volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van de processen die plaatsvinden en de factoren die daarop van invloed zijn.

2.3.1 Microbiële omzettingen

De basis van het composteren is de afbraak van organische stof onder zuurstofrijke omstandigheden. Organische stof wordt daarbij door micro-organismen omgezet in koolstofdioxide (CO_2) en water (H_2O). Daarbij komt warmte vrij. Wanneer er stikstof gebonden is aan de organische stof zal ook ammoniak (NH_3) één van de

afbraakproducten zijn. In algemene vorm, inclusief het organische gebonden stikstof, verloopt de omzetting als volgt:

$C_aH_bO_cN_d + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + NH_3 +$ warmte

Als voorbeeld kan de omzetting van glucose dienen (Haug, 1993; Hamelers et al., 1998):

$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O +$ warmte

De organische stof is echter in oorspronkelijke vorm niet als glucose in de mest aanwezig maar in de vorm van eiwitten, vetten en als het complexere cellulose, hemicellulose of lignine (Richard, 1996). De eerste stap in het composteringsproces is daarom de afbraak van deze complexe structuren (polymeren) naar eenvoudige structuren (monomeren) zoals glucose. Deze omzetting heet hydrolyse en begint al in het verteringskanaal van herkauwers zoals koeien. Van de organische stof is lignine het moeilijkst afbreekbaar gevolgd door hemicellulose en cellulose, terwijl eiwitten en vetten relatief gemakkelijk worden omgezet. De verhouding van deze bestanddelen bepaalt dan ook de afbraaksnelheid van de organische stof. Uit een model van Hamelers (1993) dat het composteringsproces op deeltjesniveau beschrijft, blijkt dat de zuurstofconsumptie een goede maat is voor de mate van afbraak van organische stof en dat dit proces vooral bepaald wordt door de snelheid waarmee de hydrolyse plaatsvindt.
De verdere afbraak tot koolstofdioxide en water echter is niet de enige omzetting die kan plaatsvinden. Ter illustratie is in Tabel 4 een overzicht weergegeven van de reactieproducten die kunnen ontstaan uit de omzetting van glucose met daarbij de hoeveelheid vrijkomende warmte (Van Ginkel, 1996; Haug, 1993). Wanneer niet glucose maar een stikstofhoudend uitgangsproduct gekozen wordt ontstaat ook ammoniak als reactieproduct.

Tabel 4 Aërobe en anaërobe omzetting op basis van glucose

Nummer	Uitgangsproduct(en)	Reactieproducten	Vrijkomende warmte [kJ.mol^{-1}]
1	$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$	$6\ CO_2 + 6\ H_2O$	2843
2	$5\ C_6H_{12}O_6 + 24\ NO_3^-$	$12\ N_2 + 18\ H_2O + 24\ OH^-\ 30\ CO_2$	2523
3	$C_6H_{12}O_6 + 3\ H_2SO_4$	$6\ CO_2 + 6\ H_2O + 3\ H_2S$	450
4	$C_6H_{12}O_6$	$3\ CH_4 + 3\ CO_2$	403
5	$C_6H_{12}O_6$	Acetaat + $3\ H^+$	330
6	$C_6H_{12}O_6$	Propionaat + acetaat + $2\ H^+ + CO_2 + H_2$	298
7	$C_6H_{12}O_6$	Butyraat+$2\ CO_2 + 2\ H_2$	259
8	$C_6H_{12}O_6$	Ethanol + $2\ CO_2$	215
9	$C_6H_{12}O_6$	Methanol + $2\ H_2O + 2\ _{CO2}$	90

Bronnen: Van Ginkel, 1996 en Haug, 1993

Reactie 1 is een aërobe omzetting, terwijl in reactie 2 en 3 respectievelijk nitraat en sulfaat dienen als zuurstofbron. Als zowel zuurstof, nitraat en sulfaat afwezig is zullen reacties 4 tot 9 optreden. Dat proces heet fermentatie. Stoffen als acetaat, propionaat en butyraat worden vluchtige vetzuren genoemd en zijn de oorzaak van geuremissies bij het composteren. Ook waterstofsulfide (H_2S) is een stof met een onaangename reuk (nl. rotte eieren). Micro-organismen hebben echter een voorkeur voor de reactie die de meeste energie oplevert Omzettingen zullen dus optreden in de volgorde waarin ze genoemd worden in Tabel 4 (Van Ginkel, 1996).

Hoewel compostering een aëroob proces wordt genoemd betekent dit niet dat er zich geen zuurstofloze omstandigheden kunnen voordoen. De zuurstof die aanwezig is in de ruimtes tussen de vaste deeltjes kan slecht beperkt doordringen in dat deeltje. Binnenin dat deeltje heersen dus anaërobe omstandigheden (Hamelers, 1993). De porositeit van het materiaal, de deeltjesgrootteverdeling en het vochtgehalte bepalen de mate waarin zuurstof beschikbaar is in de composthoop.

Naast koolstof (C) bevat mest ook stikstof (N). Die komt voor als minerale, in water oplosbare stikstof en als organisch, aan organische stof gebonden stikstof. Een belangrijke vorm van minerale stikstof in vers uitgescheiden mest is ureum dat echter in zeer korte tijd door het enzym urease wordt omgezet in ammoniak (NH_3). Ook bij de afbraak van organische stof komt de stikstof vrij als ammoniak. Ammoniak is in oplossing aan de ene kant in evenwicht met ammonium en aan de ander kant met gasvormig ammoniak:

Figuur 1 Evenwicht tussen ammonium en ammoniak

$$NH_4^+ \leftrightarrow NH_3\,(l) + H^+ \leftrightarrow NH_3\,(g)$$

Het evenwicht in beide reacties is afhankelijk van temperatuur en pH waarbij de ammoniakemissie toeneemt naarmate de temperatuur en pH stijgt.
De gevormde ammoniak is weer het uitgangspunt voor een reeks omzettingen door bacteriën die samen nitrificatie en denitrificatie genoemd worden. Verder wordt ammoniak samen met koolstof vastgelegd in nieuwe biomassa. De micro-organismen hebben voor de opbouw van nieuwe cellen zowel koolstof als stikstof nodig in een bepaalde verhouding. Deze zogenaamde C/N-verhouding kan variëren tussen 0,5 voor ureum en 500 voor zaagsel. Een tekort aan stikstof vertraagt het composteringsproces terwijl een tekort aan koolstof ook kan leiden tot ammoniakemissie (Hamelers, 1998). In Tabel 5 staat een overzicht gegeven van de C/N-verhouding van verschillende materialen die gebruikt kunnen worden bij compostering. De optimale C/N-verhouding ligt rond de 30, afhankelijk van het soort organisch materiaal en het soort bacteriën en micro-organismen.

Tabel 5 Verhouding tussen C en N van enkele materialen

Soort materiaal	C/N verhouding	Soort materiaal	C/N verhouding
Schors	100-130	Papierpap	100-110
Zaagafval	100	Keukenafval	12-120
Snoeihout	100-150	Tuinafval	20-60
Bladeren	30-60	Gras	12
Rietstro	20-30	Kippenmest	13-18
Stromest	25-30	Paardenmest met veen	30-60
Groenteafval	13	Turf	30-50

Bron: Hedel, 1999

Aansluitend op de afbraak van organische stof volgen een aantal reacties waarbij de ontstane ammoniak betrokken is.
Bij *nitrificatie* (figuur 1) wordt ammoniak in twee stappen en door twee verschillende bacteriestammen omgezet in nitraat.

Figuur 2 Verloop van nitrificatie (Groffman, 1991)

$$NH_3 \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$$
$$\downarrow$$
$$N_2O$$

Nitrificatie is een aëroob proces. In de eerste stap wordt ammoniak omgezet in nitriet, terwijl in de tweede stap nitriet verder omgezet wordt in nitraat. Wanneer zuurstof schaars wordt kan echter ook lachgas (N_2O) vrij komen (Robertson en Kuenen, 1991; Groffman, 1991). Dit is een broeikasgas. Verder ontstaat een zuur dat gebufferd moet worden. Wanneer de pH beneden de 5,5 daalt, sterven de nitrificerende bacteriën af. Tot nu toe wordt aangenomen dat nitrificeerders mesofiel zijn wat betekent dat ze afsterven bij een temperatuur boven de 40 °C. Uit recente waarneming lijkt echter ook nitrificering onder hogere temperaturen plaats te kunnen vinden (Veeken, 2001)
Denitrificatie kan plaats vinden onder de meest uiteenlopende omstandigheden omdat er veel meer groepen bacteriën bij betrokken zijn dan bij nitrificatie, maar verloopt meerstal onder anaërobe omstandigheden. De optimale temperatuur van de meeste denitrificerende micro-organismen ligt ronde de 30 °C terwijl de pH tussen de 7,0 en 8,0 moet liggen. Onder omstandigheden die verder verwijderd zijn van dit optimum wordt relatief meer N_2O gevormd ten koste van de N_2 productie (Hamelers, 1998)

Figuur 3 Verloop van denitrificatie (Groffman, 1991)

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

Uit de beschrijving van deze processen wordt duidelijk dat de aanwezigheid van zuurstof, de beschikbaarheid van ammoniak, de temperatuur en de pH in de composthoop bepalend zijn voor de mate van stikstofverlies door gasvormige emissies en de vorm waarin dat gebeurt. Wanneer de afbraak van organische stof en de vorming van ammoniak gevolgd wordt door nitrificatie en denitrificatie onder de juiste omstandigheden zal de ammoniakemissie tijdens composteren beperkt blijven tot enkele procenten van de oorspronkelijk aanwezige stikstof (Veeken). Op laboratoriumschaal zijn stikstofverliezen in de vorm van ammoniak van 1% van de oorspronkelijke hoeveelheid stikstof gemeten, terwijl in de praktijk bij compostering van de dikke fractie van zeugenmest die ontstaan was na scheiding met een strofilter een stikstofverlies door ammoniakemissie van 5% gemeten is (Hamelers, 1998).
De totale verliezen aan stikstof kunnen echter ook aanzienlijk zijn. Hong *et al.* (1998) melden verliezen van 23,0 tot 29,7% van de oorspronkelijk aanwezige stikstof bij de compostering van varkensmest vermengt met zaagsel terwijl Eghball *et al.* (1997) bij de compostering van mest afkomstig van vleesvee, verliezen van 19-42% gemeten hebben afhankelijk van de hoeveelheid stikstof in het uitgangsmateriaal. Vuorinen en Saharinen (1997) stelden bij de compostering van een mix van varkens en melkveemest met stro een gasvormig stikstof verlies van 13-37% van de oorspronkelijke hoeveelheid N vast. De materialen die gecomposteerd werden en de omstandigheden waaronder dat gebeurde verschillen steeds zodat een goede vergelijking niet mogelijk is. Intensieve compostering lijkt echter een negatief effect te hebben op de stikstofverliezen in de vorm van ammoniak in vergelijking met extensievere vormen van compostering.

2.3.2 Factoren die het composteringsproces beïnvloeden

In bovenstaande paragraaf zijn de processen die optreden bij het composteren kort besproken. Het is de taak van de composteerde om die omstandigheden te creëren waarbij deze processen optimaal kunnen verlopen. Uit de omzettingsreactie blijkt dat voor de afbraak van organische stof zuurstof aangevoerd moet worden en warmte, water en koolstofdioxide afgevoerd moet worden. De mate waarin deze aan- en afvoer verloopt is bepalend voor het succes van de compostering. Het te composteren materiaal is opgebouwd uit drie fasen. De vaste fase die alle te composteren bestanddelen bevat en de ruimten om de vaste delen heen die gevuld kunnen zijn met water of met een gasmengsel (bijvoorbeeld lucht).
Uitgaande van een composthoop die niet actief belucht wordt zijn in Tabel 6 de factoren aangeven die de -aan en afvoer van zuurstof, koolstofdioxide, water en warmte bepalen.

Tabel 6 Overzicht van factoren die aan- en afvoer van warmte, vocht, droge stof bepalen

Balans	Aanvoer	Afvoer
Warmte	• Zonnestraling	• Natuurlijke convectie van droge lucht
	• Afbraak organische materiaal	• Natuurlijke convectie van waterdamp
Vocht	• Neerslag	• Natuurlijk convectie van waterdamp
	• Afbraak organisch materiaal	
Droge stof		• Afbraak organisch materiaal
Zuurstof	• Natuurlijke convectie van lucht	• Afbraak organisch materiaal
Koolstofdioxide	• Afbraak organisch materiaal	• Natuurlijke convectie van lucht

Bron: Hamelers, 1998

In het vervolg van deze paragraaf zullen de factoren die het composteringsproces beïnvloeden uitgebreider besproken worden.

Uitgangsmaterialen
Het verloop van het composteringsproces en de kwaliteit van het eindproduct (compost) is onder andere afhankelijk van de gebruikte uitgangsmaterialen: runderdrijfmest, organische materiaal en eventuele andere toevoegingen. Veehouders kunnen het verloop van het composteringsproces en de kwaliteit van de compost enigszins beïnvloeden door aanpassingen in die uitgangsmaterialen. Wat betreft mest is een bekend voorbeeld het toedienen van eiwitrijke rantsoenen om hogere stikstofgehalten in de mest te verkrijgen. Het is echter niet duidelijk of dit ook tot uitdrukking komt in een hoger stikstofgehalte in de compost.
Organische stof wordt verder toegevoegd in de vorm van bermgras, beheersgras, snoeiafval, GFT e.d. Deze producten verschillen wat betreft de C_{tot}/N_{tot}-verhouding, structuur en stabiliteit en afbreekbaarheid van de organische stof: bermgras verteert bijvoorbeeld sneller dan snoeihout omdat in de laatste het ligninegehalte hoger is. Dit heeft in elk geval effect op het verloop van het composteringsproces. Wat het precieze effect is op

het eindproduct is niet duidelijk. In Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de eigenschappen van een aantal organische materialen die aan de mest toegevoegd kunnen worden.

Tabel 7 Samenstelling van organische materialen

Toevoeging	ds %	Organische stofgehalte (%-ds)	Soortelijke dichtheid (kg/m^3)	N-totaal (g/kg ds)	P_2O_5 (g/kg ds)	C_{tot}/N_{tot}-verhouding
Stro	84	93		6		80-120
Hooi	83	89		19		26
Bermgras	78	71	150-200	19	6	37
Houtig snoeiafval	66	53	400-500	7	3	78

Bronnen: Steinbuch en Bokhorst, 1999a; Van Hedel, 1999

Toevoegmiddelen

Naast mest en organisch materiaal gebruiken een aantal veehouders in Nederland het product Fysische Ionen Regulator (FIR), een versteende koolstofrijke delfstof. Dit materiaal wordt op verschillende plaatsen toegevoegd: aan het voer, aan de (drijf)mest en aan de bodem. Ook FIR-drijfmest kan gebruikt worden om te composteren. Gebruikers spreken dan van humesteren in plaats van composteren. Hierbij wordt organisch materiaal zoals bermhooi of stro met FIR-drijfmest gemengd in een verhouding van 1 deel organisch materiaal en 4 delen drijfmest. Op deze manier wordt in ongeveer 3 weken tijd compost (humest) gemaakt, die vervolgens nog 2-4 maanden moet narijpen. De hoeveelheid compost die kan worden verkregen bedraagt ongeveer 35–40% van het gewicht van de ingezette organische drager en de hoeveelheid drijfmest. De drijfmest moet worden verkregen van vee dat gevoerd is met FIR en dat een hierop aangepast rantsoen gevoerd krijgt.
Enkele voordelen van het gebruik van FIR en de met FIR-mest gemaakte compost zouden zijn (Bron: Vereniging tot Behoud van Boer en Milieu):

- een hogere stikstofbenutting in zowel het dier als de bodem;
- absorptie van ammoniak uit de mest, dus minder N-verlies en stankoverlast;
- betere kwaliteit compost (meer bacteriën en schimmels en meer organisch gebonden stikstof);
- een lager gebruik van kunstmest en chemische bestrijdingsmiddelen;
- minder droogtegevoeligheid van de bodem;
- stimulering van het bodemleven;
- minder uit- en afspoeling van chemische residuen naar grond- en slootwater;
- bevordering van natuur op de akker door toename van flora- en faunadiversiteit;
- kosteneffectief.

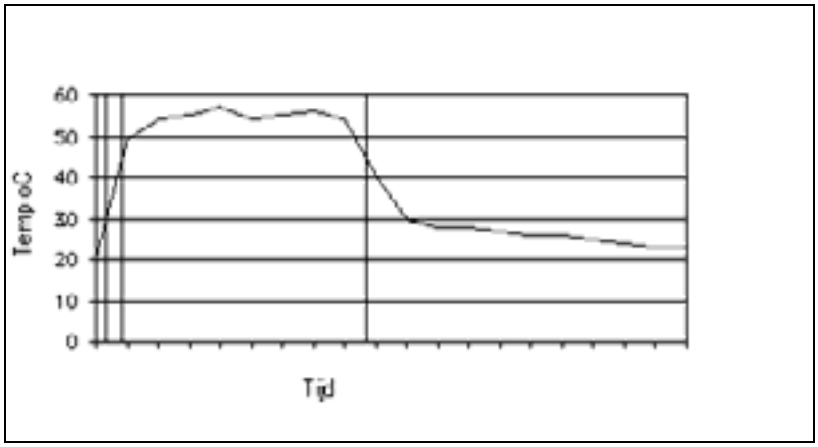
De werking van het FIR zou gelegen zijn in het absorberen van stoffen die schadelijk zijn voor de bacteriën en micro-organismen in de composthoop en de bodem. In de wetenschappelijke wereld bestaat echter meningsverschil over de werking van FIR, mede vanwege de beperkte beschikbaarheid van gepubliceerd gedegen onderzoek.
Naast FIR zijn er ook verschillende andere toevoegmiddelen beschikbaar die het composteringsproces kunnen beïnvloeden. De precieze werking is echter onduidelijk en de effectiviteit vaak niet aangetoond (De la Lande Cremer, 1984)

Temperatuur

Temperatuur is aan de ene kant een factor die het composteringsproces beïnvloedt maar aan de andere kant ook een resultante van datzelfde proces. De temperatuur in een composthoop is het resultaat van de aan- en afvoer van warmte. Voor aanvoer van warmte zorgen in de eerste plaats de micro-organismen die organische stof afbreken. De snelheid waarmee dat gebeurt, is bepalend voor de warmteproductie. Aan de andere kant is de heersende temperatuur naast de beschikbaarheid van zuurstof en vocht bepalend voor de afbraaksnelheid. Verder kan straling van de zon de temperatuur verhogen.
Afvoer van warmte kan gebeuren door geleiding en afvoer via de lucht door diffusie en convectie. Het aandeel van straling zal beperkt zijn. Een laatste belangrijke bron is de latente warmteafvoer door verdamping van water uit de composthoop (diffusie en convectie). Wanneer de composthoop actief wordt belucht zal de opgewarmde, vochtige lucht weggezogen worden. Als er niet actief belucht wordt stijgt door dichtheidsverschillen de opgewarmde, vochtige lucht op uit de composthoop en wordt via de zijkanten en eventueel de onderkant vervangen door verse lucht.
Bij het composteren zijn een groot aantal verschillende micro-organisme betrokken. De belangrijkste groepen zijn bacteriën, schimmels en actinomyceten (een groep organismen die zich tussen bacteriën en schimmels bevindt).

Een andere belangrijke indeling van deze micro-organismen is de temperatuur waaronder ze optimaal werkzaam zijn. Daarbij vallen drie temperatuurgebieden te onderscheiden (Figuur 4):
Psychrofiele omstandigheden < 30 °C;
Mesofiele omstandigheden 30-45 °C;
Thermofiele omstandigheden 45-65 °C.
Aan de hand van deze temperatuurgebieden wordt het composteringsproces over het algemeen in vier fasen verdeeld (Haug, 1993).

Figuur 4 Verloop van temperatuur tijdens het composteringsproces



Bron: http://www.cfe.cornell.edu/compost/physics.html en Haug, 1993

- De mesofiele fase. Door de biologische activiteit van de mesofiele organismen zal in een nieuw compostbed de temperatuur snel stijgen. De makkelijk afbreekbare bestanddelen als eiwitten worden omgezet.
- De thermofiele fase. Als de temperatuur blijft stijgen zullen de mesofiele organismen vervangen worden door thermofiele organismen. Bacteriën zetten de overige eiwitten en de vetten om terwijl de schimmels de hemicellulose en de cellulose afbreken.
- De afkoelingsfase. Wanneer de temperatuur weer zakt zullen de mesofiele schimmels actief worden en de overgebleven cellulose afbreken (Kreuk, 1997).
- De rijpingsfase. Tenslotte bereikt de compost de omgevingstemperatuur en komen de omzettingen vrijwel stil te liggen. Dit wordt de rijpingsfase genoemd.

Naast de nuttig werkzame micro-organisme kunnen ook ziekteverwekkers als parasieten, aaltjes, schimmels en virussen en onkruidzaden in het te composteren materiaal aanwezig zijn. Aangezien zij meestal niet de hoge temperaturen kunnen doorstaan zal compostering een zuiverende werking hebben. Dit betekent dat er, vanuit dit oogpunt, geen bezwaar hoeft te zijn tegen het gebruik van bijvoorbeeld GFT-afval bij de compostering. Van belang is hierbij wel dat al het materiaal deze temperatuur bereikt. De buitenkant van de composthoop is namelijk aanmerkelijk koeler dan de kern van de hoop of rug. Vooral bij extensieve compostering is het dus niet vanzelfsprekend dat alle compost gezuiverd is omdat de hoop of rug niet of slechts éénmaal gemengd wordt. In het algemeen kan worden gesteld dat wanneer alle compost minimaal 2 dagen op een temperatuur boven de 60 °C is geweest de compost gezuiverd is van ziektekiemen.
Uit de beschikbare informatie blijkt dat ook het MKZ-virus door het composteringsproces wordt gedood (Moos & Haas, 2000). Voor BSE-prionen is dit echter nog niet onderzocht (Philipp, 2001). Aangezien BSE-prionen in principe niet in de voedselketen terecht kunnen komen, is het niet waarschijnlijk dat BSE kan worden verspreid door gebruik van GFT-afval bij de compostering.
Compost die vrij is van ziektekiemen kan ook een ziektewerende werking hebben. Doordat de micro-organismen en bacteriën in de compost met de ziekteverwekkers in de bodem concurreren om voedingsstoffen krijgen de laatsten minder kans zich te ontwikkelen. Het rijpheidstadium van compost is daarbij van belang omdat een te oude compost te weinig voedingstoffen en daardoor ook nauwelijks micro-organismen of bacteriën bevat die de concurrentie aangaan terwijl een te jonge compost een overmaat aan voedingsstoffen bevat waardoor ook van concurrentie geen sprake is (LBI, 2000).

Porositeit, deeltjesgrootte en bulkdichtheid
Deze drie fysische eigenschappen van een composthoop spelen een rol in de zuurstoftoevoer. De benodigde beluchting hangt af van de zuurstofvraag voor de afbraak van organische stof en de luchtbehoefte voor warmte- en vochtverwijdering. De aanvoer van lucht kan geforceerd of natuurlijk plaatsvinden. Bulkdichtheid is de totale

massa van de vaste delen en het vocht in de ruimten daartussen gedeeld door het ingenomen volume. Porositeit is de ruimte die niet ingenomen wordt door vaste deeltjes uitgedrukt in een percentage van het totale volume. Deze ruimte kan gevuld worden met water of met lucht. Door deze ruimten vindt de natuurlijk of geforceerde beluchting plaats. Het blijkt dat porositeit de belangrijkste parameter is die natuurlijke convectie bepaald (Hamelers, 1998). Porositeit is ook bepalend voor diffusiesnelheid van zuurstof in de composthoop. Deze wordt verder bepaald door de grootte en vorm van de poriën die weer afhankelijk is van de deeltjesgrootte en -vorm. Stapeling van veel kleine deeltjes betekent een lagere permeabiliteit dan stapeling van weinig grote deeltjes terwijl de porositeit ongeveer gelijk kan zijn (zie Tabel 8).

Tabel 8 Verhouding tussen porositeit, permeabiliteit en convectiesnelheid

Materiaal	Porositeit	Dimensie deeltjes [cm]	Permeabiliteit [$m^4.s^{-1}.N^{-1}$]	Conventiesnelheid [$m.s^{-1}$]
Houtchips	0,63	2x2x0,4	0,035	0,043
Zaagsel	0,67	0,2x0,01x0,01	0,001	0,013

Bron: Hamelers, 1998

Afhankelijk van de samenstelling van het te composteren materiaal neemt de porositeit onder in de composthoop af. Ook gedurende de compostering kan de porositeit afnemen, als gevolg van de afbraak van organische stof. Vooral bij extensieve compostering is de luchtdoorlatendheid de belangrijkste factor voor het slagen van het composteringsproces. Omdat de compost slechts af en toe wordt omgezet moet de luchtdoorlatendheid gedurende een langere tijd voldoende zijn. Vooral onder in de hoop neemt de dichtheid gedurende de compostering door inklinking van het materiaal toe. Door een compostrug niet hoger te maken dan 1-1,5 meter wordt voorkomen dat onderin de hoop anaërobe omstandigheden ontstaan. Ook de breedte is aan een maximum van ongeveer 3 meter gebonden. Behoud van structuur moet bij extensieve compostering de belangrijkste factor zijn bij de keuze van het organisch materiaal.

Vochtgehalte

Zoals bij temperatuur is vochtgehalte een resultaat van compostering, maar bepaalt het ook het verloop van het proces. Bij de omzetting van organische stof komt water vrij. Dit water wordt samen met het al aanwezige vocht afgevoerd, zodat bij voldoende hoge temperaturen de compost in de loop van het proces steeds droger wordt. Bij een goed verlopende compostering zonder overmatige neerslag valt zal er eerder water toegevoegd moeten worden dan dat er vocht uit de composthoop loopt. Het optimale vochtgehalte in het uitgangsmateriaal ligt tussen de 50 en 60% (Rynk, 1992).
Wanneer het vochtgehalte in het uitgangsmateriaal te hoog is, zal het composteringsproces moeilijk op gang komen. De ruimten tussen de vaste fractie van de composthoop (het te composteren materiaal) zijn dan voornamelijk gevuld met water. Dit belemmert de aanvoer van lucht zodat anaërobe omstandigheden in de hoop ontstaan. Verder kan er vocht uit de hoop lopen dat mineralen en organische stof bevat.
Ook een te laag vochtgehalte leidt echter tot een slecht verlopend proces omdat de micro-organismen voor goed functioneren een waterige omgeving nodig hebben. Het vochtgehalte in het te composteren materiaal is eenvoudig te berekenen aan de hand van het ds-% van de afzonderlijke materialen.

C/N verhouding

Ook de verhouding tussen alle aanwezige koolstof en stikstof, de C/N_{tot}-verhouding, is van invloed op de stikstofverliezen. De aanwezige micro-organismen gebruiken de energie en de stoffen die vrijkomen bij de afbraak van organische stof om zich te vermeerderen. Daarbij geldt dat ongeveer 50% van de beschikbare koolstof ingebouwd wordt in nieuwe micro-organismen. De rest verdwijnt als CO_2 de composthoop. Aangezien de C_{tot}/N_{tot}-verhouding van de micro-organismen ongeveer 15 is, ligt de optimale C_{tot}/N_{tot}-verhouding in het te composteren mengsel rond de 30. (Steinbuch en Bokhorst, 1999a). Dit kan bereikt worden door verschillende materialen (bijvoorbeeld mest met een lage C_{tot}/N_{tot}-verhouding en stro met een hoge) te mengen.
Wanneer teveel stikstof aanwezig is blijft deze als ammoniak in de compost aanwezig en zal bij onvoldoende nitrificatie en denitrificatie als ammoniakgas uitgestoten worden. Is er echter te weinig koolstof dan zal de vermeerdering van de micro-organismen afgeremd worden en daarmee het composteringsproces. Overigens is het zo dat ook micro-organismen weer afgebroken worden en dus bijdragen aan het aanbod van koolstof en stikstof.
Belangrijker dan de totale C/N-verhouding van een bepaald materiaal of mengsel is de verhouding tussen beschikbare C en beschikbare N. Bepalend voor de beschikbaarheid is de afbraaksnelheid van organische stof. Deze wordt bepaald door de vorm waarin organische stof aanwezig is, de zuurstofconcentratie, het vochtgehalte en de temperatuur. Lignine dat erg langzaam afgebroken wordt zal veel minder bijdragen aan de C/N-verhouding

dan de snel beschikbare eiwitten. Tijdens het composteringsproces kan de C/N-verhouding dus veranderen doordat snel afbreekbare organische stof is uitgeput en slechts langzaam afbreekbare organische stof beschikbaar is.

2.3.3 Kenmerken van het eindproduct

Wanneer de compostering voltooid is moet een product ontstaan zijn met een aantal typerende kenmerken. De belangrijkste zijn:

- Stabiliteit van de humusfractie. Dit is een procesparameter die onder meer aangeeft of de compostering voltooid is. Onvoldoende stabiele organische stof maakt dat de stikstoflevering onvoorspelbaar wordt. Verder kan er tussen gewas en compost concurrentie om zuurstof ontstaan (afhankelijk van grondsoort, hoeveelheid compost en wel of niet inwerken). Dat is slecht voor de gewasopbrengst. Er zijn diverse methoden om de stabiliteit van het gevormde product te bepalen. Eén daarvan is de Rothe index die uitgaat van de temperatuurstijging na omzetting van de compost. Wanneer die niet meer boven de 50 °C komt geldt de compost uitgerijpt;
- Kwaliteit van de compost. Deze productparameter kan worden bepaald met diverse beoordelingsmethodieken:
  - Stikstoflevering bepalen uit organische stof in een $CaCl_2$-extract;
  - Karakterisering van de organische stof: door fractionering van de organische stof gevolgd door het bepalen van de humificatiecoëfficiënt en de stikstoflevering in de fracties;
  - Biologische activiteit: met de CO_2-productie;
  - Ziektewerendheid: vaak getest door reactie van de phythium schimmel in compost.
- C/N-verhouding. Het proces van afbraak van organische stof in niet volledig voltooid na beëindiging van het composteringsproces maar gaat door na toediening. Net als tijdens de compostering is voor het mogelijke gebruik van het eindproduct de verhouding tussen (makkelijk) afbreekbare C en N belangrijker dan de C/N_{tot}-verhouding van de compost. Het gaat dan vooral om de hydrolyseerbare C en de organisch gebonden stikstof (N_{org}). Ook in de bodem geldt dat een C/N_{org}-verhouding van meer dan 30 kan aanleiding geven tot een slechte gewasgroei doordat het gewas om stikstof moet concurreren met de micro-organismen die het organische materiaal afbreken.

Tabel 9 geeft de chemische samenstelling van drijfmest en compost, zowel met als zonder toediening van FIR aan drijfmest. Ter vergelijking is ook de samenstelling van GFT-compost gegeven. Uit de tabel blijkt onder andere dat de effecten van FIR op de kwaliteit van drijfmest en compost nader onderzoek behoeven.

Tabel 9 Chemische samenstelling van runderdrijfmest (RDM) en compost

Kg/ton product, tenzij anders aangegeven	RDM zonder FIR	RDM met FIR	Compost van RDM met FIR en beheersgras	GFT-compost
Droge stof	90	101	252	660
Organische stof	66	81	13,5	244
Effectief Org. Stof	33			183
Soort. gew. [kg/m^3]	1005		ca. 400	643
N_{tot}	3,9[1]	4,2[1]	5,8[1]	10,4
w.c[4]. N [%]	45[1]	47[1]	27[1]	10
P_2O_5	1,4[1]	1,5[1]	3,9[1]	4,4
w.c[4]. P_2O_5 [%]	100			50
K_2O	5,3[1]	3,3[1]	8,2[1]	5,6
w.c[4]. K_2O [%]	100			100
Zware metalen [mg/kg ds][2]				
Cd	0,26 (0,19-0,37)		0,52[3]	0,47
Cr	13 (4,8-39)		26[3]	16
Cu	-		-	27
Hg	0,046 (0,029-0,063)		0,092[3]	0,13
Pb	23 (7,4-47)		46[3]	78
Ni	21 (10-66)		42[3]	10
Zn	-		-	204
As	0,57 (0,14-4,3)		1,14[3]	3,8

[1] Schils, 2001, Praktijkgids Bemesting, 2000, Handboek Meststoffen, [2] Driessen & Roos, 1996 [3] Schattingen
[4] w.c.= werkingscoëfficiënt

De gehalten aan zware metalen en arseen van compost van runderdrijfmest kunnen worden geschat uit de verdikking van drijfmest naar compost. In het onderzoek dat aan de gegevens in de tabel ten grondslag ligt nam tijdens het composteren het droge stofgehalte toe van 90 g/kg naar 252 g/kg, ofwel meer dan een verdubbeling. Dit betekent dat we mogen aannemen dat ook de zware metalengehalten verdubbelen, omdat die niet bij het composteringsproces betrokken zijn. In de tabel is de aanname cursief weergegeven. Het gebruik van organische reststromen is uiteraard ook van invloed op de zware metalengehalten. Hierover zijn geen onderzoeksgegevens beschikbaar. Vanwege de lage gehalten aan zware metalen en arseen in stro is dit van geringe invloed op de hoeveelheid zware metalen die worden toegediend.

2.3.4 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven

In paragraaf 2.3.1 en 2.3.2 wordt een overzicht gegeven van de processen en factoren die een rol spelen bij het composteren van een mengsel van mest en organisch materiaal. Het gaat daarbij om algemene, min of meer theoretische benadering. In deze paragraaf zal geprobeerd worden de praktische consequenties van deze kennis voor het composteren van dunne rundermest op een melkveebedrijf aan te geven. Daarbij wordt uitgegaan van de het composteren in ruggen met een passieve beluchting. Runderdrijfmest heeft een te laag drogestofgehalte om direct gecomposteerd te kunnen worden. Wanneer daarom drijfmest gebruikt wordt om te composteren is een ander materiaal nodig om voldoende structuur aan de composthoop te geven. Door menging moet een materiaal ontstaan dat voldoende porositeit heeft zodat er voldoende zuurstof beschikbaar is, waar in voldoende mate vocht aanwezig is en dat een juiste C/N-verhouding heeft. Overigens gelden deze eisen niet alleen voor het uitgangsmengsel maar ook gedurende het composteringsproces.
Hieronder zullen een aantal sturingsmogelijkheden aangegeven worden.

Mengverhouding van mest en organische materialen
Om een juist vochtgehalte te krijgen in het mengsel moet van de verschillende ingrediënten het vochtgehalte bekend zijn. Daarna kan met behulp van de formule in Figuur 5 het vochtgehalte van het mengsel berekend worden. Om onafhankelijk te zijn van de weersomstandigheden en het risico uit te sluiten dat het proces niet goed verloopt door overvloedige neerslag is het raadzaam de composthoop af te dekken. Om de luchtuitwisseling niet te belemmeren is een afdak beter geschikt dan compostdoek of landbouwplastic. Om te voorkomen dat het materiaal te droog wordt en het proces vertraagt is het nodig om het vochtgehalte tijdens het composteringsproces in de gaten te houden en als daar aanleiding voor is de compostrug te bevochtigen.
Ook de C/N-verhouding van het mengsel is uit te rekenen met de formule in Figuur 5. Het koolstofgehalte in de materialen is bij benadering te bereken door het organischestofgehalte te delen door 1,8. Voor het stikstofpercentage wordt de totale stikstofhoeveelheid op basis van droge stof genomen, dus zowel organische stikstof als minerale stikstof.
Om tot de juiste C/N-verhouding van het mengsel te komen zijn er verschillende materialen beschikbaar: stro, zaagsel, berm- of beheersgras, slootmaaisel, huisvuil, snoeiafval of GFT-afval. Voor de berekening van de C/N - verhouding is het dus nodig de samenstelling van alle ingrediënten te kennen. Het kan nodig zijn om een representatief monster van de mest of het organische materiaal te laten analyseren.
Ook hier geldt verder dat niet alleen de waarde van het uitgangsmateriaal van belang is maar ook de ontwikkeling van de C/N-verhouding gedurende het composteringsproces. Stro en hooi bevatten bijvoorbeeld meer sneller afbreekbare organische bestanddelen dan zaagsel en snoeiafval.

Figuur 5 Formule voor berekening vochtgehalte en C/N-verhouding van te composteren mengsel

Vochtgehalte mengsel:

$$\frac{(a \cdot m_a) + (b \cdot m_b) + (c \cdot m_c) + \ldots}{a + b + c + \ldots.}$$

C/N-verhouding mengsel:

$$\frac{\{\%C_a \cdot a \cdot (1-m_a)\} + \{\%C_b \cdot a \cdot (1-m_b)\} + \{\%C_c \cdot a \cdot (1-m_c)\}}{\{\%N_a \cdot a \cdot (1-m_a)\} + \{\%N_b \cdot a \cdot (1-m_b)\} + \{\%N_c \cdot a \cdot (1-m_c)\}}$$

a = totaal gewicht ingrediënt a
b = totaal gewicht ingrediënt b
c = totaal gewicht ingrediënt c
m_a, m_b, m_c = vochtgehalte a, b, c
$\%C_a$, $\%C_b$, $\%C_c$ = percentage koolstof in ingrediënt a, b, c
$\%N_a$, $\%N_b$, $\%N_c$ = percentage stikstof in ingrediënt a, b, c

Omzetten van compost
Naast de C/N-verhouding is het gebruikte organisch materiaal ook van belang voor de porositeit van het mengsel. Wanneer de compost niet actief belucht wordt is de zuurstoftoevoer afhankelijk van natuurlijke convectie en diffusie. Een goede opbouw van de composthoop is dan één van de belangrijkste factoren voor het slagen van de compostering. Gedurende het composteringsproces kan de porositeit teruglopen. Onder in de hoop zal de porositeit afnemen als gevolg van de druk van het bovenliggende materiaal maar ook door omzetting van het organisch materiaal gaat de structuur verloren. Door de composthoop om te zetten wordt de structuur weer teruggebracht en neemt de porositeit weer toe. Tijdens het omzetten wordt ook lucht in de hoop gebracht maar het effect van toenemende porositeit en daardoor verbeterde convectie is belangrijker dan de zuurstof die direct in de hoop gebracht wordt door omzetting (Veeken, 2001).
Het is ook mogelijk de porositeit te vergroten door materialen te gebruiken die niet of nauwelijks betrokken worden bij het composteringsproces. Een voorbeeld daarvan is het toevoegen van versnipperde autobanden. Deze zorgen voor een stabielere structuur en kunnen na afloop uit de compost gezeefd worden voor hergebruik. In deze categorie vallen ook houtsnippers. Doordat hout veel moeilijk afbreekbare lignine bevat is het gedurende meerdere composteerrondes te gebruiken.

2.4 Milieueffecten

Zoals besproken in paragraaf 2.3.1 over de omzettingsprocessen tijdens composteren, kunnen er op verschillende momenten gasvormige emissie plaatsvinden. Daarnaast kan ook percolaat (lekvocht) uit de hoop treden waarin mineralen zijn opgelost. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de verliezen die kunnen optreden.

2.4.1 Emissie van ammoniak, broeikasgassen en overige stikstofverbindingen naar de lucht

Emissie van stikstof kan plaatsvinden in de vorm van NH_3, N_2O, N_2. Daarnaast kan CH_4 vrijkomen tijdens compostering. In paragraaf 2.3.1 is beschreven welke omzettingen plaats vinden tijdens het composteren en welke gassen daarbij vrij kunnen komen. Ammoniak, lachgas en methaan zijn gassen die schadelijk zijn voor het milieu. De hoeveelheid N_2 die vrijkomt is moeilijk te meten vanwege de hoge achtergrondconcentratie. Verschillende onderzoekers beschrijven de stikstofverliezen tijdens compostering.
Osake *et al.* (1997) onderzocht de emissie van ammoniak, methaan en lachgas bij de compostering van varkensmest. Uit de experimenten blijkt dat de emissie van alle drie de gassen sterk afhangt van het beluchtingsdebiet van de compost. Tot een debiet van 80 l per m^3 compost per minuut neemt de ammoniakemissie toe tot een maximum van bijna 1000 gr NH_3-N per m^3 lucht. Bij een debiet van 100 l per m^3 compost per minuut neemt de emissie weer af, waarschijnlijk door uitdroging van de compost waardoor de micro-organismen geremd worden in hun activiteit. Bij methaan en lachgas is het omgekeerde effect te zien. Wanneer het debiet lager dan 40 l per m^3 compost per minuut wordt neemt de emissie sterk toe tot 385 g CH_4 per m^3 lucht en 71,9 g N_2O-N per m^3 lucht. Dit is te verklaren uit het feit dat door een lager zuurstoftoevoer meer anaërobe situaties ontstaan waarbij methaan en lachgas gevormd wordt. Bij de emissie van ammoniak was verder een duidelijk verloop in de tijd te zien. Een piek in de emissie vond plaats in de eerst 7 dagen van het composteringsproces. Na elke keer omzetten was een duidelijke stijging in de emissie waarneembaar. Het totaal stikstofverlies gedurende het composteren bedroeg 10-25%, afhankelijk van het luchtdebiet.
Beck *et al.* (1997) constateren bij compostering in een ongestoorde batchreactor, dat de ammoniakemissie afhangt van de beluchtingsgraad (in $l.kg^{-1}\ dm.h^{-1}$), de C/N-verhouding en het drogestofgehalte in het uitgangsmateriaal. Uit de dikke fractie (droge stofgehalte van 20%) van gescheiden drijfmest afkomstig van melkvee, emitteerde in de eerste 10 dagen van het composteringsproces 13,2% van de aanwezige stikstof als ammoniak. Andere resultaten laten een ammoniak emissie zien van 0,3 en 5,7% van de bij aanvang aanwezige stikstof bij respectievelijk een beluchting van 10 en 40 l per kg ds per uur. De C/N-verhouding was 25:1. Ook ruggencompostering werd betrokken in het onderzoek. Aantal keren omzetten en de C/N-verhouding bij het uitgangsproduct bleken bepalend voor de ammoniakemissie. Die bedroeg bij een C/N-verhouding van 18:1 en 20:1 respectievelijk 39 en 30% van de bij aanvang aanwezige stikstof.
Beck *et al.* concluderen dat wanneer beluchting en C/N-verhouding aangepast zijn aan de behoefte van de micro-organismen een lage ammoniakemissie mogelijk is bij ongestoorde, actief beluchte batch reactors.
Hamelers (1998) beschrijft in twee praktijkexperimenten de stikstofverliezen bij het composteren van varkensdrijfmest na scheiding met een strofilter. Naar aanleiding van deze experimenten wordt verwacht dat bij compostering op praktijkschaal de stikstofverliezen 50% van de totaal aanwezige stikstof bij aanvang zullen bedragen, waarvan 5% door ammoniakemissie.

Algemene conclusie is dat door verschillende onderzoekers heel wisselende stikstofverliezen gemeten worden als gevolg van ammoniakemissie, maar dat ook stikstofverliezen optreden door nitrificatie en denitrificatie in de vorm van stikstofgas. Deze laatste kunnen aanzienlijk zijn tot 50% van de bij aanvang aanwezige stikstof. Verder is niet door alle onderzoekers ook de lachgasemissie gemeten, zodat een belangrijk onderdeel uit de stikstofbalans mist.
Afgezien van de vraag of de stikstofverliezen een belasting zijn voor het milieu kunnen ze een achteruitgang van de bemestende waarde van compost betekenen vergeleken met drijfmest. Om daarover zekerheid te krijgen zullen ze vergeleken moeten worden met de stikstofverliezen in drijfmest als gevolg van ammoniak- en lachgasemissie tijdens opslag en tijdens en na aanwending.

De vorming van methaan gebeurt onder anaërobe omstandigheden. Hierdoor ontstaat een dilemma tijdens de beginfase van de compostering. Aan de ene kant is het om methaanvorming te voorkomen nodig te hoop te beluchten. Aan de andere kant stijgt juist daardoor de ammoniakemissie. Overigens wordt wanneer in de beginfase weinig wordt belucht wel methaan gevormd maar zal die niet direct emitteren juist vanwege het lage beluchtingsdebiet (Hamelers, 1998). Ook kan methaan door bacteriën gereduceerd worden tot water en CO_2.

2.4.2 Geuremissies

Naast de in paragraaf 2.4.1 genoemde stoffen kunnen ook andere (geur)stoffen vrij komen tijdens het composteren. Net als de emissie van ammoniak, lachgas en methaan is dat het gevolg van een niet optimaal verlopend composteringsproces. Het gaat hier dan om vluchtige vetzuren die een product zijn van omzettingen onder zuurstofloze omstandigheden (zie Tabel 4). De mate waarin zuurstof beschikbaar is dus bepalend voor de geuremissies tijdens composteren. Daarmee kunnen de geuremissies net als de ammoniakemissie teruggedrongen worden door te zorgen voor een goede zuurstofbeschikbaarheid. In praktijkproeven door Hedel (1999) vonden ook meting van geuremissie plaats. In oriënterende metingen werden twee mestsoorten (kalvergier en stromest afkomstig van een varkenshouder) gecomposteerd samen met groenafval en verschillende hoeveelheden bermgras. De geurstofbepaling gebeurt met een panel van proefpersonen en afnemende verdunningen. Het verdunningsvoud (verdund volume gedeeld door oorspronkelijk volume) is een maat voor de geurconcentratie aangegeven in geureenheden (Hedel, 1999). Geconcludeerd wordt dat er geen ontoelaatbare geuremissies optreden bij gecombineerde compostering van stromest en groenafval.

2.4.3 Emissies in het percolaat

De hoeveelheid lekvocht is afhankelijk van het vochtgehalte van het uitgangsmateriaal, de neerslag die op composthoop terecht komt en het verloop van het composteringsproces. In het eventueel uittredende lekvocht kunnen verschillende stoffen aanwezig zijn waaronder: NO_2, NO_3NH_3. Wanneer vaste deeltjes uit de hoop uitspoelen kan in het lekvocht ook organische stof met daaraan gebonden stikstof of fosfaat gevonden worden. Over hoeveelheid en samenstelling van lekvocht, percolaat, wordt weinig gerapporteerd. Mogelijk komt dit doordat veel literatuurbronnen die gebruikt zijn niet in de open lucht composteren maar in reactoren waarbij de vochthuishouding nauwkeurig gestuurd kan worden.
Van Wijk (1983) maakt bij proeven met het composteren van wegbermgras in de open lucht melding van percolaat. Een gedeelte van het lekvocht werd tijdens de compostering weer over de hoop gesproeid. De uiteindelijk afgevoerde hoeveelheid was afhankelijk van het vochtgehalte van het uitgangsmateriaal en de hoeveelheid neerstal tijdens het composteren en liep uiteen van 109 tot 402 liter per ton droge stof. Onduidelijk is of ook rekening is gehouden met het water dat ontstaat door de afbraak van organische stof.
Over de samenstelling van het percolatiewater wordt slechts vermeld dat het in grote lijnen overeen kwam met kalvergier en per kg 1 mg lood en 0,02 mg cadmium bevatte.
Bij proeven met het composteren van groenafval en mest blijkt compostering gebrekkig te verlopen voor overvloedige regenval (Smit, 1999).
Bij een aantal composteringsexperimenten met berm-, sloot- en plantsoenafval wordt melding gemaakt van percolaat (Boersema, 1987). De hoeveelheid en de aard van het percolaat zijn onder andere afhankelijk van het uitgangsmateriaal. Bij normale neerslag komt uit hopen berm- en slootmateriaal nauwelijks percolaat vrij. In enkele gevallen bevat het percolaat grote hoeveelheden stikstof maar kan dat weer teruggevoerd worden op de hoop.
Uit bovenstaande ervaringen kan de conclusie getrokken worden dan het er bij een goed verlopend composteringsproces geen lekvocht hoeft op te treden. Het is daarom aan te bevelen de compost af te dekken om het verloop van het composteringsproces niet afhankelijk te maken van de neerslaghoeveelheden. Afdekking kan met plastic, compostdoek of door het aanbrengen van een afdak. Deze laatste optie is duurder maar heeft

voorkeur boven compostdoek en plastic. Door de hoop af te dekken met plastic is gasuitwisseling niet meer mogelijk. Bij compostdoek blijft gasuitwisseling mogelijk maar wordt wel gehinderd. Vooral bij passief beluchte hopen kan dit het proces verstoren. Afdekken met plastic of compostdoek heeft verder als nadeel dat het omzetten van de hoop lastiger is.

2.4.4 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven

Belangrijkste factor in het ontstaan van stikstof- of geuremissies is de beschikbaarheid van zuurstof. Wanneer voldoende zuurstof in de hoop door kan dringen kunnen de emissies beperkt blijven. Voldoende zuurstofdoordringing is afhankelijk van porositeit, deeltjesgrootte en vochtgehalte. Het uitgangsmateriaal moet voldoende structuur hebben om een luchtig geheel te kunnen vormen met de drijfmest. Ook gedurende het composteringsproces moet de structuur behouden blijven. Door het materiaal om te zetten kan de structuur tijdelijk hersteld worden en daarmee emissies voorkomen. Beter is echter een materiaal te kiezen dat gedurende het hele proces structuurbehoud toont aangezien ammoniakemissies een piek vertonen na het omzetten van de composthoop.
Om emissie te voorkomen is een extensieve manier van composteren daarom aan te bevelen. Op basis van proeven met strorijke varkensmest (Hamelers, 1998) lijkt het mogelijk, wanneer met zorg de uitgangsmaterialen en de mengverhouding gekozen worden, om op praktijkbedrijven runderdrijfmest te composteren zonder de uitstoot van grote hoeveelheden milieubelastende stoffen.

2.5 Landbouwkundige gebruik en daaraan verbonden milieurisico's

De landbouwkundige waarde van een compost wordt enerzijds bepaald door de behoefte op het bedrijf, anderzijds door de kwaliteit en samenstelling van het product. Deze studie is primair gericht op het gebruik van compost om het organisch-stofgehalte op grasland en voedergewassen te verhogen en om de stikstof- fosfaat- en kaliwerking van compost te kwantificeren, zowel op korte als lange termijn. In deze paragraaf wordt het landbouwkundige gebruik van compost en de mogelijke milieurisico's die hieruit kunnen voortvloeien besproken.

2.5.1 Landbouwkundig gebruik

Wellicht de meest bekende rol die compost speelt in de landbouw is die van leverancier van organische stof. Deze toepassing is met name van belang op de zandgronden, maar ook voor andere grondsoorten kan compost een bijdrage leveren aan het organische stofgehalte. In feite is de rol van compost drieërlei:

- Chemische rol als meststof. Compost bevat nutriënten (N, P en K en sporenelementen) die gedeeltelijk in het jaar van toediening en gedeeltelijk op langere termijn beschikbaar komen.
- Fysische rol als bodemverbeteraar. Door de toename van het organisch-stof- en humusgehalte en verhoging van de stabiliteit van kluiten, verbetert compost de bodemstructuur. Dit heeft positieve effecten op onder andere het vochthoudend vermogen, de doorwortelbaarheid, de luchtdoorlatendheid en het vermogen om meststoffen te bufferen en vermindert de kans op winderosie.
- Biologische rol als substraat voor het bodemleven. Dit heeft effect op de ziektewerendheid van compost, de kwaliteit van het gewas, de wijze waarom voedingsstoffen vrijkomen, de ontwikkeling van het wortelstelsel en de bodemstructuur. Bij ziektewerendheid kan er sprake zijn van een algemene of een specifieke ziektewerendheid. Bij laatstgenoemde speelt de interactie tussen de composterende en de pathogene organismen in de bodem (voedselconcurrentie, parasitisme, antagonisme) een belangrijke rol (Steinbuch en Bokhorst, 1999b).

De veronderstelde positieve aspecten van compost zijn voldoende aanleiding om een vergelijking te maken van de gebruiksmogelijkheden van compost en drijfmest bij toepassing in de melkveehouderij op zandgrond. Reden voor het gebruik van compost in plaats van dierlijke mest is, naast de toediening van stikstof, fosfaat en kali, het verstrekken van voldoende organische stof. Hierbij moet opgemerkt worden dat de kwaliteit van de organische stof in belangrijke mate bepalend is voor de mate waarin de chemische, fysische en biologische effecten optreden. In het algemeen geldt dat, gegeven een bepaalde stabiliteit van de organische stof, de bijdrage van stikstofrijke, jonge, compost vooral bestaat uit activering van het bodemleven en de leverantie van voedingsstoffen terwijl stikstofarme (oude) compost vooral bijdraagt aan de humusopbouw. Dit hoeft echter niet op te gaan wanneer nog niet gerijpte compost wordt uitgereden op het land. Het is waarschijnlijk dat zich tijdens

de afrijpingsfase veranderingen voordoen in de chemische samenstelling van het product waarover nog zeer weinig bekend is.
Kwantificering van de effecten van organische-stofverhoging in de bodem is slechts beperkt mogelijk. Een inschatting van de opbouw van organische stof en de mineralisatie van stikstof kan onder andere worden gemaakt met de rekenregels van Janssen (1983), die zijn vastgelegd in diverse computermodellen. Voor de fysische en biologische effecten zijn geen rekenregels beschikbaar; ook ontbreekt een adviesbasis om gericht op deze effecten te bemesten. Daarom beperken we ons bij de inpassing van compost in bemestingsplannen noodgedwongen tot de aanvoer van organische stof, stikstof en fosfaat en worden de lange termijneffecten van de toediening van compost op mineralenleverantie en de biologische effecten van het gebruik van compost buiten beschouwing gelaten.

Op melkveehouderijbedrijven wordt doorgaans alle aanwezige drijfmest gebruikt voor de fosfaatvoorziening van de gewassen. Voor de stikstofvoorziening wordt aanvullende gebruik gemaakt van kunstmest (KAS). Bij een goede compostering verandert de absolute hoeveelheid fosfaat, aanwezig in de drijfmest niet. Door de toename van het droge stofgehalte tijdens de compostering neemt het fosfaatgehalte per kg product wel toe. Het gehalte aan werkzame stikstof neemt daarentegen af door verliezen in de vorm van ammoniak en andere stikstofverbindingen en door vastlegging van stikstof in de organische stof. De keuze om compost uit eigen drijfmest te gaan produceren heeft dus gevolgen voor de wijze waarop in de stikstofbehoeften van de gewassen kan worden voorzien. Dit hangt mede af van het soort en de hoeveelheid organisch materiaal dat gebruikt wordt voor compostering (zie hoofdstuk 3). Om een indruk te krijgen van de mogelijkheden om met compost het organisch-stofgehalte van de bodem te verhogen wordt in het vervolg van deze paragraaf een voorbeeldberekening uitgevoerd.

Voorbeeldberekening
Het gebruik van de compost wordt geïllustreerd aan de hand van een rekenvoorbeeld voor een melkveehouderijbedrijf op zandgrond. Het voorbeeldbedrijf heeft 16,7 ha gras en 11,5 ha maïs, met een humusgehalte van 5,1%. Kenmerkend voor het bedrijf is verder een drijfmestproductie van 2000 m^3 en een gemiddelde jaargift aan stikstofkunstmest van 89 kg/ha. In de uitgangssituatie vindt geen compostering plaats en wordt alle runderdrijfmest (rdm) benut voor de fosfaatvoorziening van gras- en maïsland. In de variant wordt alle drijfmest omgezet in compost. Hierbij wordt 30% beheersgras op gewichtbasis toegevoegd. De analyse spitst zich toe op de effecten op de organischestofvoorziening en op de aankoop van stikstofkunstmest.

Organische stof
Met het model Janssen (1983) zijn berekeningen gemaakt van de afbraak van organische stof in de bodem en van het netto effect van eenmalige en jaarlijkse toediening van drijfmest en compost. Hierbij is voor de bodem gerekend met een bouwvoor van 20 cm, uitgaande van vruchtwisseling binnen het bedrijf (gras- en maïsland). De afbraak van organische stof door scheuren van grasland is niet meegenomen in de berekening. In de berekeningen is uitgegaan van een organisch-stofpercentage van 5,1% en een soortelijk gewicht van de bodem van 1054 kg/m^3. Gehanteerde werkingscoëfficiënten voor N in dierlijke mest en compost zijn respectievelijk 45% en 27% (Schil, 2001). De oorspronkelijke hoeveelheid organische stof in de bouwvoor per hectare is te berekenen via:
10.000 m^2 * 0,20 m * 1054 kg/m^3 * 51 g o.s./kg grond.
De resultaten van deze berekeningen staan in Tabel 10. In de basissituatie is het verloop van het organische stofgehalte in de bodem zonder toevoegingen berekend. In de overige kolommen is het verschil in organische stofgehalte ten opzicht van deze basissituatie weergegeven.

Tabel 10 Verandering van het organisch-stofgehalte in de bouwvoor (20 cm) voor verschillende situaties ten opzichte van een situatie zonder aanvoer drijfmest of compost basissituatie [kg o.s./ha]

Jaren	Basissituatie	Toediening RDM		Toediening compost van RDM en beheersgras	
		Eenmalig	Jaarlijks	Eenmalig	Jaarlijks
1	107508	+2344	+2344	+4425	+4425
10	92970	+581	+15053	+1763	+32003
20	84391	+420	+19809	+1334	+46866

Uitgaande van de bedrijfsgegevens en de gegevens in Tabel 9 en Tabel 10 worden de volgende waarnemingen gedaan:
- De afbraak van organische stof in de bodem over een periode van 20 jaar bedraagt 23117 kg.

- De aanvoer van organische stof via eenmalige toediening van rdm of compost heeft, zoals verwacht, nauwelijks enig effect op het organisch-stofgehalte.
- Een jaarlijkse toediening van rdm gedurende een periode van 20 jaar is niet genoeg om de afbraak van organische stof in de bouwvoor te compenseren.
- Jaarlijkse toediening van compost leidt na een periode van 20 jaar tot een netto aanvoer van organische stof van 46866 – 23164 = 23702 kg organische stof. Bij een bouwvoor van 20 cm met een oorspronkelijk organisch-stofgehalte van 5,1% betekent dit een verhoging van het organischestofgehalte met ca. 1,1%.

Fosfaat en stikstof
Bij toediening van drijfmest in de uitgangssituatie is de aanvoer van fosfaat en stikstof:
- P-aanvoer = 71 ton/ha * 1,4 kg P_2O_5/ton * 100 % = 99,4 kg P_2O_5 /ha
- N-aanvoer = 71 ton/ha * 3,9 kg N_{tot}/ton * 45 % + 89 kg N/ha = 124 kg N/ha +89 kg N/ha = 213 kg N /ha

Bij toediening van compost treden in de mineralenaanvoer de volgende veranderingen op:
- P-aanvoer: het P-gehalte van compost zal hoger liggen dan dat in runderdrijfmest vanwege het indikkingseffect tijdens compostering maar de totale hoeveelheid blijft gelijk. Wel wordt er via het beheersgras enige extra fosfaat aangevoerd ongeveer 0,1 kg/ha.
- N-aanvoer op korte termijn: het N-gehalte van compost is hoger dan dat in drijfmest, doordat er voor de compostering 21,3 ton/ha beheersgras is aangevoerd. De grotere stikstofverliezen tijdens het composteringsproces doen die toename echter vrijwel teniet. Als we aannemen dat 20% van de stikstof uit drijfmest tijdens de compostering verloren gaat, en de stikstofwerkingscoëfficiënt 27% is, dan ziet de aanvoer van stikstof bij de toepassing van compost er als volgt uit:
  N-aanvoer RDM: 71 ton/ha * 3,9 kg N_{tot}/ton = 277 kg N/ha
  N-aanvoer beheersgras: 21,3 ton/ha * 78% d.s. * 19 kg N/ton d.s. = 316 kg N/ha
  (593 kg N/ha– 20%) * 27% = 128 kg N/ha
  Besparing op kunstmest aankoop is: 128 – 124 = 4 kg N/ha. Dit betekent voor het bedrijf op jaarbasis een besparing van 28 ha * 4 kg/ha = 112 kg stikstofkunstmest.
- N-aanvoer op lange termijn: de N die niet binnen een jaar na toediening van de compost beschikbaar komt, maakt deel uit van de bodemvoorraad. Jaarlijkse toediening van compost doet de hoeveelheid N die in de bodemvoorraad aanwezig aanzienlijk toenemen. Uitgaande van een Goede Landbouw Praktijk (GLP) verdient het aanbeveling om rekening te houden met de N die op middellange termijn (20 jaar) beschikbaar komt. Concrete cijfers voor compost van RDM ontbreken vooralsnog. Voor GFT-compost en een gemiddelde groencompost heeft NMI berekeningen gemaakt van de mineralisatiesnelheid bij jaarlijks herhaalde toediening. De uitkomsten laten zien dat de ontwikkeling van de mineralisatiesnelheid van beide compostsoorten een zelfde patroon vertoont, met na 20 jaar stikstof mineralisatienivaus van respectievelijk 60 en 35 kg N/ha/jaar.

Vergelijking van de uitkomsten van de voorbeeldberekening met praktijkuitkomsten
Uit de praktijk komen positieve geluiden over het gebruik van compost. Voorbeelden hiervan zijn een verdubbeling, in slechts enkele jaren tijd, van het organisch-stofgehalte op grasland op een zandgrond in Brabant, en een significante verhoging van het organisch-stofgehalte op een grasklaverweide op het proefbedrijf Aver Heino. Deze uitkomsten zijn niet in overeenstemming met die van de berekeningen. Mogelijke oorzaken voor verschillen tussen berekening en praktijk zijn:
- Tekortkomingen in het NMI-rekenmodel
- Tekortkomingen in de monstername en de chemische analyses van compost en grond
- Grote mate van variatie ten gevolge van heterogeniteit in de bodem
- Effect van het scheuren van grasland.

2.5.2 Milieurisico's bij landbouwkundig gebruik

De toediening van compost aan landbouwgrond kan leiden tot ongewenste neveneffecten. Deze kunnen veroorzaakt worden door de kwaliteit van de compost, de toedieningswijze, de omstandigheden na toediening of door een combinatie van deze factoren. Te denken valt aan de volgende milieueffecten:
- Uitspoeling van nitraat. Dit kan optreden als de stikstof uit compost niet kan worden opgenomen door een gewas. Uit berekeningen van het NMI, gemaakt voor GFT-compost, blijkt dat bij toediening van compost aan gronden in de winterperiode de belasting van grond- en oppervlaktewater met N en P beperkt is. In tegenstelling tot drijfmest zijn er dan ook geen bezwaren tegen najaarstoediening van compost;

- Zware metalen. Aanvoer kan plaatsvinden met de groenrestproducten. Tijdens het composteringsproces binden de zware metalen vooral aan de fijnere klei- en organische stofdeeltjes. In de grond worden zware metalen geadsorbeerd aan het klei-humuscomplex. Dit leidt niet direct tot negatieve effecten. Deze zijn eerst te verwachten wanneer pH en redoxpotentiaal omlaag gaan (door bijvoorbeeld overstroming), of wanneer de buffercapaciteit van de grond is verzadigd en 'doorslag' naar het grondwater optreedt. Naar verwachting neemt, in het algemeen, de aanvoer toe volgens de reeks: stro < bermgras < snoeiafval < GFT-afval, maar uiteraard kan dit per zwaar metaal verschillen. Omdat runderdrijfmest van zichzelf ook zware metalen bevat, is de aanvoer van groenrestproducten bij de gebruikte hoeveelheden overigens naar verhouding gering.
- Ziekteverwekkers en onkruidzaden. Tijdens de compostering kunnen de meeste onkruidzaden en ziektekiemen onschadelijk worden gemaakt (zie paragraaf 2.3.2.). Een toename van de onkruiddruk of insleep van ziektekiemen is vooral te verwachten wanneer materiaal van buiten het bedrijf wordt aangevoerd. Maar ook wanneer geen materiaal van buiten het bedrijf wordt aangevoerd kan de zaadbank door kieming en zaadzetting vergroot worden. Compost is dan in het voordeel in vergelijking met runderdrijfmest omdat zaden tijdens voederwinning en -conservering onvoldoende afsterven en (via het ruwvoer) in de mest te recht komen.
- Organische zuren. Hierdoor kan kiemremming van gewaszaden ontstaan. Te hoge gehalten van deze zuren in de compost kunnen worden voorkomen door een goede beluchting tijdens de compostering.

2.5.3 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven

Wanneer melkveehouders besluiten om drijfmest te gaan composteren zal de meerwaarde ten opzichte van drijfmest vooral liggen in een lagere variatie in de samenstelling en werking van het product. Met compost is in principe een verbeterde afstemming tussen de mestsamenstelling en de behoefte aan nutriënten en organische stof op bedrijfsniveau mogelijk. Door gebruik van compost uit drijfmest en organische materialen wordt meer organische stof toegevoegd dan wanneer alleen runderdrijfmest wordt gegeven. Bovendien is de organische stof in compost stabieler dan die in onbewerkte mest. De verhoging van het organische stofgehalte in de bodem als gevolg van et gebruik van compost is volgens berekeningen beperkt. De waargenomen stijging is moeilijk te onderscheiden van een stijging als gevolg van vruchtwisseling (b.v. scheuren van grasland). Welke gevolgen het gebruik van compost heeft op de aankoop van stikstofkunstmest hangt erg af van het gebruikte organische materiaal en de hoeveelheid die daarvan wordt aangevoerd. Op middellange termijn (20 jaar) zal het door een verhoogd stikstofleverend vermogen van de bodem waarschijnlijk niet nodig zijn extra stikstof in de vorm van kunstmest aan te voeren.
Voordelen van het gebruik van compost van eigen runderdrijfmest met het oog op milieueffecten zijn de lagere nitraatuitspoeling en de kiemdoding van onkruidzaden. Op lange termijn zijn mogelijk negatieve effecten van het gebruik van compost de aanvoer van zware metalen via groenrestproducten.

2.6 Beleidsaspecten

2.6.1 Wet- en regelgeving landbouwkundige en milieukundige aspecten

De productie van compost uit eigen runderdrijfmest en het gebruik daarvan op het eigen bedrijf is gebonden aan wet- en regelgeving. Tabel 11 geeft daarvan een overzicht.
Voor Minas moet de stikstof en fosfaat die met organische reststoffen uit agrarische bron (stro) wordt aangevoerd worden vermeld op de balans . Voor mineralen uit niet-agrarische bron (bermgras, snoeiafval) hoeft dit bij de huidige regelgeving (anno 2001) niet.
Het proces van composteren is opgenomen in de Vrijstellingsregeling Mestbewerking en -verwerking van het ministerie van LNV. Kern van deze regeling is dat de stikstofverliezen die optreden tijdens de compostering, en die niet hoofdzakelijk uit ammoniak bestaan, niet behoeven te worden opgegeven voor Minas. Voorwaarde is wel dat de composteerinrichting aan enkele eisen voldoet (o.a. gesloten inrichting) en dat de veehouder gebruik maakt van verfijnde Minasaangifte. In de Richtlijn Mestverwerkingsinstallaties van het ministerie van VROM is een toetsingskader ontwikkeld voor de vergunningverlening in het kader van de Wet Milieubeheer voor onder andere installaties op boerderijniveau. Hierin wordt gesteld dat, vanwege het ontbreken van emissiegegevens, het toetsingskader als groeimodel moet worden gezien. De richtlijn maakt onder andere onderscheid tussen mestverwerking en afvalstoffenverwerking. Nagenoeg alle organische reststromen zoals die uit de industrie en de huishoudens en de onbewerkte plantaardige reststromen worden beschouwd als afvalstof. Bijgevolg wordt mestverwerking met toevoeging van organische reststromen beschouwd als afvalstoffenverwerking in de zin van

het Inrichtingen- en vergunningenbesluit Wet Milieubeheer. Zijn de afvalstoffen van buiten het bedrijf afkomstig, dan is Gedeputeerde Staten het bevoegd gezag; komen ze van het bedrijf zelf, dan berust het gezag bij de gemeente.

Tabel 11 Relevante eisen uit de wet- en regelgeving voor de productie en het gebruik van compost

Compost	Wet- en regelgeving
Productie	• Minas - N, P-aanvoer van organische reststromen • Vrijstellingsregeling mestbewerking en –verwerking - Gesloten composteerinrichting - Verfijnde Minasaangifte verplicht • Wet Milieubeheer - Vloeistofdichte plaat - Geuremissies: normen - Ammoniakemissies: normen • Richtlijn Mestverwerkingsinstallaties - Geuremissies: normen - Ammoniakemissies: normen - Indirecte lozingen: kwaliteitseisen gekoppeld aan een beoordeling per installatie - Ruimtelijke ordening: geen andere beperkingen dan die van de Wet Ruimtelijke Ordening • Leidraad Mest - Verwerking in gesloten systemen - Proceslucht reinigen - Afgevangen ammoniak retourneren
Gebruik	• BOOM - Normen voor de droge-stofaanvoer - Normen aanvoer van zware metalen of: • BGDM '98 - Uitrijregels

De aard van de organische reststromen kan dus een belangrijke rol spelen bij de vergunningverlening. Uit de richtlijn valt niet op te maken of stro als een onbewerkte plantaardige reststroom, en dus als afvalstof, moet worden beschouwd. Onbewerkte stengels zijn dit wel. Wanneer het drogen en persen van stengels wordt opgevat als een bewerking, is stro echter geen afvalstof. Het bevoegd gezag inzake de vergunningverlening berust dan bij de gemeente.
Voor geur- en ammoniakemissie is de normstelling (op basis van het ALARA[1]-beginsel):

- Geuremissies: de som van de emissies van mestverwerking en de emissies uit de stallen moet voor wat betreft de afstand tot stankgevoelige objecten voldoen aan de richtlijn Veehouderij en stankhinder 1996;
- Ammoniakemissies: binnen zones rondom kwetsbare gebieden mag geen toename ontstaan; max. emissie is 5% van de NH3-emissie uit de bij de boerderij behorende dierenbedrijven, gebaseerd op de drempelwaarden van Groen Label stallen.

Over de geur- en ammoniakemissies die vrijkomen bij de compostering van runderdrijfmest met organische reststromen, al dan niet onder toevoeging van FIR, zijn geen bruikbare gegevens bekend. Daarom is toetsing hiervan aan de normen uit de Richtlijn op dit moment nog niet mogelijk.
In de provincie Brabant is de Leidraad Mest van kracht, opgesteld door het Bestuurlijk Platvorm Mest Noord-Brabant. Alle Brabantse gemeenten en waterschappen hanteren de leidraad bij het nemen van concrete beslissingen over de vergunningverlening betreffende mestverwerkingsinitiatieven. Uitgangspunt van deze leidraad is dat binnen een duurzame landbouw het gebruik van kunstmest en van onbewerkte mest niet past. Doel van de leidraad is om het gebruik van kunstmest en onbewerkte dierlijke mest terug te dringen ten gunste van bewerkte dierlijke meststoffen. Mestbewerking kan hierbij een belangrijke rol spelen, waarbij vergistings- en composteringsprocédés als meest belovende technieken worden gezien. De Leidraad omvat onder andere ecologische, economische en sociaal organisatorische criteria voor het beoordelen van

[1] ALARA = As low as reasonable achievable

mestbewerkingstechnieken. De criteria die concrete informatie geven over de inrichting van de composteerinstallatie zijn opgenomen in de tabel. Andere criteria zijn òf niet meetbaar gemaakt, òf zijn in dit geval niet van toepassing omdat ze betrekking hebben op de afzet van de eindproducten. Uit de informatie blijkt dat de belangrijkste eis die de Leidraad aan compostering stelt gesteld de technische uitvoering van de installatie betreft.

Voor het gebruik van compost en drijfmest gelden regels van BOOM en BGDM 1998. Het BGDM is van toepassing op meststoffen die geheel of gedeeltelijk bestaan uit dierlijke uitwerpselen. Echter, volgens artikel 9 van het besluit is het besluit niet van toepassing op het gebruik van mengsels van dierlijke meststoffen met bijvoorbeeld compost. Hierop is namelijk het BOOM van toepassing. In BOOM is geregeld dat compost en ook mengsels van compost en dierlijke meststoffen (<50%) moeten voldoen aan bepaalde eisen voor zware metalen. In BOOM wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten compost, namelijk 'compost' en 'zeer schone compost'. Welke wetgeving in de praktijk op een product van toepassing is, wordt bepaald door de mengselverhouding; bij meer dan 50% mest valt het product onder BGDM 1998. Een richtlijn of de 50% op gewichts- of op volumebasis moet worden beoordeeld, ontbreekt.
In de voorbeeldberekening in het voorgaande hoofdstuk is uitgegaan van compost die is gemaakt van drijfmest met 30 massa-% toevoeging van beheersgras. Hoe de verhouding ligt in het eindproduct is niet bekend, en het is dan ook niet helder of het product onder BGDM 1998 of onder BOOM valt.
De perspectieven die aan het gebruik van compost kunnen worden toegekend zijn hiervan afhankelijk. Tabel 12 geeft een overzicht van de regelgeving betreffende het gebruik van drijfmest en compost en Tabel 13 van de kwaliteitseisen voor zware metalen en arseen.

Tabel 12 Overzicht van de eisen gesteld aan gebruik en kwaliteit van compost en drijfmest

Regelgeving	Drijfmest	Compost
BGDM 1998	• uitrijverbod 1 sep. – 1 feb. (bouwland) en 15 sep.-1 feb. (grasland) • emissie arme aanwendingsmethode verplicht	
BOOM	• uitrijverbod bevroren of met sneeuw bedekte grond	• max. aanvoer van compost, type 'compost': - bouwland: 6 ton ds/ha/jr, of tweejaarlijks 12 ton ds/ha - grasland: 3 ton ds/ha/jr of tweejaarlijks 6 ton ds/ha • samenstellingseisen: - organische stof: min. 20% van de ds - maximale gehalten aan zware metalen en arseen

Uit de tabel blijkt dat de gebruiksregels voor compost ruimer zijn dan die voor dierlijke mest.
Uit de gegevens van de voorbeeldberekening blijkt dat, wanneer gedurende 20 jaar 2000 m^3 drijfmest zou worden omgezet in compost, dit overeenkomt met een aanvoer van 8 ton d.s. uit compost per ha, wat zou leiden tot een verhoging van het organische stofpercentage van 5,1 naar 6,2%. Uit Tabel 13 blijkt dat deze aanvoer zowel voor gras- als voor bouwland de maximale toegestane aanvoer volgens BOOM, van compost van het type 'schone compost' zou overstijgen.

Tabel 13 Samenstellingseisen compost volgens BOOM

	Schone compost [mg/kg ds]	Zeer schone compost [mg/kg ds]
Cadmium (Cd)	1	0,7
Chroom (Cr)	50	50
Koper (Cu)	60	25
Kwik (Hg)	0,3	0,2
Nikkel (Ni)	20	10
Lood (Pb)	100	65
Zink (Zn)	200	75
Arseen (As)	15	5

De schattingen van de gehalten aan zware metalen in paragraaf 2.3.3 zijn gebruikt voor een toetsing van compost van runderdrijfmest aan de kwaliteitseisen van BOOM. Vergelijking van de gehalten laat zien dat het nikkelgehalte van deze compost hoger is dan de kwaliteitseis voor compost volgens BOOM. Als bij de schattingen van de gehalten aan zware metalen van compost van runderdrijfmest in paragraaf 2.3.3 wordt uitgegaan van de maximale gehalten in drijfmest, dan geldt dit ook voor het chroomgehalte. Voor de koper en zinkgehalten in compost van runderdrijfmest zijn overigens geen cijfers bekend; problemen zijn, juist met deze twee metalen, niet uitgesloten.

2.6.2 Gebruik van groenrestproducten

Het gebruik van groenrestproducten als toevoeging bij de compostering van runderdrijfmest kent voor- en nadelen. Deze hebben te maken met de beschikbaarheid en het imago van de restproducten, en met de kosten die het gebruik ervan met zich mee brengt. In Tabel 14 zijn de belangrijkste naast elkaar gezet.

Tabel 14 Voor- en nadelen van het gebruik van organische restproducten bij compostering

Gebruik organische restproducten	Positief	Negatief
Beschikbaarheid		Bermgras: productie niet constant; verplichte afvoer naar groencomposteerder in sommige provincies schaaleffect: als meer melkveehouders gaan composteren neemt de beschikbaarheid af.
Imago	hergebruik restproducten	niet-agrarische restproducten: kunnen verontreinigingen bevatten GFT-afval: risico op ziekten
Kwaliteit	stro, hooi: geen risico's	Bermgras: glas, blik, zware metalen?
Financieel	afname is gratis of levert premie op	Mogelijke concurrentie met verbranding t.b.v. energieproductie

De organische reststromen in Nederland zijn divers van aard. Ze kunnen in grote hoeveelheden beschikbaar komen. Sommige reststromen krijgen reeds een bestemming die financieel voordeel oplevert. De contracteerbaarheid van deze reststromen voor andere bestemmingen is dan lager. In Tabel 15 staat een overzicht van de potentieel beschikbare reststromen, zoals die zijn vastgesteld voor de energieproductie en van hun contracteerbaarheid.

Tabel 15 Huidige en verwachtte beschikbaarheid van groenrestproducten

Groenrestproduct	Potentiële beschikbaarheid [kton ds/jaar]	Contracteerbaarheid
stro	772	Laag
hooi	117	Hoog
bermgras	187	Hoog

Bron: Van den Heuvel & Gigler, 1998.

Aangenomen wordt dat voor compostering gebruik kan worden gemaakt van dezelfde bronnen en stromen als voor energieproductie, met dezelfde omvang qua beschikbaarheid en contracteerbaarheid van de reststromen. Uit Tabel 15 blijkt dat een aanzienlijk deel van de agrarische reststromen uit stro bestaat. De vraag is echter hoeveel hiervan contracteerbaar is, omdat stro ook voor diverse doeleinden wordt gebruikt (stallen, tuinbouw, bloembollenteelt, bodemverbeteraar). De feitelijke beschikbaarheid van stro wordt daarom laag ingeschat. Voor hooi en bermgras wordt de beschikbaarheid hoog ingeschat, omdat hiervoor bijna geen andere bestemmingen zijn (hooi) dan wel de verwerking als groencompostering en biobrandstof kostbaar zijn (bermgras). In de praktijk worden geluiden gehoord dat grondeigenaren met een beheersovereenkomst geen zinvolle bestemming hebben voor het beheersgras. De omvang van deze organische reststof is echter niet bekend.
De toevoeging van organische stof aan de runderdrijfmest, in de vorm van bermgras, GFT-afval en snoeiafval e.d., heeft als voordeel dat restproducten uit de maatschappij op zinvolle manier hergebruikt worden. Dit kan een positieve bijdrage leveren aan het imago van de landbouw die mogelijk ook financieel gunstig uitpakt.
Aan de toevoeging van groenrestproducten kleven echter ook enkele bezwaren wat betreft de beschikbaarheid en het imago van de producten. Er zijn weinig gegevens bekend over de beschikbaarheid van groenrestproducten in

Nederland en over de verwerking van de verschillende soorten. Duidelijk is dat zowel beschikbaarheid als verwerking per provincie verschilt. Bermgras wordt onder andere direct in de landbouw afgezet, als veevoeder en/of als bodemverbeteraar. Bermgras en snoeihout worden ook wel verbrand in de energiecentrales in Cuijk en Lelystad. Stro wordt vooral als bodemverbeteraar in de akkerbouw gebruikt. Van het agrarisch snoeiafval zijn geen productiecijfers bekend. Het succes van de erfbeplantingsacties heeft onder andere bij agrariërs tot de vraag geleid waar zij met hun snoeiafval naar toe moeten. Tabel 16 geeft de kosten per ton van enkele verwerkingsroutes aan.

Tabel 16 Kosten van verwerking van organische groenresten

Groenrest	Verwerkingsmethode	Kosten per ton	Bron
Bermgras	groencompostering	68-150	Spijker en de Boer, 1998
	veevoer	30	idem
	bodemverbeteraar	30	idem
Snoei- en	Verbranden	60 –77	Asscheman, 2001
dunningshout	vergassen	115	idem
	groencompostering	80	idem
		75 – 150	Spijker en de Boer, 1998

2.6.3 Implicaties bij toepassing op melkveebedrijven

Wanneer melkveehouders besluiten te composteren is het wettelijk kader bepalend voor hun mogelijkheden. De belangrijkste eisen die de huidige wet- en regelgeving stelt aan de productie van compost uit runderdrijfmest betreffen de technische uitvoering van de inrichting en maximale geur- en ammoniakemissies. Voor het gebruik van compost is niet duidelijk of het product valt onder BGDM 1998 of onder BOOM. Het belangrijkste knelpunt op grond van BGDM 1998 is het uitrijverbod; de knelpunten van BOOM zijn de aanvoernorm voor organische stof en de kwaliteitseisen voor zware metalen. Indien het product onder BOOM valt, verdient het aanbeveling om de gehalten aan zware metalen en arseen in compost van runderdrijfmest te bepalen. Dit is eens te meer belangrijk omdat er voor de compost, als die gekwalificeerd kan worden als 'zeer schone compost', geen aanvoernorm geldt.
Voor de aanvoer van organisch materiaal bestaan veel mogelijkheden. Uit imago-overwegingen en vanuit milieukundig oogpunt is het gewenst dat de organische reststof die bij het composteringsproces wordt gebruikt niet leidt tot aanvoer van verontreinigingen en insleep van ziekten. Dit betekent dat agrarische reststoffen en plantsoenafval meer in aanmerking komen dan bijvoorbeeld GFT-afval en bermgras. Gelet op de kosten zijn beheersgras en snoeiafval het meest aantrekkelijk. De verwerking hiervan via andere routes zijn voor deze groenrestproducten mogelijk een opstakel om voldoende materiaal beschikbaar te hebben.

2.7 Overzicht composteringsmethoden

In tabel 17 wordt een samenvattend overzicht gegeven van de verschillende composteringstechnieken en verschillende soorten organisch materiaal die samen met runderdrijfmest gecomposteerd kunnen worden. Daarbij worden de verschillende methoden en materialen zoals die besproken zijn in voorgaande paragrafen beoordeeld op een aantal criteria:

- Kwaliteit: de landbouwkundige waarde van het eindproduct;
- Ziektekiemen: de kans dat er zich ziektekiemen bevinden in het eindproduct;
- Zaden: de kans dat zich kiemkrachtige zaden bevinden in het eindproduct;
- Emissies: de kans op emissies van ammoniak, lachgas, methaan en geurstoffen;
- Beleid: de mogelijkheden die de wet- en regelgeving biedt om te composteren volgens deze methode of met behulp van organisch materiaal;
- Praktijk/kosten: de toepasbaarheid op een melkveebedrijf en de kosten die daaraan verbonden zijn.

Tabel 17 Schematisch overzicht gegeven van de verschillende composteringstechnieken

Proces of techniek		Kwaliteit	Ziektekiemen	Zaden	Emissies	Beleid	Praktijk/kosten
Reactor:	Bak	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-
	Sleufsilo	+	+	+	+	+/-	-
Non-reactor:	Ruggen	+	+	+	+	-	+
	Hoop	+/-	+/-	+/-	+/-	-	+
Intensief		+/-	+	+	-	+/-	+
Extensief		+	+/-	+/-	+	+	+
FIR toevoeging		+	+	+	+[1]	+/-	+/-
Bermgras		+	++	-	+/-	+/-	++[2]
Natuurgras		+	++	-	+/-	+/-	++[2]
Stro		+	++	+	+	+	- -
GFT		+	-	-	+	-	+/-[3]
Snoeiafval		+	+	-	+[4]	+	+/-[4]

++ : positief; + : voldoende; +/- : twijfelachtig; - : onvoldoende; - - : negatief

[1] Emissieverlaging door FIR toediening is nog niet aangetoond.
[2] Wanneer de vraag groter wordt kan ook bermgras schaars worden. Hetzelfde geldt voor natuurgras.
[3] Afgezien van de beschikbaarheid en ziekte insleep moet ook met imago rekening gehouden worden.
[4] Vanwege samenstelling van snoeiafval is extra organische materiaal dat sneller verteerbaar is nodig.

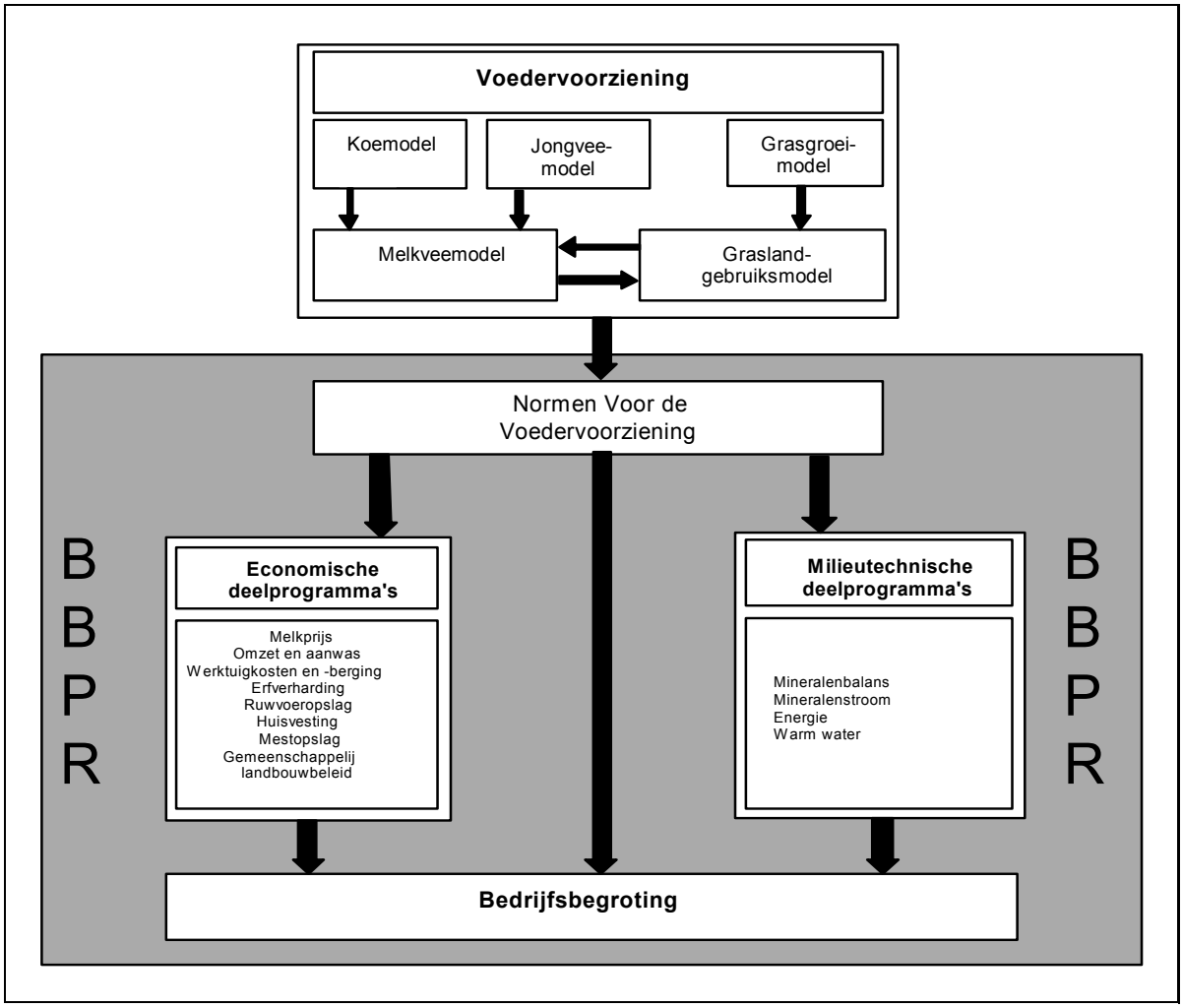
3 Berekeningen in bedrijfsverband

In hoofdstuk twee is een uitgebreid literatuuroverzicht gegeven van de verschillende facetten van het composteren. Deze verschillende facetten worden vervolgens in dit hoofdstuk door middel van modelberekeningen in bedrijfsverband geplaatst. Het doel van deze modelberekeningen is het beschrijven van de bedrijfseconomische en milieukundige perspectieven van compostering van drijfmest op melkveebedrijven.

3.1 Opzet BBPR

Voor de modelberekeningen wordt gebruik gemaakt van het Bedrijfsbegrotingsprogramma voor de Rundveehouderij (BBPR). Het BBPR is een deterministisch simulatiemodel dat ontwikkeld is door het Praktijkonderzoek Veehouderij (Van Alem en van Scheppingen, 1993; Mandersloot *et al.*, 1991; Schreuder *et al.*, 1995; Werkgroep normen voor de voedervoorziening, 1991). Aan de hand van de ingevoerde bedrijfsgegevens en rekening houdend met specifieke omstandigheden berekent BBPR technische, milieutechnische en bedrijfseconomische kengetallen. Uitgangspunt bij berekeningen is steeds de huidige advisering op onder meer het gebied van voeding en bemesting. Vergelijking van resultaten van een ingevoerde bedrijfsvoering met door BBPR berekende kengetallen, geeft inzicht in de rendabiliteit van het bedrijf en de doelmatigheid op technisch en milieutechnisch gebied. Door alternatieven door te rekenen is het mogelijk de gevolgen van een verandering in de bedrijfsvoering op de resultaten in te schatten. BBPR is opgebouwd uit verschillende modules. De opzet van BBPR is in Figuur 6 weergegeven.

Figuur 6 Overzicht van de opbouw van BBPR en de onderlinge samenhang met andere modellen



3.2 Bedrijfstypen

Als uitgangspunt voor de berekening van de gevolgen van compostering is een tweetal bedrijfstypen gekozen uit de bedrijfstypenindeling zoals die in boekjaar 1998/99 voorkwamen in het boekhoudnet van het LEI-DLO (www.lei.nl).
Voor deze bedrijfstypen is een inschatting is gemaakt van mogelijke ontwikkelingen en aanpassing aan de MINAS-wetgeving sinds het boekjaar 1998/99. De stikstofbemesting en de veebezetting zijn daarbij zodanig aangepast dat de verliesnormen voor stikstof en fosfaat, zoals die in 2003 gelden, gehaald worden. Er is voor bedrijfstypen gekozen die variëren in omvang, bodemsoort, intensiteit, bouwplan en beweidingsysteem. Grofweg betreft het de volgende twee bedrijfstypen:

- Een groot bedrijf op goed vochthoudende zandgrond, met 14.000 kg melk per ha en 20 % maïs (voeding of oppervlak). Het totale quotum is 650.000 kg bij een melkproductie per koe van 7.500 kg per jaar. Het vervangingspercentage van de veestapel is 30 % en de koeien weiden alleen overdag met 6 kg ds bijvoeding uit snijmaïs.
- Een bedrijf van gemiddelde omvang op droge zandgrond, 16.000 kg melk per ha en 25 % maïs. Het totale quotum is 400.000 kg bij een melkproductie per koe van 8.500 kg per jaar. Het vervangingspercentage van de veestapel is 25 % en de koeien weiden alleen overdag met 8 kg ds bijvoeding uit snijmaïs.

Naast deze twee bedrijfstypen zijn berekeningen uitgevoerd voor het bedrijf van veehouder Bouwmans, in Bakel (NB) waar al compostering van drijfmest wordt toegepast. Met de aangeleverde uitgangspunten is de situatie met toepassing van compostering doorgerekend. Daarnaast is, ter vergelijking, doorgerekend hoe het bedrijf met toepassing van louter drijfmest de bedrijfsvoering rondzet.

3.3 Uitgangspunten en variaties bij modelberekeningen

Binnen de bedrijfstypen is gekeken welke gevolgen compostering voor de bedrijfsvoering heeft. Zowel de bedrijfsuitrusting als ook de benutting van mineralen wijzigen door toepassen van compostering. Zoals uit paragraaf 2.4.1 blijkt kan een groot gedeelte van de stikstof tijdens composteren verloren gaan. In de modelberekeningen is uitgegaan van een verlies van 20%. Op basis van het verschil in stikstofwerking tussen runderdrijfmest waaraan FIR is toegevoegd en compost van deze mest (Schils, 2001), is ingeschat dat de werking van de toegediende stikstof in compost 38% lager is dan bij toepassing van drijfmest. Wel wordt door toepassing van compostering extra stikstofhoudend materiaal aangevoerd dat ook weer een bemestende waarde heeft.
Uit de literatuurstudie blijkt dat er verschillende technische mogelijkheden zijn om op een bedrijf te composteren. De volgende paragraaf beschrijft het proces waar we in deze studie voor de twee eerder genoemde bedrijfstypen mee rekenen.

Procesbeschrijving
Op basis van een extensieve compostering waarbij de compost eenmaal per week wordt omgezet, is uitgegaan van een 13 weken durende composteringsperiode. Er kunnen dus 4 maal per jaar nieuwe composthopen worden aangelegd (Hendriks, 1999). Het composteringsproces begint met aanbrengen van een rug stro of ander structuurrijk materiaal zoals beheergras op een vloeistofdichte betonplaat. Dit kan middels grote vierkante pakken (Verbruggen, persoonlijke mededeling) die zijn opgeslagen op een daarvoor ingerichte plek en afgedekt. Met een portaalmenger en een mesttank wordt de drijfmest uit de put met de pakken stro of ander structuurrijk materiaal vermengd zodat een trapeziumvormige rug ontstaat met een breedte van 3,5 meter aan de basis en 1 meter aan de top. De hoogte van de hoop is 1,5 meter. Voor de mengverhouding is als uitgangspunt genomen dat per eenheid drijfmest 38 gewichtsprocenten stro of 91 gewichtsprocenten beheersgras wordt genomen (zie literatuurstudie hoofdstuk 2). Na menging wordt de rug toegedekt met worteldoek, waarna het composteringsproces kan beginnen. Om de rug voldoende luchtig te houden en het composteringsproces te bespoedigen is er vanuit gegaan dat de rug iedere week wordt omgezet met de portaalmenger. Een speciaal bevestigde rol maakt het mogelijk het worteldoek iedere keer netjes op en af te rollen. De aanschaf van deze voorziening (ongeveer ƒ10.000) is meegenomen in de berekeningen. Na 13 weken is de compost door omzettingen van de organische stof en verdamping van vocht met ongeveer 40% in gewicht afgenomen. Het volume is met ongeveer 24% verminderd. De dichtheid is veranderd van zo'n 700 kg/m³ in het begin naar 550 kg/m³ aan het einde van het composteringsproces. In de betonplaat is een putje van 5 m³ aanwezig om het restvocht dat uit de hoop loopt op te vangen. Dit putje zak gemiddeld 1 maal per week worden geleegd. Dit vocht gaat terug naar de mestput.
Voor narijping van de compost is uitgegaan van een aparte betonplaat. Deze plaat is juist groot genoeg om compost van 1 ronde op te slaan. Uitgangspunt is dat een loonwerker met een shovel de compost van de

composteringsplaat naar de opslagplaat verplaatst. De compost wordt na rijping in loonwerk met een mestverspreider op het grasland toegediend.

Verandering van kosten bedrijfsinrichting ten opzichte van een systeem zonder composteren
Wanneer alle drijfmest wordt gecomposteerd komen de volgende veranderingen naar voren vergeleken met de situatie zonder composteren:

- minder drijfmestopslag nodig (voor maximaal 13 weken, de duur van 1 composteringsronde);
- opslag van stro of ander structuurrijk materiaal met afdekzeil;
- composteringsplaat met putje voor restvocht, afdekking door worteldoek (of dakconstructie);
- opslag gerijpte compost nodig afdekking van worteldoek (of dakconstructie);
- extra loonwerkkosten: overpompen van mest naar ruggen en uit perssapputje, overzetten van stro van opslag naar ruggen, gerijpte compost verplaatsen en uitrijden van de compost over het land;
- geen drijfmest meer uitrijden;
- extra arbeid voor het wekelijks omzetten van de ruggen en het op- en afrollen van het worteldoek;
- jaarkosten portaalmenger en extra trekkerkosten;
- extra aankoopkosten bij toepassen van stro (niet bij beheersgras).

Om een indruk te krijgen op welke punten de kosten van bedrijfsinrichting wijzigen door toepassing van compostering is in Tabel 18 een overzicht gegeven. In deze tabel zijn de extra kosten van composteren met beheersgras weergegeven op een bedrijf van gemiddelde grootte op droge zandgrond ten opzichte van toepassing van drijfmest. In dit voorbeeld wordt 950 m³ mest gecomposteerd. Hiervoor is 860 ton beheersgras nodig. De tabel geeft alleen gevolgen voor bedrijfsuitrusting weer, gevolgen voor verdere bedrijfsvoering als krachtvoer, ruwvoer en gewasopbrengst komen in de uitkomsten van modelberekeningen aan de orde.

Tabel 18 Wijzigingen in kosten voor bedrijfsinrichting door toepassing van beheersgras als toevoegmateriaal voor composteren van 950 m³ drijfmest op een bedrijf van gemiddelde grootte op droge zandgrond

Kostenpost	**Bedrag (ƒ)**
Aankoop beheersgras	0
Kosten opslag beheersgras	716
Kosten composteringsplaat	9.199
Kosten gerijpte compostopslag	2.016
Loonwerk overpompen mest	1.416
Loonwerk overzetten beheersgras	12.889
Loonwerk overbrengen gerijpte compost	621
Loonwerk legen perssapputje	390
Loonwerk compost uitrijden	8.657
Jaarkosten portaalmenger	7.639
Extra tractorkosten	1.354
Extra eigen arbeid compost omzetten	2.447
	47.344
AF:	
Lagere kosten drijfmestopslag	3.747
Kosten zodebemesten bij 100% drijfmest	7.577
	11.324
Extra kosten bedrijfsinrichting bij compostering:	36.020

Tabel 18 laat zien dat bij dit voorbeeld de extra kosten van bedrijfsuitrusting bij composteren uitkomen op bijna ƒ32.000. Een belangrijk deel van deze extra kosten zijn kosten voor opslag van beheersgras, compost en gerijpte compost (bijna ƒ12.000). De extra loonwerkkosten voor de diverse werkzaamheden bedragen bijna ƒ24.000. Wel hoeft bij composteren geen drijfmest meer worden uitgereden, dit bespaart weer ruim ƒ6.000. De extra kosten voor machines en werktuigen (trekker en portaalmenger) zijn ongeveer ƒ9.000 op jaarbasis. De eigen arbeid die extra nodig is om de compost te mengen brengt ook extra berekende kosten met zich mee: ongeveer ƒ2.450. Behalve dat de post drijfmest uitrijden vervalt, is ook minder opslagcapaciteit van drijfmest nodig. Minder drijfmest opslaan levert een besparing van de jaarkosten op van ruim ƒ9.200. Uitgangspunt bij de berekeningen is dat beheersgras gratis wordt aangevoerd en dat voor stro de normale marktprijs wordt betaald

(zie uitkomsten modelberekeningen). Meer gedetailleerde informatie over de uitgangspunten en van extra kosten voor bedrijfsuitrusting staan in Bijlage 1.

Berekende variaties op uitgangspunten
Per bedrijfstype is op twee punten gevarieerd ten opzicht van de uitgangspunten:
- Gebruikte toevoegmateriaal;
- Verwachte extra opbrengsten door gebruik compost.

Zoals eerder genoemd, wordt er gerekend met zowel stro als beheersgras als organisch dragermateriaal. Onduidelijk is nog of het gebruik van compost een gunstige werking heeft op de gewasopbrengsten en hoe groot deze extra opbrengsten zijn. Per dragermateriaal wordt daarom met drie niveaus van extra gewasopbrengsten gerekend:
- geen extra gewasopbrengsten;
- weinig extra gewasopbrengsten (3%);
- veel extra gewasopbrengsten (6%).

In Tabel 19 zijn de verschillende situaties grofweg aangegeven met de belangrijkste kenmerken.

Tabel 19 Door te rekenen bedrijfssituaties

Compost	Toevoegmateriaal		Extra vruchtbaarheid	Opp. Totaal [ha]	Opp. Gras [ha]	Opp. Maïs [ha]	Melkgift per koe [kg]	Quotum [ton]	Quotum per ha [kg]	Aantal koeien[2]	Beweiding	Bemesting [kg N/ha][3]	Vervanging [%]
	Soort	%[1]											
Groot melkveebedrijf op vochthoudende zandgrond													
Nee	-	-		46,4	37,1	9,3	7750	650	14	84	B+6	250	30
Ja	Stro	91	Geen (0%)										
Ja			Weinig (3%)										
Ja			Veel (6%)										
Ja	Beheersgras	38	Geen (0%)										
Ja			Weinig (3%)										
Ja			Veel (6%)										
Gemiddeld melkveebedrijf op droge zandgrond													
Nee	-	-		25,0	18,8	6,3	8500	400	16	47	B+8	200	25
Ja	Stro	91	Geen (0%)										
Ja			Weinig (3%)										
Ja			Veel (6%)										
Ja	Beheersgras	38	Geen (0%)										
Ja			Weinig (3%)										
Ja			Veel (6%)										
Situatie Bouwmans													
Nee	-	-	-	35,9	24,2	11,7	8100	580[1]	16,1[1]	67	B+7,4	288	33
Ja	Beheersgras	30	Geen (0%)										
Ja			Veel (6%)										

[1] Op basis van gewicht
[2] Afgeronde aantallen
[3] Alleen op regulier grasland zonder rekening te houden met klaver

3.4 Resultaten

In dit gedeelte komen de resultaten van de modelberekeningen aan de orde. Per bedrijf worden de resultaten van de basissituatie vergeleken met die van de varianten waarbij de drijfmest gecomposteerd worden met stro of beheersgras. Daarnaast komen de resultaten voor het bedrijf van Bouwmans aan bod.
Eerst komen de belangrijkste economische wijzigingen aan de orde, daarna wordt naar de gewasgroei gekeken. Na deze economische en technische zaken wordt de invloed op de stikstof- en fosfaatbalans weergegeven van de verschillende variaties bij toepassen van composteren. De verschillen worden bij de variaties steeds weergegeven ten opzichte van de "basissituatie". Dit is de situatie waarbij het betreffende bedrijf geen compostering van drijfmest toepast.

3.4.1 Composteren op het grote bedrijf met vochthoudende zandgrond

In onderstaande tabellen worden de resultaten van modelberekeningen weergegeven voor toepassing van compostering met respectievelijk stro en beheersgras op grote bedrijven met vochthoudende zandgrond. Verschillen zijn bij de variaties weergegeven ten opzichte van de basissituatie waarbij de drijfmest op een reguliere manier wordt aangewend.

Tabel 20 Verandering van het economisch resultaat bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met vochthoudende zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Opbrengsten	(ƒ)	533874	+0	+2494	+4989	+0	+2494	+4989
Waarvan								
* verkoop voedergewassen	(ƒ)	2741	+0	+2495	+4990	+0	+2495	+4990
Toegerekende kosten	(ƒ)	136758	+96014	+95910	+95806	-5441	-5615	-5788
Waarvan:								
* veevoer	(ƒ)	59904	+0	-174	-348	+0	-174	-348
* kunstmest	(ƒ)	8268	+597	+597	+597	-5425	-5425	-5425
* toevoegmateriaal	(ƒ)	0	+95417	+95417	+95417	+0	+0	+0
Saldo	(ƒ)	397115	-96013	-93344	-90677	+5442	+8110	+10778
Niet toegerekende kosten	(ƒ)	462574	+31698	+31540	+31394	+57333	+57175	+57029
Waarvan:								
* eigen arbeid	(ƒ)	92000	+3165	+3165	+3165	+4381	+4381	+4381
* loonwerk	(ƒ)	64665	+10616	+10448	+10292	+28672	+28504	+28348
* machines, werktuigen,installaties	(ƒ)	88302	+9171	+9171	+9171	+9472	+9472	+9472
* onroerende zaken	(ƒ)	200924	+8745	+8755	+8765	+14807	+14817	+14827
Netto bedrijfsresultaat	(ƒ)	-65459	-127711	-124885	-122071	-51891	-49065	-46251
Berekende arbeid	(ƒ)	92000	+3165	+3165	+3165	+4381	+4381	+4381
Arbeidsopbrengst	(ƒ)	26541	-124546	-121790	-119044	-47510	-44684	-41870

Tabel 20 laat de economische resultaten van composteren op vochthoudende zandgrond zien. Verschillen tussen de basissituatie en de situaties waarbij compostering wordt toegepast zijn:
- Meer arbeid voor het mengen van compost (ƒ3.100 tot ƒ4.400);
- Extra loonwerk voor de bewerkingen die nodig zijn (ƒ10.000 tot ƒ29.000);
- Hogere kosten voor machines en werktuigen (ruim ƒ9.000);
- Hogere kosten voor onroerende zaken (ƒ9.000 tot ƒ15.000) veroorzaakt door hogere kosten voor opslag van compost en toevoegmateriaal en lagere kosten voor drijfmestopslag;
- Hogere toegerekende kosten door de aankoop van stro (ruim ƒ96.000).

Verschillen binnen de toepassing van composteren zijn toe te schrijven aan twee belangrijke oorzaken: de toepassing van verschillende toevoegmaterialen en de variatie in gewasopbrengst. De verschillen tussen de toevoegmaterialen uiten zich in:
- Hogere kosten voor aankoop van toevoegmateriaal (ƒ 96.000) bij toepassing van stro waarvan alles kan worden toegeschreven aan de aankoop van stro. Er is namelijk van uitgegaan dat beheersgras gratis te verkrijgen is;
- Hogere kunstmestkosten (ƒ500) bij stro en lagere kunstmestkosten (ƒ5600) bij beheersgras veroorzaakt doordat bij beheersgras veel extra stikstof wordt aangevoerd en uiteindelijk meer werkzame stikstof overblijft dan bij stro;
- Hogere niet toegerekende kosten (ƒ27.000) bij de toepassing van beheersgras doordat er veel meer beheersgras (1500 ton) dan stro (650 ton) is aangevoerd. De niet toegerekende kosten voor opslag en verwerking nemen toe met de hoeveelheid.

De verschillen door verandering in opbrengst binnen de toepassing van een toevoegmateriaal zijn minder fors en uiten zich in:
- Meer verkoop van ruwvoer, ƒ2500 en ƒ5000 bij respectievelijk 3% en 6% extra opbrengsten;
- Lagere krachtvoeraankopen van maximaal enkele honderden guldens;

- Kleine verschillen in loonwerkkosten en kosten onroerende zaken omdat er iets meer opslagcapaciteit voor ruwvoer nodig is.

Economisch gezien is composteren met beheersgras in deze situatie veel voordeliger, de arbeidsopbrengst daalt met ƒ42.000 tot ƒ47.000, terwijl de arbeidsopbrengst bij toepassing van stro met ongeveer ƒ120.000 daalt. Belangrijke factor hierbij is dat stro voor de marktprijs van ƒ150 per ton wordt aangekocht terwijl beheersgras gratis is.

Tabel 21 Verandering in gewasopbrengsten bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met vochthoudende zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Netto opbrengst grasland	kVEM/ha	9441	+0	+269	+539	+0	+269	+539
Snijmaïskuil eigen teelt	kg ds	106375	+0	+3190	+6381	+0	+3190	+6381
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	%	104,3	+0	+4,7	+9,3	+0	+4,7	+9,3
Aankoop ruwvoer	kg ds	0	+0	+0	+0	+0	+0	+0
Verkoop ruwvoer	kg ds	15036	+0	+16397	+32798	+0	+16397	+32798

Tabel 21 geeft de verschillen in gewasopbrengst weer binnen de toepassingen van stro en beheersgras en de gevolgen daarvan voor de ruwvoerpositie. Grofweg is te zien dat het bedrijf nog meer ruwvoer over heeft dan het zelf kan gebruiken. Iedere procent extra gewasopbrengst levert ongeveer 5000 kilogram droge stof extra verkoop van ruwvoer op.

Tabel 22 Verandering in stikstofbalans bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met vochthoudende zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Aanvoer N-totaal per ha	(kg)	273,3	+98,0	+97,6	+97,3	+404,0	+403,6	+403,3
Waarvan:								
* Ruwvoer	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Bijproducten	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Krachtvoer	(kg)	87,5	+0,0	-0,3	-0,6	+0,0	-0,3	-0,6
* Kunstmest	(kg)	136	+28,7	+28,7	+28,6	-83,6	-83,7	-83,7
* Organische mest	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Vee	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Depositie + extra N-levering	(kg)	48,9	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Reinigingsmiddel + strooisel + toevoegmateriaal	(kg)	0,9	+69,3	+69,3	+69,3	+487,6	+487,6	+487,6
Afvoer stikstof totaal per ha	(kg)	91,3	+0,0	+8,3	+16,7	+0,0	+8,3	+16,7
Waarvan:								
* Vee	(kg)	11,8	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Melk	(kg)	75,1	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Ruwvoer	(kg)	4,4	+0,0	+8,4	+16,7	+0,0	+8,4	+16,7
* Bijproducten	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Org. mest + overige afvoer	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
N-overschot per hectare	(kg)	182	+98,0	+89,3	+80,6	+404,0	+395,3	+386,6

Tabel 22 geeft de gevolgen weer van de verschillende variaties van composteren op de stikstofbalans. Er veranderen maar een paar posten. De aanvoer van kunstmest neemt bij toepassen van stro met bijna 29 kg N/ha toe en bij beheersgras daalt deze met bijna 84 kg N/ha. Stro bevat minder stikstof dan beheersgras en er is

minder van nodig bij composteren. Beide redenen zorgen ervoor dat bij compostering met stro minder werkzame stikstof overblijft dan bij toepassing van drijfmest. Om een zelfde stikstofjaargift te houden moet meer kunstmest worden bijgestrooid. Bij beheersgras is in deze situatie een kunstmestgift van 52 kg N/ha grasland voldoende om tot een stikstofjaargift van 250 kg N/ha te komen.
Dat er veel stikstof uit beheersgras wordt aangevoerd laat deze balans ook zien. Ruim 487 kg N/ha ten opzichte van ruim 69 kg N/ha uit stro. Ook op de mineralenbalans zijn de verschillen binnen de toepassing van toevoegmaterialen veel kleiner: 6% extra gewasopbrengst leidt tot maximaal 17 kg N/ha meer stikstofafvoer op de balans. De krachtvoeraanvoer en daarmee ook de aanvoer van mineralen vernader heel weinig.

Omdat bij de MINAS-aangifte behalve de N-depositie en N-nalevering ook de aanvoer van strooisel niet meetelt, is het MINAS-stikstofoverschot lager dan het stikstofoverschot van de mineralenbalans. Indien het toevoegmateriaal (stro of beheersgras) inderdaad onder de post strooisel valt, en daarmee geen onderdeel van de MINAS-balans is, valt het verschil in totaal N-overschot tussen composteren met stro en de basissituatie circa 69 kg N/ha lager uit dan in de tabel is aangegeven. Bij compostering met beheersgras is dit zelfs ruim 487 kg N/ha. Dit betekent dat het totale N-overschot op de MINAS-balans voor compostering met stro, afhankelijk van de extra gewasopbrengst, 10 tot 30 kg N/ha hoger uitvalt dan het MINAS-overschot in de basissituatie. Bij beheersgras is het totale N-overschot op de MINAS-balans juist 80-100 kg N/ha lager dan de basissituatie. Zou de aanvoer van strooisel *wel* meetellen op de MINAS-balans dan is de MINAS-balans gelijk aan de in Tabel 22 gepresenteerde mineralenbalans. Dit komt omdat er geen verschillen in depositie en nalevering optreden bij composteren ten opzichte van de basissituatie.

Tabel 23 Verandering in fosfaatbalans bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met vochthoudende zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Aanvoer P-totaal per ha	(kg)	65,5	+0,5	+1,8	+3,4	+9,4	+9,2	+9,2
Waarvan:								
* Ruwvoer	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Bijproducten	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Krachtvoer	(kg)	37,8	+0,0	-0,2	-0,2	+0,0	-0,2	-0,2
* Kunstmest	(kg)	25,4	-11,9	-11,9	-11,9	-20,6	-20,6	-20,6
* Organische mest	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Vee	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Depositie	(kg)	2,1	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Reinigingsmiddel+strooisel + toevoegmateriaal	(kg)	0,0	+12,6	+12,6	+12,6	+30,2	+30,2	+30,2
Afvoer P-totaal per ha	(kg)	38,2	+0,0	+2,5	+5,3	+0,0	+2,5	+5,3
Waarvan:								
* Vee	(kg)	7,8	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Melk	(kg)	28,9	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Ruwvoer	(kg)	1,4	+0,0	+2,7	+5,5	+0,0	+2,7	+5,5
* Bijproducten	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Org. mest+ overige afvoer	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
P-overschot per ha	(kg)	27,3	+0,5	-2,1	-5,0	+9,4	+6,6	+3,9

Tabel 23 laat hetzelfde beeld zien als bij de stikstofbalans is te zien. Kleine verschillen in krachtvoeraanvoer en iets grotere in ruwvoerafvoer door verschillen in gewasopbrengst binnen de toepassingen van stro of beheersgras. Ook hier is de aanvoer van fosfaat uit beheersgras veel hoger dan uit stro. Er is echter een verschil ten opzichte van de stikstofbalans: net als bij beheersgras is ook bij stro is minder fosfaatkunstmest nodig vergeleken met de basissituatie. Dit komt omdat ervan uitgegaan is dat er bij fosfaat geen verliezen optreden zoals bij stikstof.

3.4.2 Composteren op een bedrijf met droge zandgrond van gemiddelde omvang

In onderstaande tabellen worden de resultaten van de modelberekeningen weergegeven voor toepassing van compostering met respectievelijk stro en beheersgras op gemiddeld grote bedrijven met droge zandgrond. Verschillen zijn bij de variaties weergegeven ten opzichte van de basissituatie waarbij de drijfmest op een reguliere manier wordt aangewend.

Tabel 24 Verandering van het economisch resultaat bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met droge zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Opbrengsten	(ƒ)	319523	+0	+0	+0	+0	+0	+0
Waarvan:								
*verkoop voedergewassen	(ƒ)	0	+0	+0	+0	+0	+0	+0
Toegerekende kosten	(ƒ)	88230	+54391	+52347	+50427	-2835	-4880	-6803
Waarvan:								
* veevoer	(ƒ)	46010	+0	-1981	-3972	+0	-1981	-3972
* kunstmest	(ƒ)	3512	+241	+241	+241	-2813	-2813	-2813
* toevoegmateriaal	(ƒ)	0	+54151	+54151	+54151	+0	+0	+0
Saldo	(ƒ)	231293	-54391	-52364	-50461	+2835	+4862	+6765
Niet toegerekende kosten	(ƒ)	345508	+22081	+23058	+23994	+26327	+37304	+38240
Waarvan:								
* eigen arbeid	(ƒ)	92000	+1768	+1768	+1768	+2447	+2447	+2447
* loonwerk	(ƒ)	33146	+6315	+6964	+7746	+16396	+17045	+17827
* machines, werktuigen, installaties	(ƒ)	86352	+8825	+8825	+8825	+8993	+8993	+8993
* onroerende zaken	(ƒ)	118365	+5173	+5500	+5654	+8491	+8818	+8972
Netto bedrijfsresultaat	(ƒ)	-114515	-76472	-75422	-74454	-33492	-32442	-31475
Berekende arbeid	(ƒ)	92000	+1768	+1768	+1768	+2447	+2447	+2447
Arbeidsopbrengst	(ƒ)	-22215	-74704	-73637	-72652	-31045	-29976	-28990

Tabel 24 laat de economische resultaten van composteren op droge zandgrond zien. Verschillen tussen de basissituatie en de situaties waarbij compostering wordt toegepast zijn:

- Meer arbeid voor het mengen van compost (ƒ1.700 tot ƒ2.500);
- Extra loonwerk voor de bewerkingen die nodig zijn (ƒ6.000 tot ƒ18.000);
- Hogere kosten voor machines en werktuigen (ruim ƒ9.000);
- Hogere kosten voor onroerende zaken (ƒ5.000 tot ƒ9.000) veroorzaakt door hogere kosten voor opslag van compost en toevoegmateriaal en lagere kosten voor drijfmestopslag;
- Hogere toegerekende kosten door de aankoop van stro (ruim ƒ54.000).

Verschillen binnen de toepassing van composteren zijn toe te schrijven aan twee belangrijke oorzaken: de toepassing van verschillende toevoegmaterialen en de variatie in gewasopbrengst. De verschillen tussen de toevoegmaterialen uiten zich in:

- Hogere kosten voor aankoop van toevoegmateriaal (ƒ 50.000) bij toepassing van stro. Er is namelijk van uitgegaan dat beheersgras gratis te verkrijgen is;
- Hogere kunstmestkosten (ƒ240) bij stro en lagere kunstmestkosten (ƒ2.800) bij beheersgras veroorzaakt doordat bij beheersgras veel extra stikstof wordt aangevoerd en uiteindelijk meer werkzame stikstof overblijft dan bij stro. Bij toepassing van beheersgras kan de kunstmestgift beperkt blijven tot 20 kg N/ha;
- Hogere niet toegerekende kosten (ƒ14.000) bij de toepassing van beheersgras ten opzichte van stro doordat er veel meer beheersgras (860 ton) dan stro (360 ton) is aangevoerd. De niet toegerekende kosten voor opslag en verwerking nemen toe met de hoeveelheid.

De verschillen door verandering in opbrengst binnen de toepassing van een toevoegmateriaal zijn minder fors en uiten zich in:

- Minder aankoop van ruwvoer, ƒ2.000 en ƒ4.000 minder bij respectievelijk 3% en 6% extra opbrengsten;
- Kleine verschillen in loonwerkkosten door meer ruwvoederwinning en kosten onroerende zaken omdat er iets meer opslagcapaciteit voor ruwvoer nodig is.

Economisch gezien is composteren met beheersgras in deze situatie veel voordeliger, de arbeidsopbrengst daalt met ƒ29.000 tot ƒ31.000, terwijl de arbeidsopbrengst bij toepassing van stro met ƒ72.000 tot ƒ75.000 daalt. Belangrijke factor hierbij is dat stro voor de marktprijs van ƒ150 per ton wordt aangekocht terwijl beheersgras gratis is. De verschillen in arbeidsopbrengst zijn overigens kleiner dan bij het grote bedrijf op vochtige zandgrond, dit komt door de kleinere bedrijfsomvang.

Tabel 25 Verandering in gewasopbrengsten bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met droge zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Netto opbrengst grasland	kVEM/ha	7828	+0	+222	+445	+0	+222	+445
Snijmaïskuil eigen teelt	kg ds	74368	+0	+2233	+4460	+0	+2233	+4460
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	%	73,8	+0	+4	+8	+0	+4	+8
Aankoop ruwvoer	kg ds	58309	+0	-9717	-19288	+0	-9717	-19288
Verkoop ruwvoer	kg ds	0	+0	+0	+0	+0	+0	+0

Tabel 25 geeft de verschillen in gewasopbrengst weer binnen de toepassingen van stro en beheersgras en de gevolgen daarvan voor de ruwvoerpositie. Grofweg is te zien dat het bedrijf minder ruwvoer hoeft aan te kopen door de toenemende gewasopbrengst. In tegenstelling tot het grote bedrijf op vochthoudende zandgrond, is het gemiddeld grote bedrijf op droge zandgrond niet zelfvoorzienend voor ruwvoer. Iedere procent extra gewasopbrengst levert ongeveer 3000 kilogram droge stof minder aankoop van ruwvoer op.

Tabel 26 Verandering in stikstofbalans bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met droge zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Aanvoer N-totaal per ha	(kg)	283,5	+93,0	+87,8	+82,6	+422,1	+417,0	+411,8
Waarvan:								
* Ruwvoer	(kg)	28	+0,0	-4,7	-9,3	+0,0	-4,7	-9,3
* Bijproducten	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Krachtvoer	(kg)	96,2	+0,0	+0,1	+0,2	+0,0	+0,1	+0,2
* Kunstmest	(kg)	109,5	+20,5	+19,8	+19,2	-89,0	-89,7	-90,3
* Organische mest	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Vee	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Depositie + extra N-levering	(kg)	48,9	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Reinigingsmiddel+strooisel +toevoegmateriaal	(kg)	0,9	+72,6	+72,6	+72,6	+511,2	+511,2	+511,2
Afvoer stikstof totaal per ha	(kg)	95,7	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
Waarvan:								
* Vee	(kg)	10,2	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Melk	(kg)	85,4	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Ruwvoer	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Bijproducten	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Org. Mest + overige afvoer	(kg)	0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
N-overschot per ha	(kg)	187,8	+93,0	+87,8	+82,7	+422,2	+417,0	+411,8

Tabel 26 geeft de gevolgen van composteren weer van de verschillende variaties op de stikstofbalans. Er veranderen maar een paar posten. De aanvoer van kunstmest neemt bij toepassing van stro met ongeveer 20 kg N/ha toe en bij beheersgras met ongeveer 90 kg N/ha af. Stro bevat minder stikstof dan beheersgras en er is minder van nodig bij composteren. Beide redenen zorgen ervoor dat bij compostering met stro minder werkzame stikstof overblijft dan bij toepassing van drijfmest. Om een zelfde stikstofjaargift te houden moet meer kunstmest worden bijgestrooid. Bij beheersgras is in deze situatie nog maar 20 kg N/ha uit kunstmest nodig om de stikstofjaargift van 200 kg N/ha te halen. Dat er veel stikstof uit beheersgras wordt aangevoerd laat deze balans ook zien: ruim 510 kg N/ha ten opzichte van ruim 72 kg N/ha uit stro. Ook op de mineralenbalans zijn de verschillen binnen de toepassing van toevoegmiddelen veel kleiner: 6% extra gewasopbrengst leidt tot een 10 kg N/ha hogere stikstofaanvoer op de balans op. De krachtvoeraanvoer verandert marginaal, de ruwvoeraanvoer met respectievelijk 4,7 kg N/ha en 9,3 kg N/ha bij 3% en 6% extra gewasopbrengst.

Omdat bij de MINAS aangifte behalve de N-depositie en N-nalevering ook de aanvoer van strooisel niet meetelt, is het MINAS-stikstofoverschot lager dan het stikstofoverschot van de mineralenbalans. Indien het toevoegmateriaal (stro of beheersgras) inderdaad onder de post strooisel valt, en daarmee geen onderdeel van de MINAS-balans is, valt het verschil in totaal N-overschot tussen composteren met stro en de basissituatie circa 72 kg N/ha lager uit dan in de tabel is aangegeven. Bij compostering met beheersgras is dit zelfs ruim 511 kg N/ha. Dit betekent dat het totale N-overschot op de MINAS-balans voor compostering met stro, afhankelijk van de extra gewasopbrengst, 10 tot 20 kg N/ha hoger uitvalt dan het MINAS-overschot in de basissituatie. Bij beheersgras is het totale N-overschot op de MINAS-balans juist 90-100 kg N/ha lager dan de basissituatie. Zou de aanvoer van strooisel *wel* meetellen op de MINAS-balans dan is de MINAS-balans gelijk aan de in Tabel 26 gepresenteerde mineralenbalans. Dit komt omdat er geen verschillen in depositie en nalevering optreden bij composteren ten opzichte van de basissituatie.

Tabel 27 Verandering in fosfaatbalans bij compostering met stro en beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op een bedrijf met droge zandgrond

		Basis	Stro			Beheersgras		
			0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst	0% extra opbrengst	3% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Aanvoer P-totaal per ha	(kg)	72,4	+0,5	-0,7	-1,8	+15,3	+14,2	+12,8
Waarvan								
* Ruwvoer	(kg)	9,4	+0,0	-1,4	-3,0	+0,0	-1,4	-3,0
* Bijproducten	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Krachtvoer	(kg)	38,7	+0,0	+0,5	+0,7	+0,0	+0,5	+0,7
* Kunstmest	(kg)	22,0	-12,6	-12,6	-12,6	-16,0	-16,0	-16,0
* Organische mest	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Vee	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Depositie	(kg)	2,1	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Reinigingsmiddel+strooisel + toevoegmateriaal	(kg)	0,0	+13,3	+13,3	+13,3	+31,6	+31,6	+31,6
Afvoer P-totaal per ha	(kg)	39,6	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
Waarvan:								
* Vee	(kg)	6,9	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Melk	(kg)	32,7	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Ruwvoer	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Bijproducten	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
* Org. Mest+overige afvoer	(kg)	0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
P-overschot per ha	(kg)	32,7	+0,5	-0,7	-1,8	+15,3	+14,4	+13,1

Tabel 27 laat hetzelfde beeld zien als bij de stikstofbalans: kleine verschillen in krachtvoeraanvoer en iets grotere in ruwvoeraanvoer door verschillen in gewasopbrengst binnen de toepassingen van stro of beheersgras. Ook hier is de aanvoer van fosfaat uit beheersgras veel hoger dan uit stro. Er is echter een verschil ten opzichte van de stikstofbalans: net als bij beheersgras is ook bij stro is minder fosfaatkunstmest nodig vergeleken met de basissituatie. Dit komt omdat ervan uitgegaan is dat er bij fosfaat geen verliezen optreden zoals bij stikstof.

3.4.3 Composteren op het bedrijf van Bouwmans

Naast de twee bedrijfstypen die in de voorgaande paragrafen behandeld zijn, is ook het bedrijf van Mts. Bouwmans doorgerekend. Aan de ene kant om naast de meer algemene bedrijfstype ook een praktijksituatie door te rekenen waar daadwerkelijk gecomposteerd wordt en aan de andere kant omdat de situatie op het bedrijf Bouwmans verschilt van de gangbare door het gebruik van FIR en de daarmee verbonden visie op het gebruik van mest in relatie tot de bodem. Deze paragraaf beschrijft de uitkomsten van de simulatieberekeningen. Het bedrijf is gelegen in het oostelijk deel van de provincie Noord-Brabant op een droogtegevoelige zandgrond. Het is een gemengd bedrijf waar naast melkvee ook zeugen gehouden worden. Om uitgangspunten in kaart te brengen en een idee te krijgen van de werkwijze is een bezoek gebracht aan het bedrijf. In Bijlage 2 staan de kenmerken van het bedrijf en de uitgangspunten voor de berekeningen in detail vermeld. Voor het bedrijf Bouwmans zijn 3 modelberekeningen uitgevoerd. Als basis is een situatie genomen waarbij alle mest als drijfmest wordt aangewend. De geproduceerde zeugenmest is als aanvoerpost van de melkveetak meegerekend. Naast de basissituatie zijn twee variaties doorgerekend met compostering van ruim 1000 m³ rundveedrijfmest. Dat is 40% van de totale hoeveelheid mest. Bij één situatie is geen extra opbrengst ingerekend, bij de andere situatie 6%. In beide situaties wordt de niet gecomposteerde mest als drijfmest aangewend. Alle drie variaties hebben dezelfde stikstofjaargift van 288 kg N/ha voor het reguliere grasland.

Filosofie en Proces
Tijdens het bedrijfsbezoek is naast het achterhalen van bedrijfsgegevens ook de visie aan bod gekomen die ten grondslag ligt aan het gebruik van FIR en de keuze voor composteren. Wanneer op het bedrijf alleen maar drijfmest zou worden toegepast zal in de loop van de jaren de grond steeds slechter wordt. Dit heeft volgens Bouwmans in de toekomst zeker negatieve gevolgen voor de gewasopbrengst en deze gevolgen zullen volgens hem in de loop van de jaren steeds groter worden. Het in stand houden van het organisch-stofgehalte in de bodem speelt hierbij een centrale rol. Een bodem met voldoende organische stof is in staat voedingsstoffen en vocht vast te houden. Toepassing van compost kan bijdragen aan een stijging van het organischestofgehalte en is daarmee goed voor het bodemleven en de structuur van de grond. De filosofie op het bedrijf is dat goed voeren van koeien leidt tot goede mest; goede mest is goed voor de bodem en zorgt voor een goed bodemleven en levert daarmee goed voer. Het gebruik van FIR als toevoegmiddel aan het voer is volgens Bouwmans de basis voor goede mest doordat het giftige stoffen in de pens en in de mest neutraliseert. Op deze manier geeft de mest minder stank en gaan de micro-organismen die betrokken zijn bij de omzetting van organische stof tijdens composteren en in de bodem niet dood.
Niet alle mest wordt op het bedrijf gecomposteerd. De rest wordt als drijfmest bovengronds uitgereden. Toepassing van de drijfmest kan volgens Bouwmans het beste bovengronds gebeuren omdat het gebruik van de zodenbemester tot structuurschade leidt. Bovendien kan de gift per hectare bij bovengronds uitrijden kleiner zijn zodat er geen piekbelasting optreedt die het bodemleven doodt. Om extra stikstof uit de lucht te binden en kunstmest te besparen is verder klaver in de wei gezaaid.
Bouwmans acht de methoden die hij toepast duurzamer en verwacht op termijn een betere gewasgroei dan bij toepassen van louter drijfmest. Daarmee handelt hij op een aantal punten wel in strijd met de landelijk en provinciale wetgeving. Op dit moment wordt de situatie gedoogd maar de vraag blijft in hoeverre men de ruimte krijgt om op deze manier door te gaan.

Compostering op het bedrijf van Bouwmans vindt het hele jaar plaats. Iedere composteringsperiode duurt 4 weken. Op de 800 m² grootte composteringsplaat met lekvochtputje wordt iedere twee weken een rug aangelegd. Deze rug bevat stromest van de varkens, beheersgras en rundveedrijfmest. Per ton rundveedrijfmest wordt ongeveer 300 kg beheersgras toegevoegd. Omdat iedere twee weken een nieuwe rug wordt aangelegd zijn er twee compostruggen op de composteringsplaat aanwezig. Menging van de compostruggen vindt ongeveer om de twee dagen plaats met een zelfrijdende portaalmenger die geschikt is gemaakt voor het tegelijkertijd toedienen van drijfmest. De gerijpte compost wordt direct zonder tussenopslag met een mestverspreider uitgereden. Nadat de compost is uitgereden wordt de compostrug van twee weken oud met een trekker met voorlader omgezet naar de plek waar de vier weken oude compostrug lag. Op de vrijgekomen plek wordt een nieuwe compostrug opgezet. Het uitrijden van de compost, het omzetten van de compostrug van twee weken en het opzetten van een nieuwe compostrug kost ongeveer een dag per twee weken.
In tegenstelling tot het proces van de twee bedrijfstypen, vinden de meeste bewerkingen in eigen beheer plaats: het verplaatsen van beheersgras en mest en het uitrijden van de compost. Bij de situatie waarbij alleen drijfmest wordt toegepast, is de huidige mestopslagcapaciteit met compostering voldoende om alle drijfmest op te slaan. Vandaar dat er geen extra kosten voor drijfmest opslag worden berekend bij alleen toepassen van drijfmest.

Behalve een composteringsplaat zijn er geen andere extra bouwwerken aanwezig voor opslag van bermgras of gerijpte compost op het bedrijf van Bouwmans.

Verschil in kosten ten opzichte van toepassing alleen drijfmest
Wanneer we het huidige systeem van composteren bij Bouwmans vergelijken met toepassing van alleen drijfmest worden de volgende kosten gemaakt:

- Een composteringsplaat met lekvochtputje nodig;
- Extra arbeidskosten voor het uitrijden van compost, het mengen van de compostruggen en het opzetten van de compostruggen;
- Jaarkosten portaalmenger, mestverspreider en extra kosten tractor met voorlader.

Om een indruk te krijgen op welke punten de kosten van bedrijfsinrichting wijzigen door toepassing van compostering is in Tabel 28 een overzicht gegeven voor het bedrijf van Bouwmans. Ter vergelijking zijn de meerkosten van compostering met beheersgras op een bedrijf van gemiddelde grootte op droge zandgrond weergegeven. Op dat bedrijf wordt 950 m³ drijfmest gecomposteerd met behulp van 860 ton beheersgras.

Tabel 28 Wijzigingen kosten bedrijfsinrichting door toepassen van beheersgras als toevoegmateriaal voor composteren op het bedrijf van Bouwmans (ter vergelijking ook een bedrijf van gemiddelde grootte op droge zandgrond opgenomen)

Omschrijving		Bouwmans	Bedrijf op droog zand
Hoeveelheid drijfmest composteren	(m³)	1000	950
duur composteringsronde	(wk)	4	13
Hoeveelheid toegevoegd beheersgras	(ton)	300	850
KOSTENPOSTEN:			
aankoop beheersgras	(ƒ)	0	0
kosten opslag beheersgras	(ƒ)	0	716
kosten composteringsplaat	(ƒ)	4.502	9.199
kosten gerijpte compostopslag	(ƒ)	0	2.016
loonwerk overpompen mest	(ƒ)	0	1.416
loonwerk overzetten beheersgras	(ƒ)	0	12.889
loonwerk overbrengen gerijpte compost	(ƒ)	0	621
loonwerk legen perssapputje	(ƒ)	0	390
loonwerk compost uitrijden	(ƒ)	0	8.657
jaarkosten portaalmenger	(ƒ)	2.880	7.639
extra tractorkosten	(ƒ)	6.791	1.354
extra kosten stalmeststrooier	(ƒ)	3.563	0
extra eigen arbeid compost omzetten		20.576	2.447
AF:			
lagere kosten drijfmestopslag	(ƒ)	0	-3.747
kosten loonwerk mest uitrijden bij 100% drijfmest	(ƒ)	0	-7.577
Extra kosten compostering:	(ƒ)	38.312	36.020

Tabel 28 laat zien dat op het bedrijf van Bouwmans de extra kosten voor compostering wat betreft de bedrijfsinrichting ruim ƒ38.000 zijn. Dit komt vooral door de extra (berekende) arbeid. Iedere 2 weken een nieuwe composthoop opzetten is nogal arbeidsintensief. Daarentegen heeft Bouwmans geen extra loonwerkkosten en zijn de kosten voor bouwwerken ook relatief laag door het snelle composteringsproces en het achterwege laten van opslagplaten. Ook verwerkt Bouwmans minder beheersgras dan de vergelijkingsgroep en bespaart zo op opslagcapaciteit. Door veel zelf te doen heeft Bouwmans niet alleen hoge berekende arbeidskosten, ook de extra kosten voor de tractor en de machines vallen ruim ƒ13.000 hoger uit dan bij toepassen van drijfmest. Bij de vergelijkingsgroep is dat ongeveer ƒ9.000 hoger. Omdat Bouwmans al genoeg opslagcapaciteit heeft voor drijfmest in de uitgangssituatie zonder composteren zijn geen lagere kosten voor drijfmestopslag berekend. Bouwmans heeft zelf een giertank, hierdoor veranderen de kosten voor drijfmest uitrijden niet wanneer minder drijfmest hoeft worden uitgereden door composteren. Dit is immers geen loonwerk.

De conclusie die uit de getrokken kan worden is dat Bouwmans hogere extra kosten voor bedrijfsinrichting heeft dan een vergelijkbaar bedrijf waarbij ongeveer evenveel drijfmest wordt gecomposteerd. Dit komt vooral door meer berekende arbeid. Wanneer de eigen arbeid niet wordt meegerekend komt Bouwmans veel gunstiger uit dan de vergelijkbare groep waarbij door loonwerk de betaalde kosten hoger zijn. Ook wordt het beeld bij Bouwmans gunstiger in geval van nieuwbouw een kleinere mestopslag zou realiseren.

Uitkomsten berekeningen in bedrijfsverband

In onderstaande tabellen zijn de gevolgen weergegeven voor de economie, de gewasopbrengst, de stikstofbalans en de fosfaatbalans van het composteren van een deel van de drijfmest ten opzichte van volledig aanwenden van drijfmest.
In Tabel 29 zijn de economische gevolgen van composteren op het bedrijf van Bouwmans weergegeven ten opzichte van de basissituatie waarbij alleen drijfmest wordt aangewend.

Tabel 29 Verandering van het economisch resultaat bij compostering met beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op het bedrijf Bouwmans

		Basis	Beheersgras	
			0% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Opbrengsten	(ƒ)	460854	+0	+0
Waarvan:				
* verkoop voedergewassen	(ƒ)	0	+0	+0
Toegerekende kosten	(ƒ)	129590	-222	-5981
Waarvan:				
* veevoer	(ƒ)	70189	+0	-5733
* kunstmest	(ƒ)	2214	-223	-223
* toevoegmateriaal	(ƒ)	0	+0	+0
Saldo	(ƒ)	331264	+222	+5977
Niet toegerekende kosten	(ƒ)	360486	+38311	+39434
Waarvan:				
* eigen arbeid	(ƒ)	92000	+20576	+20576
* loonwerk	(ƒ)	38860	+0	+1476
* machines, werktuigen, installaties	(ƒ)	31167	+13233	+13233
* onroerende zaken	(ƒ)	182153	+4502	+4149
Netto bedrijfsresultaat	(ƒ)	-29222	-38089	-33457
Berekende arbeid	(ƒ)	92000	+20576	+20576
Arbeidsopbrengst	(ƒ)	62778	-17513	-12877

Tabel 29 laat zien dat bij composteren zonder extra gewasopbrengst de arbeidsopbrengst ruim ƒ17.500 lager is dan bij toepassen van alleen drijfmest. Het netto bedrijfsresultaat is ruim ƒ38.000 lager omdat er bij composteren extra arbeid nodig is:

- 4 uur per week voor het mengen van compost;
- 4 uur per twee weken voor het uitrijden van vaste mest;
- 4 uur per 2 weken voor het opzetten van composthopen.

De extra (berekende) kosten voor arbeid zijn ingeschat op ruim ƒ20.500 op basis van 520 uur meer arbeid voor composthopen opzetten, compost mengen en compost uitrijden over het land.
Ook de kosten voor machines en werktuigen zijn hoger bij composteren: zelf compost mengen, zelf composthopen opzetten en zelf de compost uitrijden kost ongeveer ƒ13.200 meer dan wanneer alleen drijfmest wordt aangewend. De extra kosten zijn voor de menger, de stalmeststrooier en de tractor met voorlader die meer uren moet draaien.
De kosten voor onroerende zaken zijn ƒ4500 hoger bij composteren. Dit komt door de composteringsplaat die extra nodig is. Wel is bij composteren minder mestopslag nodig. Omdat het bedrijf van Bouwmans al een mestopslag van 3000 m³ heeft bij de huidige situatie van composteren is binnen de drie situaties geen wijziging

aangebracht in kosten voor drijfmestopslag. De kosten voor kunstmest dalen met ruim ƒ200. Het saldo bij de situatie composteren zonder extra gewasopbrengst stijgt hierdoor eveneens met ruim ƒ200.
Wanneer door toepassen van composteren de gewasopbrengst met 6% extra stijgt, dan daalt de arbeidsopbrengst minder en komt op ongeveer ƒ12.800 lager uit dan bij toepassen van alleen drijfmest. De voerkosten dalen met ruim ƒ5700. Het saldo is bijna ƒ6000 hoger dan bij toepassen van drijfmest.
De niet toegerekende kosten stijgen wel bij een hogere gewasopbrengst. Dit komt omdat er meer loonwerk nodig is om het extra gewas te oogsten. Wanneer de sneden bij maaien wat zwaarder worden, kunnen de loonwerkkosten wat beperkt worden volgens Bouwmans. De kosten voor onroerende goederen dalen ongeveer met ƒ350 omdat minder voeropslag nodig is. Er is meer gras beschikbaar en minder maïsaankoop nodig. Hierdoor is een kleinere sleufsilo nodig.
Tabel 29 laat zien dat 6% extra gewasopbrengst leidt tot een stijging van de arbeidsopbrengst met ƒ4626. Per procent meer gewasopbrengst is dat ƒ771. Wanneer composteren in deze situatie dezelfde arbeidsopbrengst wil opleveren als bij toepassing van drijfmest, moet de gewasopbrengst ƒ17.513/ƒ771 = 23% hoger zijn dan bij toepassing van alleen drijfmest aangenomen dat het verband lineair verloopt.
Tijdens het bedrijfsbezoek is opgemerkt dat de veestapel, bij de bedrijfsvoering die Bouwmans toepast, gezonder is dan gangbaar. Er zouden minder gezondheidskosten zijn. Om de invloed van deze kostenbesparing te bepalen, is de arbeidsopbrengst berekend bij lagere gezondheidskosten. Wanneer de gezondheidskosten met 25% dalen, stijgt de arbeidsopbrengst van de situatie met composteren met ongeveer ƒ2950. In combinatie met een 6% hogere gewasopbrengst komt de arbeidsopbrengst op dit bedrijf toch nog ƒ10.000 lager uit dan bij toepassen van drijfmest. De extra berekende arbeid van ruim ƒ20.000 is hierbij niet ingerekend.
In de Tabel 30 zijn de gewasopbrengsten weergegeven bij de 3 berekende variaties binnen het bedrijf van Bouwmans.

Tabel 30 Verandering in gewasopbrengsten bij compostering met beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op het bedrijf van Bouwmans

		Basis	Beheersgras	
			0% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Netto opbrengst grasland	KVEM/ha	8226	+0	+466
Snijmaïskuil eigen teelt	kg ds	131206	+0	+7875
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	%	80.8	+0	+7
Aankoop ruwvoer	kg ds	65485	+0	-25367
Verkoop ruwvoer	kg ds	0	+0	+0

Tabel 30 laat zien dat het bedrijf niet zelfvoorzienend is voor ruwvoer bij de gesimuleerde basissituatie. Ongeveer 80% van het benodigde ruwvoer wordt op het eigen bedrijf geteeld. Wanneer de gewasopbrengsten met 6% stijgen, stijgt de zelfvoorzieningsgraad voor ruwvoer met 7%. Er hoeft dan ruim 25 ton drogestof minder worden aangekocht dan bij toepassen van alleen drijfmest.
In de Tabel 31 zijn de gevolgen van composteren op de stikstofbalans weergegeven voor het bedrijf van Bouwmans.

Tabel 31 Verandering in stikstofbalans bij compostering met beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op het bedrijf van Bouwmans

		Basis	beheersgras	
			0% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Aanvoer N-totaal per ha	(kg)	386,2	+122,6	+110,3
Waarvan:				
* Ruwvoer	(kg)	32,2	+0,0	-14,1
* Bijproducten	(kg)	0	+0,0	+0,0
* Krachtvoer	(kg)	113,1	+0,0	+2,1
* Kunstmest	(kg)	55,3	-5,7	-6,0
* Organische mest	(kg)	135,7	+0,0	+0,0
* Vee	(kg)	0	+0,0	+0,0
* Depositie + extra N-levering	(kg)	48,9	+0,0	+0,0
* Reinigingsm.+strooisel+	(kg)			

beheersgras		1	+128,3	+128,3
Afvoer N-totaal per ha	(kg)	95,8	+0,0	+0,0
Waarvan:				
* Vee	(kg)	13,6	+0,0	+0,0
* Melk	(kg)	82,2	+0,0	+0,0
* Ruwvoer	(kg)	0	+0,0	+0,0
* Bijproducten	(kg)	0	+0,0	+0,0
* Organische mest + ov. afvoer	(kg)	0	+0,0	+0,0
N overschot per hectare	(kg)	290,4	+122,6	+110,2

Tabel 31 laat zien dat het stikstofoverschot bij toepassen van composteren op dit bedrijf zonder extra gewasopbrengst met 123 kg N/ha stijgt. De aanvoer van stikstof uit kunstmest daalt met ongeveer 6 kg N/ha door toevoegen van (relatief) stikstofrijk beheersgras. De aanvoer van stikstof uit beheersgras is ongeveer 128 kg per hectare.
De aanvoer van organische mest is in alle situaties bijna 136 kg N/ha, dit is afkomstig van de zeugenmest. De zeugentak is in de berekeningen van de melkveetak niet meegenomen, vandaar de aanvoerpost zeugenmest.
Bij de situatie waarbij de gewasopbrengst 6% hoger is dan bij toepassen van drijfmest wordt minder ruwvoer aangevoerd en iets meer krachtvoer. Meer kwalitatief hoog ruwvoer aanvoeren leidt tot een besparing op de aanvoer van krachtvoer. De stikstofaanvoer uit kunstmest wijzigt nauwelijks. Per saldo is het stikstofoverschot 2 kg per hectare lager dan bij 0% extra opbrengst.
Niet alle posten die op deze mineralenbalans staan komen in de Minas-balans terecht. De depositie, aanvoer van strooisel en extra stikstoflevering tellen niet mee bij Minas. In de situatie waarbij alleen drijfmest wordt aangewend is het Minas-stikstofoverschot voor de melkveetak ongeveer 240 kg N/ha. Bij toepassen van compostering en 6% extra gewasopbrengst is het Minas-stikstofoverschot ongeveer 18 kg N/ha lager dan bij toepassen van drijfmest. Uitgangspunt is dan wel dat het beheersgras niet meetelt voor Minas (net als strooisel). Telt dit wel mee in Minas dan is het Minas-stikstofoverschot 110 kg N/ha hoger dan bij toepassen van alleen drijfmest. Bij geen extra gewasopbrengst valt het Minas-stikstofoverschot in beide gevallen ruim 12 kg N/ha hoger uit. In Tabel 32 worden de resultaten van de berekeningen op de fosfaatbalans weergegeven voor de drie situaties van het bedrijf Bouwmans.

Tabel 32 Verandering in fosfaatbalans bij compostering met beheersgras ten opzichte van de toepassing van alleen drijfmest (=basis) op het bedrijf van Bouwmans

		basis	Beheersgras	
			0% extra opbrengst	6% extra opbrengst
Aanvoer P-totaal per ha	(kg)	157,1	+7,8	+4,6
Waarvan:				
* Ruwvoer	(kg)	10,1	+0,0	-4,4
* Bijproducten	(kg)	0,0	+0,0	+0,0
* Krachtvoer	(kg)	46,0	+0,0	+0,7
* Kunstmest	(kg)	2,1	-0,2	-0,2
* Organische mest	(kg)	96,9	+0,0	+0,0
* Vee	(kg)	0,0	+0,0	+0,0
* Depositie	(kg)	2,1	+0,0	+0,0
* Reinigingsmiddel+strooisel + beheersgras	(kg)	0,2	+7,8	+7,8
Afvoer P-totaal per hectare	(kg)	40,1	+0,0	+0,0
Waarvan:				
* Vee	(kg)	8,9	+0,0	+0,0
* Melk	(kg)	31,1	+0,0	+0,0
* Ruwvoer	(kg)	0,0	+0,0	+0,0
* Bijproducten	(kg)	0,0	+0,0	+0,0
* Organische mest + ov. afvoer	(kg)	0,0	+0,0	+0,0
P-overschot per hectare	(kg)	116,8	+7,8	+4,1

Tabel 32 laat hetzelfde beeld zien als de stikstofbalans, echter hier verschillen de uiteindelijke overschotten relatief minder sterk van de situatie waarbij alleen drijfmest wordt toegepast. De aanvoer van fosfaat uit ruwvoer is bij 6% hogere gewasopbrengst wat lager. Via krachtvoer is de aanvoer in deze situatie iets hoger. Beheersgras bevat relatief weinig fosfaat: slechts 8 kg P_2O_5/ha wordt uit beheersgras aangevoerd.
Bij een 6% hogere gewasopbrengst is het verschil in fosfaatoverschot 4 kg P_2O_5/ha ten opzichte van alleen drijfmest aanwenden. Bij geen extra gewasopbrengst is dit verschil 8 kg P_2O_5/ha.
Wanneer we bij de fosfaatbalans, net als met de rekenmethodiek van stikstofbalans, een inschatting voor het Minas fosfaatoverschot maken voor de melkveetak, komt deze uit op ongeveer 18 kg P_2O_5/ha bij toepassing van alleen drijfmest. Opgemerkt wordt wel dat hierbij de aanvoer van fosfaat uit organische mest niet is meegerekend. Immers zou de melkveetak op zichzelf staan, dan zou de benodigde stikstof uit kunstmest worden aangevoerd en zou eventueel aanvullend aanvoer van fosfaatkunstmest kunnen plaatsvinden. Deze fosfaatkunstmest telt in tegenstelling tot drijfmest niet mee voor Minas. Bij 6% extra gewasopbrengst komt het Minas-fosfaatoverschot uit op ongeveer 12 kg P_2O_5/ha. Wanneer de fosfaat daadwerkelijk als drijfmest wordt aangevoerd en wel meetelt voor Minas, stijgen de fosfaatoverschotten met 97 kg P_2O_5/ha.

3.5 Gevoeligheidsanalyse

Om het effect van het stikstofverlies en de hoeveelheid aangevoerd organisch materiaal op de economische resultaten van compostering en de mineralenbalans te bepalen is op deze twee punten een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

3.5.1 Gevoeligheid stikstofverliezen

In dit gedeelte kijken we naar de gevoeligheid van economische resultaten en mineralenbalans voor de stikstofverliezen bij compostering. Als basis is een situatie genomen van composteren met stro op een gemiddeld bedrijf op droge zandgrond en 6% extra opbrengst. Daarbinnen zijn twee varianten berekend. Binnen variant 1 zijn de aangenomen stikstofverliezen tijdens composteren teruggebracht tot 0%, in plaats van de 20% waarmee in de basissituatie wordt gerekend. Binnen variant 2 is uitgegaan van dezelfde werkingscoëfficiënt van stikstof als bij de toepassing van drijfmest in plaats van de 38% lagere werkingscoëfficiënt voor compost waarmee in de basissituatie wordt gerekend.

Tabel 33 laat zien dat het verschil in stikstofbenutting alleen gevolgen heeft voor de kunstmestkosten. In dit voorbeeld zijn de kunstmestkosten bijna *f*450 lager wanneer er geen stikstofverlies van 20% optreedt tijdens composteren. Wanneer er wel 20% verliezen optreden maar de aanwezige stikstof evengoed werkt als bij drijfmest, dan zijn de kunstmestkosten *f*1000 lager. Variatie in beschikbaarheid en werking van stikstof heeft dus economische geen erg grote gevolgen. Zeker als we bedenken dat de totale daling van het netto bedrijfsresultaat ruim *f*72.000 is Extra kosten voor aankoop van stro, loonwerk, bouwwerken, machines en werktuigen beïnvloeden de arbeidsopbrengst veel sterker.

Tabel 33 Economische gevolgen van veranderende stikstofverliezen en -benutting bij composteren met stro op een bedrijf met droge zandgrond[1]

		Basis: stro op droog zand bij 6% extra opbrengst	Variant 1: Geen 20% stikstofverliezen tijdens composteren	Variant 2: Geen 38% lagere werkingscoëfficiënt
Toegerekende kosten	(*f*)	138657	-448	-1024
* waarvan kunstmest	(*f*)	3719	-448	-1024

[1] Alleen die posten die veranderen zijn weergegeven.

Tabel 34 laat zien dat het voor de stikstofbalans wel belangrijk is hoeveel stikstof overblijft na composteren en hoe hoog de benutting is. Wanneer er geen 20% extra stikstofverliezen tijdens compostering optreden ten opzichte van toepassing van drijfmest hoeft 16,5 kg N/ha minder stikstof uit kunstmest te worden aangevoerd. Wanneer deze verliezen wel optreden, maar de overgebleven stikstof evengoed werkt als bij drijfmest hoeft bijna 38 kg N/ha uit kunstmest minder te worden aangekocht. Beiden varianten leiden dus tot een aanzienlijke besparing.

Tabel 34 Gevolgen voor de mineralenbalans van veranderende stikstofverliezen en -benutting bij composteren met stro op een bedrijf met droge zandgrond[1]

		Basis: stro op droog zand bij 6% extra opbrengst	Variant 1: geen 20% stikstofverliezen tijdens composteren	Variant 2: Geen 38% lagere werkingscoëfficiënt
Aanvoer stikstof totaal per ha	(kg)	366,1	-16,5	-37,8
Waarvan:				
* Kunstmest	(kg)	128,7	-16,5	-37,8

[1] Alleen die posten die veranderen zijn weergegeven.

3.5.2 Gevoeligheid kosten toevoegmateriaal en mengverhouding

In voorafgaande paragrafen is naar voren gekomen dat de aankoopkosten voor toevoegmateriaal grote invloed hebben op de arbeidsopbrengst. Dit komt omdat bij compostering op een gemiddeld bedrijf al snel honderden tonnen organische materiaal nodig zijn. Bij gangbare marktprijzen voor stro (rond de ƒ150/ton) zijn de aankoopkosten al snel tienduizenden guldens. Vandaar dat het economisch interessant is om gratis restproducten als toevoegmateriaal toe te passen, liefst schone afvalproducten zoals beheersgras of snoeiafval. Aansluitend op de invloed van de kosten van toevoegmateriaal is het ook logisch dat mengverhouding belangrijk is. Hoe meer toevoegmateriaal nodig is, hoe hoger de aankoopkosten (bij stro) en ook hoe meer opslag- en verwerkingscapaciteit nodig is voor het composteringsproces. Deze hogere capaciteit brengt niet alleen extra investeringskosten voor opslagplaten mee, maar ook hogere kosten voor loonwerk en/of eigen arbeid. Omdat stro een gunstige (dus lage) mengverhouding heeft, is het wat betreft de niet-toegerekende kosten economisch gunstiger (loonwerk en kosten mestopslag) dan een product als beheersgras.
Ook speelt de composteersnelheid een belangrijke rol, immers hoe sneller de compost rijpt, hoe minder opslag nodig is. Dit is duidelijk te zien bij Bouwmans die met 4 weken een veel kortere composteringsperiode heeft dan waarvan bij de andere berekeningen is uitgegaan. Wel moet hij hiervoor vaker mengen.
De meerkosten van enkele tientallen procenten meer toevoegmateriaal bedragen op een bedrijf waarbij ongeveer 1000 m³ drijfmest wordt gecomposteerd enkele duizenden guldens terwijl de meerkosten van stro ten opzichte van beheersgras door aankoopkosten van stro al snel in de tienduizenden guldens lopen. Kortom wanneer stro ƒ150 per ton blijft, is toepassing van beheersgras economisch aantrekkelijker. Voorwaarde is dan wel dat de aanvoer van beheersgras buiten MINAS valt omdat anders bij toepassing van beheersgras de overschotheffing erg hoog wordt. Voordeel van meer toevoegmateriaal is wel dat er meer stikstof wordt aangevoerd. Hierdoor is het goed mogelijk om op kunstmest te besparen. Vooral bij toevoegen van beheersgras is dit mogelijk omdat dit een stikstofrijk product is en omdat het een hoge mengverhouding heeft.

3.5.3 Conclusies en discussie gevoeligheid

Het stikstofoverschot kan fors dalen bij een betere werking van stikstof en minder verliezen doordat minder kunstmest nodig is. Wanneer beheersgras als toevoegmateriaal wordt gebruikt en de werkingscoëfficiënt van stikstof toeneemt, hoeft in vele gevallen geen kunstmest meer te worden aangevoerd om dezelfde stikstofjaargift te behalen als in een situatie met drijfmest.
Economisch gezien heeft de verandering in aanwezigheid van werkzame stikstof geen erg grote gevolgen. Voor het kostenplaatje is het veel belangrijker welk toevoegmateriaal wordt gebruikt en welke aankoopprijs dit materiaal heeft. Omdat al snel honderden tonnen stro nodig zijn voor een gemiddeld bedrijf waar ongeveer 1000 m³ drijfmest wordt gecomposteerd, lopen de aankoopkosten voor stro al snel op tot vele tienduizenden guldens. Aanvoer van een gratis of goedkoop toevoegmateriaal zoals beheersgras is daarom wenselijk. Ook is de mengverhouding belangrijk. Hoe meer toevoegmateriaal nodig is, hoe hoger de kosten voor opslag en verwerking van compost. Daarnaast heeft de mengverhouding ook een sterke invloed op de mineralenbalans. Hoe meer stikstofrijk materiaal aangevoerd wordt, des te lager de kunstmestaankoop. Voor Minas is dit gunstig mits de aanvoer van het toevoegde materiaal buiten de MINAS aangifte blijft vallen.
Bij het bedrijf op vochthoudende zandgrond is als gevolg van extra gewasopbrengsten door compostgebruik teveel ruwvoer aanwezig. Dit wordt als positief effect van het gebruik van compost gezien en als extra opbrengst geboekt. Hoewel er in Nederland een overschot aan ruwvoer is lijkt het reëel hiervoor toch een bedrag te rekenen aangezien er over het algemeen een levendige handel in ruwvoer bestaat. Overigens zijn deze opbrengsten relatief klein vergeleken met de extra kosten die gemaakt moeten worden.

Zowel bij de vochthoudende als de droge zandgrond is bij compostering gerekend met een kleinere mestopslag. Hoewel dit in een bestaande situatie niet reëel is, lijkt het vanuit bedrijfseconomisch oogpunt terecht hiervoor minderkosten in rekening te brengen. Hetzelfde geld voor gebruik van trekker en andere werktuigen die voor andere doeleinden zijn aangeschaft maar nu ook ingezet worden bij het composteren.
In de berekeningen is er vanuit gegaan dat het beheersgras kosteloos aangevoerd kan worden. Wanneer de vraag hierna toeneemt is het niet meer reëel hiervan uit te gaan en zullen ook hiervoor kosten in rekening moeten worden gebracht. Verder is in de huidige situatie het berm- en beheersgras vaak op provinciaal niveau gegund aan een aannemer. Slechts wanneer de bereidheid bestaat hier verandering in te brengen is het bermgras beschikbaar voor compostering op een melkveebedrijf.

4 Conclusies en aanbevelingen

Uit het literatuuronderzoek kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Uit het overzicht van de gevonden literatuur wordt duidelijk dat over de processen tijdens composteren en de factoren die deze processen beïnvloeden in algemene zin zeer veel kennis bestaat en gegevens beschikbaar zijn. De compostering van dunne rundermest in combinatie met een organisch materiaal wordt echter in weinig bronnen beschreven. Aangenomen dat de processen tijdens die vorm van composteren niet echter wezenlijk verschillen, kan uit de gevonden literatuur een goed beeld gegeven worden van het verloop van het composteren van dunne mest, de factoren die daarop van invloed zijn en de eisen die daarmee gesteld worden aan de omstandigheden op een melkveebedrijf.
- Uit de gevonden literatuur wordt ook duidelijk dat alleen in algemene termen wat gezegd kan worden over de emissies tijdens composteren. Er is veel bekend over de omstandigheden die leiden tot bepaalde emissies maar of die omstandigheden zich ook werkelijk voordoen is erg afhankelijk van de manier waarop gecomposteerd wordt. De kennis en kunde van de melkveehouder is daarmee van belangrijke factor.
- Wat betreft deze kennis en kunde is in het rapport steeds uitgegaan van de veronderstelling dat de benodigde kennis van en ervaring met composteren bij de veehouder aanwezig is. Dit is niet altijd het geval. Wanneer composteren wijder toepassing vindt binnen de (melk)veehouderij zal aan het aspect van kennis- en ervaringsoverdracht voldoende aandacht moeten worden besteed om te voorkomen dat elke met compostering startende veehouder dezelfde tegenslagen krijgt te verwerken. In het buitenland zijn verschillende praktische handboeken beschikbaar die de theoretische kennis over het composteringsproces bundelen en de praktische consequenties daarvan aangeven. Op dat gebied levert het project 'Mest als kans' ook een bijdrage aan het in de juiste vorm beschikbaar maken van kennis over het composteringsproces.
- Bepaling van de stikstofbalans bij het composteren van runderdrijfmest bij individuele melkveehouders is tot nu toe niet uitgevoerd.
- Een extensieve manier van composteren biedt de meeste kans op een beperking van de emissie van ammoniak en geurstoffen.
- Door langdurige toediening van compost is het mogelijk het organisch stofgehalte in de bodem met hooguit enkele procenten te verhogen.
- De wet- en regelgeving rond composteren van drijfmest op melkveebedrijven is niet eenduidig. Een rol spelen het Besluit kwaliteit en gebruik overige organische meststoffen (BOOM) en het besluit gebruik dierlijke meststoffen (BGDM). Aanwendingsmogelijkheden verschillen afhankelijk van de samenstelling van de compost en oorsprong van het organische materiaal.
- Bij dit onderzoek was het niet mogelijk de veronderstelde effecten van het gebruik van FIR vast te stellen. De kosten van het gebruik van FIR zijn niet meegenomen in de saldoberekeningen.

De simulatieberekeningen met betrekking tot de gevolgen van composteren op twee soorten melkveebedrijven en op het bedrijf van Bouwmans leiden tot de volgende conclusies:

- Composteren met beheersgras als dragermateriaal dat gratis of goedkoop wordt verkregen leidt tot verhoging van het saldo. Dit komt door daling van kunstmest- en voerkosten.
- Bij composteren is veel toevoegmateriaal nodig. Wanneer een bedrijf stro moet aankopen voor compostering kunnen de kosten voor aankoop gemakkelijk oplopen van ƒ50.000 tot ƒ90.000. Dit heeft een sterk negatieve invloed op de arbeidsopbrengst.
- Ook als het toevoegmateriaal zoals beheersgras gratis of voor een lage prijs wordt aangekocht, daalt de arbeidsopbrengst met ƒ30.000 tot ƒ50.000 door extra kosten voor opslag van compost en toevoegmateriaal, door extra loonwerkkosten, door extra kosten voor machines en werktuigen en door meer arbeid. Door te composteren is wel minder mestopslagcapaciteit nodig. Ook wordt bespaard op de kosten voor drijfmest uitrijden.
- Het bedrijf van Bouwmans heeft een verhoging van het saldo door te composteren, maar het netto bedrijfsresultaat en de arbeidsopbrengst dalen. De daling van de arbeidsopbrengst is kleiner dan bij het bedrijf op vochthoudende zandgrond en het gemiddelde bedrijf op droge zandgrond. De oorzaken zijn:
  - veel eigen arbeid bij Bouwmans
  - veel eigen mechanisatie bij Bouwmans
  - geen plaat voor opslag beheersgras en gerijpte compost
  - proces is 4 weken bij Bouwmans ten opzichte van 13 weken bij de zandbedrijven
  - Bouwmans heeft minder beheersgras nodig dan de berekende verhouding bij de andere twee bedrijven.
- Omdat voor composteren met bermgras ruim 2 maal zoveel toevoegmateriaal nodig is als voor composteren met stro zijn de kosten voor opslag (bouwwerken) en verwerking (extra arbeid of loonwerk) van composteren met bermgras ook ƒ15.000 tot ƒ25.000 hoger dan bij toepassen van stro, afhankelijk van de hoeveelheid te composteren drijfmest (950 m³ t.o.v. 1675 m³).

- Composteren leidt tot een grote aanvoer van stikstof uit toevoegmateriaal op de mineralenbalans. Bij stro is dit voor een gemiddeld groot bedrijf op droge zandgrond ongeveer 70 kg N/ha, bij toepassing van beheersgras op hetzelfde bedrijf is dat zeven keer zoveel. Als dit niet meetelt bij Minas, daalt het overschot bij toepassen van beheersgras door minder kunstmestaanvoer. Bij toepassen van stro stijgt het licht. Telt dit wel mee, dan stijgt het overschot, ook bij toepassen van beheersgras, fors.
- Een hogere gewasopbrengst heeft per procent een positief effect op de arbeidsopbrengst van ƒ500 tot ƒ1000 bij gemiddelde respectievelijk grotere bedrijven die in deze studie zijn doorgerekend. Om de meerkosten van composteren te compenseren moeten de gewasopbrengsten tientallen procenten hoger zijn dan bij toepassing van alleen drijfmest.

Op basis van bovenstaande conclusies kunnen de volgende aanbevelingen gedaan worden:

- Omdat het gebruik van het toegevoegde organisch materiaal nogal grote invloed heeft op de uitkomsten van de economische berekeningen en de stikstofbalans is het zinvol om de mengverhouding tussen drijfmest en organisch materiaal nader te bestuderen. De mengverhouding die in dit rapport berekenend is op basis van de C/N-verhouding wijkt af van die welke in de praktijk bij het bedrijf Bouwmans wordt toegepast. Wanneer het mogelijk is om minder organisch materiaal aan te voeren heeft dit een positief effect op het saldo en de mineralenbalans.
- Naast de onzekerheden over de mengverhouding van mest en organisch materiaal is ook de organische-stofwerking nog onduidelijk. Ten dele heeft dit te maken met de lange termijn waarover de effecten bepaald moeten worden en aan de andere kant komt dat door het verschil in uitgangspunten tussen de praktijkwaarnemingen en de voorbeeldberekening. De proeven van het NMI die later in dit project gepland staan kunnen meer duidelijkheid geven over de werking van de organische stof in de compost.
- Aangezien op praktijkschaal nog vrijwel geen (stikstof)balansmetingen zijn gedaan lijkt het zinvol deze op korte termijn uit te voeren. Naar aanleiding van die resultaten kunnen voorstellen gedaan worden om het effect van verschillende sturingsfactoren op het vrijkomen van ammoniak en geurstoffen te onderzoeken.
- Aannames uit de praktijk dat door het gebruik van compost via een verbeterde kwaliteit van het ruwvoer ook een positief effect op diergezondheid te verwachten is, zijn niet meegenomen in de modelberekeningen. Het loont de moeite om deze veronderstellingen te verifiëren.

Literatuur

Alem, van G.A.A. en A.T.J. van Scheppingen, 1993, *The development of a farm budgeting program for dairy farms,* Proceedings XXV CIOSTA-CIGR V CONGRESS, p. 326-331.

Beck, J., M. Käck , A. Hentschel, K. Csehi, T. Jungbluth, 1997, *Ammonia emission from composting animal wastes in reactors and windrows*, In: Proceedings of the international symposium on Ammonia and odour control from animal production facilities, Voermans, J. A. M. en G.J. Monteny (eds.), Vinkeloord 6-10 october 1997, pp. 381-388.

Boersema, J.J., D. de Ridder, C. Schaffels, H. Slagter, 1987, *Komposteren van organisch materiaal*, Ivem rapport 20, IVEM, Groningen, 109 p.

Driessen, J.J.M. en A.H. Roos, 1996, *Zware metalen, organische micro-veontreinigingen en nutriënten in dierlijke mest, compost, zuiveringsslib, grond en kunstmeststoffen*. Rikilt-dlo rapport nr. 96.16, Wageningen.

Ginkel, J.T. van, 1996, *Physical and biochemical processes in composting material*, Thesis, Landbouwuniversiteit Wageningen, 179 p.

Groffman, P.M., 1991, *Ecology of nitrification ans denitrification in soil evaluated at scales relevant to atmospheric chemistry*, In: Microbialproduction and consumption of greenhouse gases: methane, nitrogen oxides and halomethanes, J.E. Rogers en W.B. Whitman (Eds.), American Society for microbiology, Washington D.C., 298 p.

Haug, R.T., 1993, *The practical handbook of compost engineering*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA, 717 p.

Hendriks, J.G.L., 1999, *Voorstudie naar de mogelijkheden van het composteren van strorijke varkensmest*, Rapport P3.166, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, 53p.

Hamelers, H.V.M., 1993, *A theoratical model of composting kinetics*, In: Science and engineering of composting: desing, environmental, microbiological and utilization aspects, Hoitink, A.J., H.M. Keener (eds.), Renaissance Publishers, Ohio.

Hamelers, H.V.M., V. de Wilde, A.H.M. Veeken, 1998, *Extensieve compostering van de dikke fractie van zeugenmest*, rapport 98-3, Vakgroep Milieutechnologie, Landbouwuniversiteit Wageningen, 43p.

Handboek Meststoffen, 2000, Nutrienten Management Instituut NMI, Wageningen.

Hedel, R.J.G., 1999, *Gecombineerde compostering van groenafval en mest*, TNO-MEP-R99/532, Apeldoorn, 61 p.

Heuvel, E. van der, en J.K. Gigler, 1998.

Janssen, B.H. en H.W. Verveda, 1983, *Organische stof en bodemvruchtbaarheid. Caputa selectum in het kader van Bodemvruchtbaarheid en bemesting*. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding, LH Wageningen.

Käck, M., 1996, *Ammoniakemissionen bei der Kompostierung separierter Feststoffe aus Flüssigmist in belüfteten Rottereaktoren*, Forschungsbericht Agrartechnik des arbeitskreises Forschung un Lehre de Max-Eyth-Gesellschaft im VDI (VDI-MEG) 285, Dissertation, Hohenheim, 193 p.

Kolenbrander, G.J. en L.C.N. de la Lande Cremer, 1967, *Stalmest en gier: waarde en mogelijkheden*, Veenman, Wageningen, 188 p.

Kreuk, M.K. de, 1997, *Fysische eigenschappen van compostbedden*, Afstudeerscriptie 1138, Vakgroep Agrotechniek en –fysica, Landbouwuniversiteit Wageningen, 64p.

Lande Cremer, L.C.N. de la, 1984, *Toevoegmiddelen aan mest en compost*, Landbouwmechanisatie, 35 (8), pp. 812-817.

Leidraad Mest, 2001, Beleidskader voor mestbewerkingsinitiatieven. Bestuurlijk Platform Mest Noord-Brabant.

Mandersloot, F., A.T.J. van Scheppingen en J.M.A. Nijssen, 1991, *Modellen rundveehouderij: Overzicht en onderlinge samen modellen voor simulatie van melkveebedrijven,* PR, Lelystad, PR-publicatie nr. 72.

Mandersloot, F., 1992, *Bedrijfseconomische gevolgen beperking stikstofverliezen op melkveebedrijven,* PR, Lelystad, PR-rapport nr. 138.

Meststoffenwet c.a. M17, delen 1 en 2, Koninklijke Vermande, Lelystad.

Ministerie van VROM, 2001, *Richtlijn Mestverwerkingsinstallaties,* Publicatie InfoMil, LA01 Landbouw, http://www.infomil.nl.

Ministerie van LNV, 1999, *Wijziging Vrijstellingsregeling mestbe- en verwerking*, Staatscourant 1999, nr. 50, pp. 17.

Olde Olthuis, G.J. en E.J. Ros, 1989, *Compostering van varkensmest*, Doctoraalscriptie, Vakgroep Landbouwtechniek, Landbouwuniversiteit, Wageningen, 52 p.

Osada, T., K. Kuroda, M. Yonaga, 1997, *N_2O, CH_4, and NH_3 emissions from composting of swine waste*, In: Proceedings of the international symposium on Ammonia and odour control from animal production facilities, Voermans, J. A. M. en G.J. Monteny (eds.), Vinkeloord 6-10 october 1997, pp. 373-380.

PR, 1997, *Kwantitatieve informatie veehouderij 1997 – 1998*, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.

Praktijkgids Bemesting, 2000, Nutrienten Management Instituut NMI, Wageningen.

Rexilius, R., 1990, *Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Feststoffabtrennung aus Flüssigmist und zur Feststoffkompostierung*, Forschungsbericht Agrartechnik des arbeitskreises Forschung un Lehre de Max-Eyth-Gesellschaft (MEG) 185, Dissertation, Hohenheim, 228 p.

Richard, T.L. 1996, *The effect of lignin on biodregadability*, Op: Cornel compost science, http://www.cfe.cornell.edu/compost, Ithaca, USA.

Robertson, L.A. en J.G. Kuenen, 1991, *Physiology of nitrifying and denitrifying bacteria*, In: Microbialproduction and consumption of greenhouse gases: methane, nitrogen oxides and halomethanes, J.E. Rogers en W.B. Whitman (Eds.), American Society for microbiology, Washington D.C., 298 p.

Rynk, R. (ed.), 1992, *On Farm Composting*, NRAES-54, Ithaca, New York, 186 p.

Schils, R., 2001, *De stikstofwerking van compost in het jaar van toediening*, Voortgangsrapportage Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Schreuder, R., J.C van Middelkoop, J. Aalenhuis en F. Mandersloot, 1995, *Mineralenstroom: milieumodule in BBPR,* PR, Lelystad, PR-publikatie nr. 99.

Schreuder, R., F. Mandersloot en van A.T.J van Scheppingen, 1996, *Verkenning gevolgen verliesnormen voor fosfaatbemesting, mestafzet en inkomen op melkveebedrijven*, Intern PR-rapport 295, juni 1996.

Smit S., 1999, *Van groenafval en mest tot ecologische compost*, Afstudeerscriptie HAS, Den Bosch.

Steinbuch, L. en J. Bokhorst, 1999a, *Werkdocumenten Composteringsproces en techniek van het composteren,* Mest als Kans, Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Steinbuch, L., J. Bokhorst, 1999b, *Ziektewerendheid van compost*, In: Mest als kans, Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Veeken, 2001, persoonlijke communicatie.

Vereniging tot behoud van boer en milieu, milieu. *Duurzame veehouderij met behulp van het FIR-systeem,* Brochure. Carbo Holland BV, Warga.

Wei Shi, J.M. Norton, B.E. Miller, M.G.Pace, 1999, *Effect of aeration and moisture during windrow composting on the nitrogen fertilizer values of dairy waste composts*, Applied Soil Ecology 11 (1999), pp. 17-28.

Werkgroep Normen Voor de voedervoorziening, 1991, *Normen voor de Voedervoorziening*, PR, Lelystad, PR-publikatie nr 70.

Wijk, A. van, J.G. Cornelissen, 1983, *Het composteren van wegbeheersgras*, Imag rapport 51, IMAG, Wageningen, 28 p.

Bijlagen

Bijlage 1 Uitgangspunten berekening bedrijf op droge en vochthoudende zandgrond

Kostenpost	Benodigde gegevens		Bron
algemeen	rentepercentage	5%	LEI
	dichtheid compost begin	700 kg/m³	Veeken, WUR 19??
	dichtheid compost eind	550 kg/m³	Veeken, WUR 19??
	toevoeging stro bij drijfmest	380 kg/ton	pers med Hanegraaf, NMI
	toevoeging beheersgras bij drijfmest	910 kg/ton	pers med Hanegraaf, NMI
	aankoop stro	ƒ 150/ton	prijs in BBPR
	aankoop beheersgras	gratis	Inschatting
opslag stro/beheersgras	dichtheid van stro	135 kg/m³	On farm composting handbook
	dichtheid van beheersgras	180 kg/m³	On farm composting handbook
	hoogte stro opslag	5 m	Inschatting
	oversteek afdekzeil	3 m	Inschatting
	prijs klinkerverharding	ƒ 45/m²	KWIN pg 91
	prijs puinverharding	ƒ 20/m²	gegevens Lagekostenbedrijf
	kosten afdekzeil per jaar	ƒ 0.63/m²	gegevens Lagekostenbedrijf
	afschrijving klinkerverharding	3%	KWIN pg 91
	onderhoud klinkerverharding	1.5%	KWIN pg 91
	afschrijving puinverharding	3%	KWIN pg 91
	onderhoud puinverharding	0.5%	KWIN pg 91
composteringsplaat	breedte compostrug onderkant	3.5 m	Henkriks, 1999
	breedte compostrug bovenkant	1 m	Henkriks, 1999
	hoogte compostrug	1.5 m	Henkriks, 1999
	rijbreedte tussen ruggen	2.5 m	Henkriks, 1999
	prijs composteringsplaat	ƒ 80/m²	KWIN pg 91
	afschrijving plaat	3%	KWIN pg 91
	onderhoud plaat	0.5%	KWIN pg 91
	vervangingswaarde putje lekvocht	ƒ 1950	KWIN pg 196
	afschrijving putje	5%	KWIN pg 196
	onderhoud putje	1.5%	KWIN pg 196
	prijs worteldoek	ƒ 5/m²	pers med Verbruggen
	afschrijving worteldoek	20%	pers med Verbruggen
	prijs overkapping	ƒ 85/m²	Olde Olthuis, 1989
	afschrijving overkapping	5%	Olde Olthuis, 1989
	onderhoud overkapping	2%	Olde Olthuis, 1989
opslag gerijpte compost	opslaghoogte	3 m	Inschatting
	hoogte sleuf	1 m	Inschatting
	prijs opslagplaat	ƒ 80/m²	KWIN pg 91
	afschrijving opslagplaat	3%	KWIN pg 91
	onderhoud opslagplaat	0.5%	KWIN pg 91
	prijs sleuf	ƒ 150/m²	KWIN pg 196
	afschrijving sleuf	5%	KWIN pg 196
	onderhoud sleuf	1.5%	KWIN pg 196
	prijs worteldoek	ƒ 5/m²	pers med Verbruggen
	afschrijving worteldoek	20%	pers med Verbruggen

Kostenpost	**Benodigde gegevens**		**Bron**
drijfmestopslag	vervangingswaarde drijfmestopslag	divers	afh van situatie (BBPR)
	afschrijving drijfmestopslag	5%	BBPR
	onderhoud drijfmestopslag	2.5%	BBPR
loonwerk:			
* overpompen mest/lekvocht	tarief mest overpompen (pomptank)	ƒ 1.5/m³	KWIN pg 114
* stro verplaatsen	capaciteit stro verplaatsen	6 ton/uur	gegevens Lagekostenbedrijf
	tarief stro verplaatsen	ƒ 90/uur	gegevens Lagekostenbedrijf
* compost verplaatsen	capaciteit overzetten naar opslag	100 m³/uur	pers med loonwerker M. Timmer
	tarief compost verplaatsen	ƒ 95/uur	pers med loonwerker M. Timmer
* uitrijden compost over land	tarief compost uitrijden	ƒ 6/ton	gegevens Lagekostenbedrijf
arbeid mengen compost	aantal keren compost mengen	wekelijks	inschatting
	capaciteit portaalmenger	500 m³/uur	maximum (p m Verbruggen)
	berekend loon eigen arbeid	ƒ 39.57/uur	KWIN pg 85
Machines en werktuigen:			
* portaalmenger	vervangingswaarde portaalmenger	ƒ 48500	www.lmcgennep.nl
	restwaarde portaalmenger	10%	inschatting
	levensduur portaalmenger	10 jaar	inschatting
	onderhoud en verzekering	4%	KWIN pg 102 (meststrooier)
* tractorkosten mengen	brandstofprijs	70 cent/l	KWIN pg 124
	brandstofverbruik	14 l/uur	boekje Zetor 80 pk
	vervangingswaarde tractor	ƒ 75000	KWIN pg 101
	afschrijving tractor	7.5%	KWIN pg 101
	onderhoud en verzekering	4%	KWIN pg 101
	tractorgebruik compost mengen	7%/jaar	inschatting

Bijlage 2 Uitgangspunten berekeningen bedrijf Bouwmans

Algemene uitgangspunten berekeningen:
- 67 koeien en 52 stuks jongvee die 1545 m³ mest in de put produceren
- productie zeugenmest: 1160 m³ (als aanvoer geboekt)
- ruim 1000 m³ melkveemest wordt gecomposteerd
- 16,5 ha grasland Gt V
- 7,7 ha beheersgrasland van Staatsbosbeheer Gt V
- 11,7 ha maïsland Gt VII
- melkquotum van 557.824 kg en 22.000 kg lease
- uitrijden drijfmest en compost gebeurt in eigen beheer
- 300 kg beheersgras door 1 m³ drijfmest mengen
- voor composteringsproces zelfde uitgangspunten als bij voorbeeldberekeningen, echter is hier de duur van 1 composteringsronde geen 12 maar 4 weken
- iedere twee weken een composthoop opzetten
- 25% extra stikstofverliezen ten opzichte van drijfmest tijdens composteren en 60% werkingscoëfficiënt van de stikstof in de compost
- stikstofjaargift van 238 kg N/ha op grasland, waarvan 60 tot 70 kg N/ha in de vorm van kunstmest

Extra kosten deel composteren t.o.v. volledig drijfmest aanwenden op bedrijf van Bouwmans:
- kosten zelfrijdende menger, aanschaf ƒ16.000
- kosten stalmeststrooier, aanschaf ƒ25.000 (KWIN)
- kosten 800 m² composteringsplaat, 36 meter sleuf en putje, vervangingswaarde ongeveer ƒ135.000
- extra tractorkosten (met voorlader), 520 uur per jaar is extra nodig voor mest omzetten, beheersgras verplaatsen en compost uitrijden, 20% van de totale gebruikstijd van de tractor is ingeschat voor werkzaamheden die extra zijn t.o.v. alleen drijfmest toepassen
- voor de bovenstaande 520 uur zijn ook extra arbeidskosten berekend