

Inventarisatie, toepasbaarheid en klimaateffecten van producten van mest

In opdracht van en gefinancierd door:



PRODUCTSCHAP AKKERBOUW

Dit project is uitgevoerd door:

Auteur(s):

Romke Postma

Debby Van Rotterdam- Los

René Schils

Kor Zwart

Peter van Erp

Organisatie:

(NMI)

(NMI)

(Alterra)

(Alterra)

(BLGG Research)

Projectnummer: 1473.N.11

Dit project maakt deel uit van het Masterplan Mineralenmanagement (MMM). Het MMM is een initiatief van LTO Nederland, de Nederlandse Akkerbouw Vakbond en het Productschap Akkerbouw. Binnen het MMM voeren diverse partijen gezamenlijk onderzoeks- en voorlichtingsprojecten uit op het gebied van bodem, bemesting en water.

Dit rapport is eveneens terug te vinden op www.kennisakker.nl.



BLGG RESEARCH

Voor uw vragen over het MMM kunt u zich wenden tot Tjitse Bouwkamp (PA).

Louis Braillelaan 80 • Postbus 908 • 2700 AX Zoetermeer

☎ 070 379 75 13 • ✉ mmm@hpa.agro.nl • www.kennisakker.nl

Dit rapport is een uitgave van **NMI BV**

© **Wageningen, februari 2013**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van **NMI BV**

Hoewel de inhoud van deze uitgave met zorg is samengesteld, kunnen hieraan op geen enkele wijze rechten worden ontleend.

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1. Inleiding	9
2. Mestverwerking: achtergrond en technieken	11
2.1 Achtergrond	11
2.2 Mestscheiding	11
2.3 Opwerken dikke fractie	13
2.4 Opwerken dunne fractie	13
2.5 Vergisting	16
2.6 Samenvatting	17
3. Inventarisatie en karakterisatie van mestverwerkingsproducten	19
3.1 Selectie mestverwerkingsproducten	19
3.2 Chemische samenstelling	20
3.2.1 Algemeen	20
3.2.2 Droge stof (DS), organische stof (OS) en fosfaat (P)	21
3.2.3 Stikstof (N) en kalium (K)	22
3.2.4 Verhouding tussen nutriënten	23
3.2.5 Concluderend	23
3.3 Stikstofwerkingscoëfficiënten	24
3.3.1 Definitie	24
3.3.2 Methoden voor het bepalen van de N-werkingscoëfficiënt	24
3.3.3 N-werkingscoëfficiënten van onbewerkte mesten	25
3.3.4 Onderzoek naar de N-werking van producten van mestbewerking en mestverwerking	26
3.3.5 Berekening van N-werkingscoëfficiënten van de beschouwde producten van mest	28
3.3.6 Overzicht N-werkingscoëfficiënt van producten van mest	30
3.4 Verzurende werking	32
3.5 Wettelijke aspecten	32
3.6 Prijzen van de producten	33
3.7 Samenvatting	33
4. Inzetbaarheid mestverwerkingsproducten op representatieve bedrijven	35
4.1 Werkwijze	35
4.2 Stap 1: Beschrijving modelbedrijven in uiteenlopende regio's	35
4.3 Stap 2: behoefte aan nutriënten op de modelbedrijven	36
4.3.1 Stap 2a: Behoeftte volgens bemestingsadviezen	36
4.3.2 Stap 2b. Toegestane aanvoer aan N en P volgens gebruiksnormen	37
4.3.3 Stap 2c. Vaststellen van behoefte op basis van bemestingsadviezen en gebruiksnormen	38
4.4 Stap 3: Bepalen inzetbaarheid mestverwerkingsproducten	39
5. Milieukundige beoordeling en klimaateffecten	49
5.1 Werkwijze	49
5.1.2 Kunstmest	53
5.1.3 Dierlijke mest	53
5.1.4 Transport	55
5.1.5 Nitraatuitspoeling	55
5.1.6 Indirecte lachgasemissie	55

5.1.7	Bekalking	56
5.2	Resultaten	56
5.2.1	Verwerkte mest en kunstmest	56
5.2.2	Verwerkte mest	57
5.2.3	Transportafstand	60
5.3	Conclusies	60
6.	Synthese	63
7.	Literatuur	69
Bijlage 1. Bepaling van de nutriëntenbehoefte volgens bemestingsadvies; achtergrond		73
Bijlage 2. Vergelijking van de gewasbehoefte en de eigenschappen van producten van mest		79
Bijlage 3. Achtergrondgegevens bij de milieukundige beoordeling en klimaateffecten		83

Samenvatting en conclusies

De akkerbouw krijgt de komende jaren te maken met een toenemende stroom van producten uit be- en verwerkte dierlijke mest. De afgelopen jaren zijn deze producten vooral gebruikt in onderzoeksprojecten, zoals de Pilot Mineralenconcentraten die loopt van 1 januari 2009 tot 31 december 2013. Daardoor is de toepassing tot nu toe kleinschalig en experimenteel. Door beleidsvoornemens op dit terrein zal dit de komende jaren waarschijnlijk snel veranderen en zullen producten van mestverwerking op veel grotere schaal beschikbaar komen. Voor de akkerbouw is het belangrijk om na te gaan in hoeverre de mestverwerkingsproducten inzetbaar zijn en onder welke voorwaarden dat het geval is. Daarom wordt daar in het kader van het Masterplan Mineralen Management (MMM) onderzoek aan gedaan. Het hier beschreven onderzoek is uitgevoerd door een consortium van NMI, Alterra en BLGG Research en bestond uit i) de achtergrond en technieken van mestverwerking, ii) een inventarisatie en karakterisering van de producten van mest, iii) de toepasbaarheid ervan in de akkerbouw en iv) de klimaateffecten van mestverwerkingsproducten.

Achtergrond en technieken van mestverwerking

- In deze studie verstaan we onder mestverwerking i) het scheiden van mest in een dikke en een dunne fractie, al dan niet gevolgd door een verdere opwerking van die fracties, ii) (co-) vergisting van mest, of iii) een combinatie van vergisten en scheiden.
- De dikke fractie die ontstaat na mestscheiding en die rijk is aan P en organische stof, kan direct worden ingezet als meststof of worden opgewerkt door droging, compostering en/of hygiënisatie. Een alternatieve route is dat de dikke fractie dient als input voor vergisting. Het resterende digestaat kan vervolgens weer worden gescheiden, waarbij de dikke fractie wordt gedroogd.
- De dunne fractie die ontstaat na mestscheiding of scheiding van digestaat en die rijk is aan N en K, kan direct worden toegepast als meststof of worden opgewerkt door ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Daarbij ontstaat een mineralenconcentraat (ca. 1/3) en een permeaat (ca. 2/3). In het kader van de Pilot Mineralenconcentraten heeft het mineralenconcentraat van een aantal aangewezen bedrijven (tijdelijk) een kunstmeststatus en kan worden ingezet als N- en K-meststof.

Inventarisatie en karakterisering van de producten van mest

- De N-gehalten in mestproducten en Betafert liggen een factor 25-100 x lager dan in reguliere kunstmest, zoals kalkammonsalpeter. Daardoor zijn de benodigde volumes voor toediening veel groter.
- De verhouding tussen nutriënten in de producten, zoals het N/P- en het N/K-gehalte, verschilt sterk tussen de producten. Dit is een belangrijke eigenschap voor de inzetbaarheid als meststof.
- De samenstelling van dierlijke mesten varieert soms aanzienlijk. Bij mineralenconcentraten, zeker als die afkomstig zijn van een bepaalde productielocatie, zal dat minder sterk het geval zijn.
- De N-werkingscoëfficiënten van producten van varkensmest zijn hoger dan van rundermest, uitgezonderd het mineralenconcentraat van het rundermest-digestaat. N-werkingscoëfficiënten van dikke fracties zijn lager en van dunne fracties hoger dan van onbewerkte mesten. Het verschil in N-werking tussen dunne fractie en

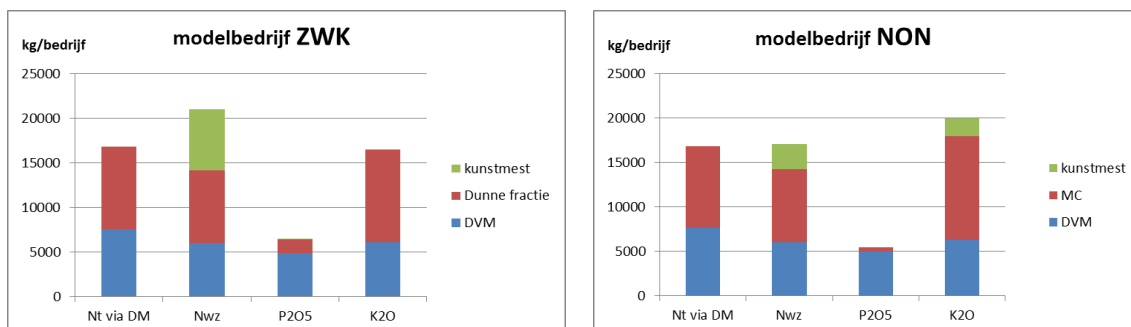
mineralenconcentraten is voor de varkensmesten gering.

- De wettelijke status van de producten is van invloed op de toe te dienen hoeveelheid N en op de toegestane periode van toediening: met producten met een dierlijke meststatus mag maximaal 170 kg N per ha worden toegediend, terwijl dat voor andere producten niet geldt.
- Producten van mest, Betafert en spuiwater zijn per eenheid beschikbaar nutriënt goedkoper dan kunstmest.

De inzetbaarheid van mestverwerkingsproducten is in beeld gebracht voor vijf modelbedrijven die representatief zijn voor vijf akkerbouwregio's: een graanbedrijf op noordelijke zeeklei (NZK), een pootgoedbedrijf op de centrale zeeklei (CZK), een consumptieaardappelbedrijf op zuidwestelijke zeeklei (ZWK), een zetmeelaardappelbedrijf op noordoostelijke zand- en dalgrond (NON) en een intensief akkerbouwbedrijf op zuidoostelijke zandgronden (ZON). Verder zijn een aantal uitgangspunten gehanteerd:

- De nutriëntenbehoefte wordt bepaald door de bemestingsadviezen en de gebruiksnormen.
- Voor alle modelbedrijven werd uitgegaan van een basisbemesting met dunne varkensmest. Voor de bedrijven op klei- en zandgrond wordt hierbij uitgegaan van een gift waarmee respectievelijk 75 en 90% van de P-behoefte op bedrijfsniveau wordt ingevuld.
- Er wordt op bedrijfsniveau niet meer N (totaal en werkzaam), P én K aangevoerd dan de behoefte.

In Figuur A.1 wordt een mogelijke invulling van het meststoffenplan voor 2 modelbedrijven weergegeven.



Figuur A.1. Mogelijke invulling van het meststoffenplan voor modelbedrijf ZWK en NON (areaal 100 ha).

Hieruit blijkt dat op basis van de uitgangspunten op het bedrijf op zeeklei (ZWK) het meststoffenplan naast de onbewerkte dunne varkensmest kan worden ingevuld met de dunne fractie van varkensmest en kunstmest of producten met vergelijkbare eigenschappen. Voor het bedrijf op zandgrond (NON) is mineralenconcentraat een meer aangewezen product om in aanvulling op de varkensmest aan de nutriëntenbehoefte te voldoen. Het verschil tussen de klei- en zandgrond wordt vooral bepaald door de mate waarin de P-gebruiksruimte is ingevuld met mest.

Klimaateffecten worden bepaald door de uitstoot van broeikasgassen kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) tijdens de hele keten vanaf het moment tot uitscheiding door het dier tot het moment van gewasopname van de nutriënten uit de meststoffen. Een beschouwing daarvan heeft geleid tot de volgende bevindingen:

- Mestbewerking heeft uiteenlopende effecten op de uitstoot van broeikasgassen:
 - Tijdens de opslag is de lachgasemissie van dikke fracties hoger dan die van

onbewerkte mest en dunne fracties.

- De methaanemissie tijdens de opslag van dikke en dunne fracties is lager dan die van onbewerkte mest. Bij co-vergisting treedt nauwelijks methaanemissie op.
- Elke bewerkingsstap kost energie en gaat dus gepaard met uitstoot van koolstofdioxide. Echter bij co-vergisting wordt netto energie bespaard en daalt de emissie van koolstofdioxide.
- Mestscheiding resulteert per saldo in lagere emissies van broeikasgassen, vooral vanwege lagere methaanemissies tijdens de opslag.
- Co-vergisting resulteert per saldo in lagere emissies vanwege de vermeden methaanemissie uit de opslag en de productie van energie.
- De productie van mineralenconcentraat resulteert in hogere emissies van broeikasgassen dan de niet verder bewerkte dunne fractie.

De beoordeling van de producten van mest en andere producten is samengevat in Tabel A.2, waarbij naast de nutriëntenlevering en klimaateffecten tevens andere criteria, zoals de organische stoflevering, kosten, wettelijke aspecten, logistiek en toedieningsaspecten zijn beoordeeld.

Tabel A.2. Samenvatting van de kwalitatieve beoordeling van producten van mest op basis van een aantal criteria. DVM= dunne varkensmest; DRM= dunne rundermest; dig. = digestaat; OS= organische stoflevering. Met ++. +. +/- en – zijn scores van zeer goed tot slecht weergegeven.

Mestsoort	Fractie	Nutriënten -levering	OS- levering	kosten	Wettelijk logistiek	Toedie- ning	klimaat- effecten
DVM	Onbewerkt	+	+/-	++	-	-	-
DVM	Dikke fractie	+/-	+	++	+	-	+/-
	Dunne	++					-
DVM	fractie		-	++	-	-	
DVM	MC	+++	-	+	+	-	-
DVM dig.	Onbewerkt	+	-	++	-	-	++
DVM dig.	Dikke fractie	+/-	+	++	+	-	+
	Dunne	++					++
DVM dig.	fractie		-	++	-	-	
DVM dig.	MC	+++	-	+	+	-	++
DRM	Onbewerkt	+	+	++	-	-	-
DRM	Dikke fractie	-	+	++	+	-	+/-
	Dunne	++					-
DRM	fractie		-	++	-	-	
DRM	MC						
DRM dig.	Onbewerkt	+	+	++	-	-	++
DRM dig.	Dikke fractie	-	+	++	+	-	++
	Dunne	++					++
DRM dig.	fractie		-	++	-	-	
DRM dig.	MC	+++	-	+	+	-	++
KAS		+++	-	-	+	++	+
TSP		+++	-	-	+	++	+
Urean		++	-	-	+	+	+
APP		+++	-	-	+	+	+
Spuiwater		+++	-	+	+	+/-	+/-
Vaste RM	onbewerkt	+/-	+	+	+	+/-	+/-
Vaste		+/-					+/-
VKM	onbewerkt		+	+	+	+/-	
Betafert	onbewerkt	+		+	+	-	-
	Dikke fractie	+/-	+	+	+	-	-
	Dunne	++					-
	fractie			+	+	-	

¹⁾ n.b. = niet bepaald.

Een eenduidig eindoordeel over de producten is moeilijk te geven, omdat dit afhangt van de eisen die er aan worden gesteld. Het gebruiksdoel, lokale omstandigheden, de persoonlijke voorkeur van de akkerbouwer en/of aanvullende eisen zijn daarbij van belang en zullen bepalend zijn voor de uiteindelijke meststofkeuze. Zo zal een akkerbouwer op kleigrond met een slechte draagkracht die een hoge en betrouwbare levering van nutriënten en gemak van werken belangrijk vindt wellicht tot een andere keuze komen dan een akkerbouwer op zandgrond die de aanschafkosten van meststoffen de hoogste prioriteit geeft. Akkerbouwers die duurzaamheid hoog in het vaandel

hebben en de CO₂-voetafdruk zoveel mogelijk willen beperken, zullen het gebruik van producten van (co-)vergisting positief beoordelen.

We concluderen dat alle producten van mest inzetbaar zijn in de akkerbouw, maar dat de toepassing afhangt van lokale omstandigheden (grondsoort, prijs producten), de voorkeur van de akkerbouwer, de toedieningsmogelijkheden, de andere meststoffen in het meststoffenplan en/of aanvullende eisen van afnemers van akkerbouwproducten. Akkerbouwers die duurzaamheid hoog in het vaandel hebben en de CO₂-voetafdruk zoveel mogelijk willen beperken, zullen het gebruik van producten van (co-)vergisting positief beoordelen.

1. INLEIDING

De akkerbouw krijgt de komende jaren te maken met een toenemende stroom van producten uit be- en verwerkte dierlijke mest. De afgelopen jaren zijn deze producten vooral gebruikt in onderzoeksprojecten, zoals de Pilot Mineralenconcentraten die loopt van 1 januari 2009 tot 31 december 2013 (zie onder andere www.mestverwerken.wur.nl). Daardoor is de toepassing tot nu toe kleinschalig en experimenteel. Door beleidsvoornemens op dit terrein (zie verder) zal dit de komende jaren waarschijnlijk snel veranderen en zullen producten van mestverwerking op veel grotere schaal beschikbaar komen.

In dit kader is de brief van Staatssecretaris Bleker van het Ministerie van EL&I en Staatssecretaris Atsma van het Ministerie van I&M van 28 september 2011 over het toekomstig mestbeleid van belang. Daarin werd aangekondigd dat i) in de toekomst een deel van het mestoverschot op veehouderijbedrijven verplicht moet worden verwerkt en ii) dat de overheid zich zal inspannen om voor hoogwaardige mineralenconcentraten bij de Europese Commissie een kunstmeststatus te verkrijgen. In een brief van Staatssecretaris Bleker van 29 juni 2012 is aangegeven dat in de zomer van 2012 een wetsvoorstel is ingediend waarin de invoering van een stelsel van verantwoorde mestafzet en verplichte mestverwerking is beschreven. Het streven van de Staatssecretaris was om dit stelsel per 1 januari 2013 in te laten gaan. In het wetsvoorstel zijn o.a. de percentages van het overschot aan mest genoemd dat verplicht verwerkt moet worden. Deze verschillen per regio en lopen voor regio zuid op van 10% in 2013 tot 50% in 2015 (voorlopig), voor regio oost van 5% (2013) tot 30% (2015) en voor de overige regio's van 0 tot 10% (2015). Onder mestverwerking wordt in het kader van het wetsvoorstel verstaan i) het zodanig bewerken van dierlijke mest dat het niet langer wordt aangemerkt als dierlijke mest (zoals dat bij mineralenconcentraten in de pilot het geval is) of ii) export. In deze studie hanteren we een bredere definitie en maken we geen onderscheid tussen mestbewerking en mestverwerking (zie volgende hoofdstuk).

Voor de akkerbouw is het belangrijk om na te gaan in hoeverre de mestverwerkingsproducten inzetbaar zijn en onder welke voorwaarden dat het geval is. Aangezien er sprake is van een groot aantal technieken, is het scala aan producten van mestverwerking breed. De beschikbaarheid, landbouwkundige en milieukundige eigenschappen van die producten verschillen nogal, zodat een inventarisatie en beoordeling van de (mogelijke) producten van mestverwerking zinvol is. Daarom heeft Productschap Akkerbouw (PA) in het kader van het Masterplan Mineralen Management (MMM) onderzoek laten uitvoeren naar i) een inventarisatie van de producten van mest, ii) de toepasbaarheid ervan in de akkerbouw en iii) de klimaateffecten van mestverwerkingsproducten. PA heeft daartoe een aanbestedingsprocedure in gang gezet, waarbij het betreffende project is gegund aan een consortium van NMI, Alterra en BLGG Research. In het voorliggende rapport worden de opzet en resultaten van de studie beschreven.

Voor de mogelijke inzet van producten van mestverwerking in de akkerbouw is de volgende inventarisatie uitgevoerd:

- A. Beschrijving van de beschikbaarheid, karakteristieken en toepasbaarheid van mestverwerkingsproducten (vooral beoordeling op basis van landbouwkundige, wettelijke, economische, logistieke en praktische aspecten). De 4 stappen bij dit onderdeel zijn i)

Inventarisatie en selectie producten, ii) Inventarisatie wettelijke, logistieke, economische en praktische kenmerken, iii) beschrijving behoefte op akkerbouwbedrijven en iv) toepasbaarheid mestverwerkingsproducten. Dit is gedaan door een combinatie van literatuuronderzoek, eigen kennis en ervaring en interviews (mestverwerkers, transporteurs, coöperaties).

- B. Beschrijving van de milieukundige beoordeling (op basis van energieverbruik en emissies). Deze bestaat uit 3 stappen, namelijk i) selectie mestproducten, ii) definitie van mestketen en iii) een LCA-analyse.
- C. Synthese, met conclusies en aanbevelingen. Hierbij gaat het vooral om de combinatie van de landbouwkundige beoordeling uit onderdeel A en de milieukundige beoordeling in onderdeel B en de vertaling daarvan in een eindoordeel van de producten.

In Hoofdstuk 2 is ingegaan op de achtergrond en technieken van mestverwerking, in Hoofdstuk 3 op de selectie en karakteristieken van producten van mest, in Hoofdstuk 4 op de inzetbaarheid van die producten op modelbedrijven in een aantal belangrijke akkerbouwregio's, in Hoofdstuk 5 op klimaat effecten van de producten en in Hoofdstuk 6 vindt de synthese plaats.

2. MESTVERWERKING: ACHTERGROND EN TECHNIEKEN

2.1 Achtergrond

Een mineralenoverschot in gebieden met intensieve veeteelt heeft in het verleden geleid tot een relatief hoge bemesting van landbouwgrond en daarmee gepaard gaande emissies van stikstof (N) en fosfaat (P) naar aangrenzende milieucapartimenten. De toegestane giften aan dierlijke mest, werkzame N en P worden op dit moment gereguleerd via een stelsel van gebruiksnormen. In overschotgebieden is hierdoor geen plaatsingsruimte voor een gedeelte van de geproduceerde mest. Tot voor kort werd al deze drijfmest getransporteerd naar akkerbouwgebieden met een behoefte aan mest.

Door het aanscherpen van de P-gebruiksnormen en het beperken van de uitrijperioden neemt de plaatsingsruimte voor dierlijke mest verder af en wordt deze in toenemende mate bepaald door de hoeveelheid P. Het is de verwachting dat er in 2013 voor 19 miljoen kg fosfaat uit varkensmest in Nederland geen afzetmarkt bestaat (Groenendijk et al., 2012).

Behalve deze regionale en landelijke maatregelen zal de overheid gaan sturen op afzetgaranties van geproduceerde mest en het verplicht verwerken van een deel van het overschot (Brieven Bleker november 2011 en juni 2012).

Als gevolg van de nieuwe mestwetgeving en aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen zal steeds meer mest worden verwerkt. In deze studie verstaan we onder mestverwerking het volgende:

- het scheiden van mest in een dunne en dikke fractie waarbij beide fracties verder kunnen worden opgewerkt. Voor de dikke fractie kan de verdere verwerking bijvoorbeeld droging zijn en voor de dunne fractie ultrafiltratie en omgekeerde osmose;
- het (co-)vergisten van mest waarbij digestaat wordt gevormd;
- een combinatie van scheiden en (co-) vergisten waarbij de dikke fractie van reeds gescheiden mest wordt vergist en/of het gevormde digestaat wordt gescheiden.

2.2 Mestscheiding

Algemeen

Mestscheiding is het proces waarbij drijfmest wordt gescheiden in een dikke en een dunne fractie. De dunne fractie bevat vooral N en K en de dikke fractie bevat vooral P en organische stof. Door mestscheiding wordt de N en K dus in meer of mindere mate gescheiden van P en de organische fractie, waardoor maatwerk bij de bemesting in principe beter mogelijk wordt. Hierdoor kunnen nutriënten in theorie optimaler worden ingezet en benut.

Techniek mestscheiding

Er zijn de afgelopen jaren verschillende mestscheidingstechnieken ontwikkeld. De meest eenvoudige techniek is primaire scheiding 'onder de staart' van faeces en urine. De techniek is echter nog niet in gebruik om bouwtechnische en economische redenen (Schröder et al., 2009). De meeste scheiding vindt daarom plaats bij dunne mest, dat wil zeggen het mengsel van faeces en urine.

Mechanische mestscheidingstechnieken kunnen worden ingedeeld in vier categorieën:

1. eenvoudige technieken, bijvoorbeeld een zeefbocht, zeefscherm, trommelfilter, trommelfilter met persrollen, 'brushed screen' trilzeef;

2. vijzelpersen en schroefpersfilters, waarbij scheiding plaatsvindt op basis van deeltjesgrootte;
3. zeefbandpersen waarbij scheiding plaatsvindt op basis van viscositeit van de mest; en
4. centrifuges waarbij scheiding plaatsvindt op basis van soortelijke massa deeltjes.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de karakteristieken van deze vier hoofdcategorieën (Schröder et al., 2009).

De twee parameters die samen het scheidingsresultaat karakteriseren zijn het scheidingsrendement en de concentratiefactor. Het scheidingsrendement is het procentuele aandeel van een stof dat bij scheiding in de dikke fractie terecht komt ten opzichte van de hoeveelheid van die stof in de ingaande mest. Hiervoor is dus zowel de concentratie in de dikke fractie als de hoeveelheid dikke fractie van belang. De concentratiefactor is de verhouding van de concentraties van een stof in de dikke fractie en de ingaande mest (Schröder et al., 2009). Het is wenselijk dat de dikke fractie een zo hoog mogelijk drogestofgehalte en een zo hoog mogelijk P-gehalte heeft. Op basis van het overzicht concludeert Schröder et al. (2009, Tabel 2.1) het volgende:

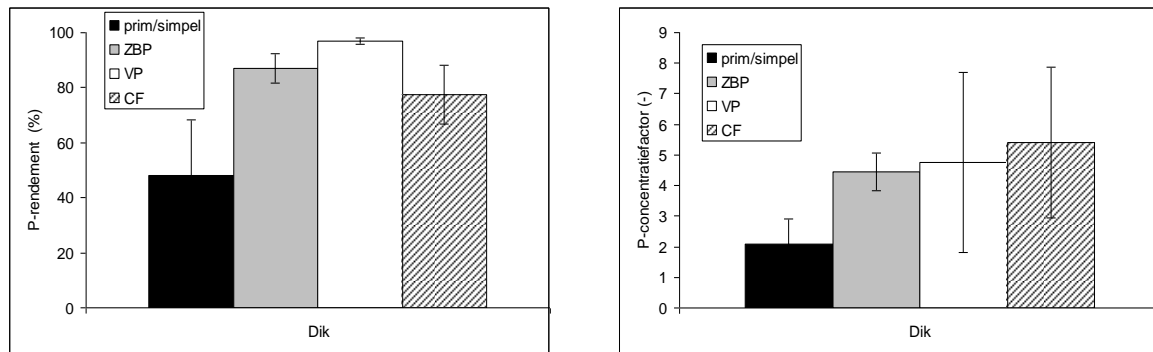
- ❖ Centrifuges halen wat betreft de criteria van P-rendement en drogestofgehalte van de dikke fractie de beste resultaten. Centrifuges zijn echter ook kwetsbaar en duur. Centrifuges kunnen als mobiele mestscheider worden ingezet.
- ❖ Vijzelpersen hebben een lager P-rendement dan de centrifuges maar een vergelijkbaar hoog drogestofgehalte van de dikke fractie. Vijzelpersen zijn aanzienlijk goedkoper dan centrifuges en kunnen ook als mobiele mestscheider worden ingezet.
 - Zeefbandpersen hebben een wat lager drogestofgehalte van de dikke fractie dan de centrifuges maar een vergelijkbaar hoog P-rendement. Zeefbandpersen zijn relatief duur maar zijn geschikt voor collectieve of regionale toepassingen (niet als mobiel systeem toepasbaar).
- ❖ De eenvoudige mestscheiders zijn goedkoop maar het P-rendement en drogestofgehalte van de dikke fractie zijn laag.

Wanneer gegevens van verschillende studies met elkaar worden vergeleken blijkt er slechts een zeer beperkt verschil in het resultaat van de scheidingstechnieken vijzelpers, zeefbandpers en centrifuge. In Figuur 2.1 worden verschillende scheidingstechnieken met elkaar vergeleken uitgaande van varkensdrijfmest. De data zijn afkomstig uit Schröder et al., 2009, Melse et al., 2004 en Hoeksma et al., 2011. De technieken worden vergeleken op basis van P-rendement en P-concentratiefactor van de dikke fractie.

Uit het onderzoek van Schröder et al (2009) blijkt dat de primaire scheiding en mechanische scheiding door middel van eenvoudige technieken relatief goedkoop zijn, maar dat ze zowel een laag P-rendement als een lage P-concentratiefactor voor P in de dikke fractie hebben: er zit relatief weinig P in de dikke fractie en relatief veel P in de dunne fractie. Omdat deze vorm van mestverwerking tot relatief weinig differentiatie in de gevormde producten leidt ten opzichte van de uitgangsmest behandelen we in dit onderzoek verder alleen de technieken met een hoger rendement, te weten: vijzelpersen, zeefbandpersen en centrifuges.

Voor de P-concentratiefactor is er geen verschil tussen deze 3 soorten technieken op basis van de gebruikte literatuur. Het P-rendement van de vijzelpers is iets hoger dan van de centrifuge en zeefbandpers, maar de verschillen zijn erg klein. Schröder et al. (2009) concluderen dat vijzelpersen en centrifuges een vergelijkbaar hoog P-rendement hebben. Om die redenen wordt

er in het vervolg van deze studie geen onderscheid gemaakt tussen die technieken. Voor de samenstelling van de mestverwerkingproducten is dus niet de techniek maar de samenstelling van de gebruikte mest belangrijk.



Figuur 2.1. Vergelijking tussen de scheidingstechnieken primair / simpel, zeefbandpers (ZBP), vijzelpers (VP) en centrifuge (CF) voor varkensdrijfmest op basis van P-rendement (A) en P-concentratiefactor (B) van de dikke fractie.

2.3 Opwerken dikke fractie

Na het scheiden hoopt de organische stof en P zich vooral op in de dikke fractie. De dikke fractie kan als zodanig direct worden toegepast als P-meststof die rijk is aan organische stof. Met de aanscherping van de P gebruiksnormen neemt de plaatsingsruimte voor P af. Dit zal naar verwachting leiden tot een verhoging van de export en verdere opwerking van de P-rijke dikke fractie. Opwerkingsmogelijkheden zijn bijvoorbeeld drogen, composteren of hygiëniseren (1 uur verhitten bij 70°C). Het voordeel van drogen is dat er een makkelijk te vervoeren / exporteren product ontstaat. Het nadeel is dat dit energie en dus geld kost, tenzij gebruik kan worden gemaakt van een restwarmtebron (Peeters et al., 2011). Hygiëniseren wordt bijvoorbeeld door Duitsland als eis gesteld aan de te importeren dikke fractie.

De dikke fractie kan ook als input dienen voor vergisting. Volgens Peeters et al. (2011) is vergisting van de dikke fractie (zonder coproducten) te prefereren boven covergisting van drijfmest waar relatief dure coproducten voor nodig zijn. Ze baseren hun conclusie op het beperkte aanbod en de toenemende kosten van coproducten, waardoor de rendabiliteit van covergisting onder druk staat. Het is echter nog onduidelijk of toediening van de dikke fractie aan vergisters voldoende energie oplevert.

2.4 Opwerken dunne fractie

Bij de scheiding van 1000 m³ varkensmest ontstaan ongeveer 250 m³ dikke fractie en 750 m³ dunne fractie. De dunne fractie kan worden toegepast als vloeibare N-K meststof. De dunne fractie kan ook worden opgewerkt door omgekeerde osmose (RO=reversed osmosis) in combinatie met een andere opschoonteknik (zie verderop). Hierbij wordt de 750 m³ ingedikt tot ongeveer 250 m³ mineralenconcentraat en 500 m³ permeaat.

Omgekeerde osmose is het proces waarbij onder druk water door een semipermeabel membraan uit een vloeistof wordt geperst en opgeloste zouten en andere ionen in de geconcentreerde vloeistof achterblijven. Vaste delen en organische stof kunnen een RO-membraan vervuilen en

beschadigen, daarom vindt na mechanische scheiding en voorafgaande aan RO nog een opschoning plaats die erop gebaseerd is zoveel mogelijk vast materiaal te verwijderen uit de ingaande drijfvloeistof. Opschoontechnieken na mechanische scheiding zijn ultra filtratie (UF), flotatie, lage druk membraanfiltratie en het gebruik van doeken of papierfilters. Het permeaat van omgekeerde osmose wordt niet als meststof gebruikt maar geloosd op het riool of oppervlaktewater of vindt zijn toepassing op het eigen bedrijf. Het mineralenconcentraat kan onder voorwaarden als (kunst)mest worden toegepast.

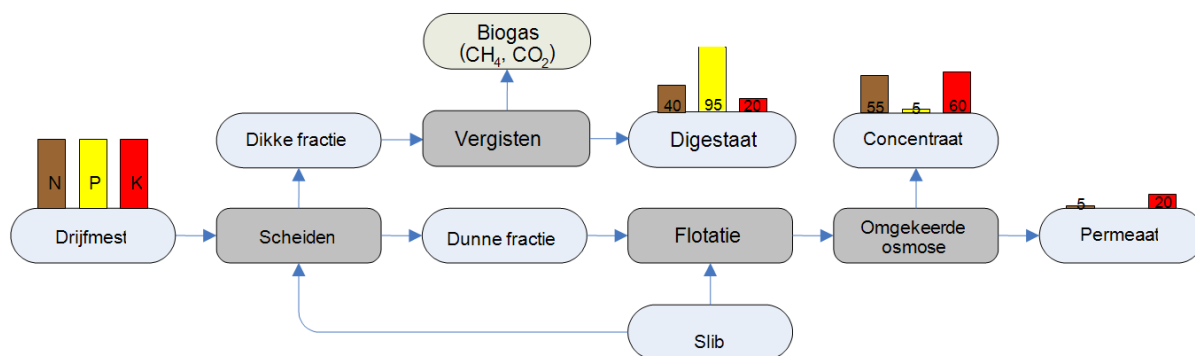
Tabel 2.1. Belangrijkste kenmerken van de vier categorieën mechanische mestseiders, gebaseerd op Schröder et al., 2009.

Categorie	Kale investering (k€)	Kosten per m ³ mest*	P rendement	Type drijfmest	Drogestofgehalte dikke fractie	Kenmerken	Geschikt als mobiele scheider	Capaciteit (m ³ uur ⁻¹)	Voorafscheiding en/of snijrichting nodig
Eenvoudige mestseiders	10 – 30	€0,81	10-20%	rundvee	< 25%	Relatief goedkoop en robuust.		10 – 20	Nee
Vijzelpersen of schroefpersfilters	> 25	€1,02	~40% (varkensdrijfmest < 25%)	Met name rundvee	25 – 35%	Capaciteit vrij klein	Ja	4 – 15	Ja
Zeefbandpersen	> 70	€3,11	50-75% met hulpstoffen	Rundvee en varken	20 – 25%	Bedoeld voor de productie van een zo zuiver mogelijke dunne fractie. Hulpstoffen nodig voor hoog scheidingsrendement	Nee	4 - 30 Geschikt voor collectieve, regionale mestscheiding	Ja
Centrifuges	>100	€3,48	50-70%	Rundvee en varken	25 – 30%	Kwetsbaar en duur met een hoog energieverbruik	Ja	4 - 100	Ja

* kosten per m³ gescheiden mest zijn berekend op basis van een aantal aannames waaronder een scheiding van 5000m³ per jaar, jaarlijkse onderhoudskosten van 5% van de investering en beperkt gebruik op bedrijfsniveau en een afschrijftermijn van 10 jaar, zie verder Schröder et al., 2009.

Om de afzetmogelijkheden van het mineralenconcentraat te vergroten en de opslagkosten buiten de aanwendingsperiode te drukken, moet de kwaliteit volgens Hoeksma et al. (2011) worden verbeterd, in de zin van hogere gehalten aan N en K en een lager gehalte aan P. Hiervoor zijn nieuwe technieken nodig. Te denken valt aan toepassing van een ander type RO-membraan waarmee hogere N- en K-concentraties kunnen worden bereikt, indampen van het concentraat, b.v. door gebruik te maken van beschikbare overtollige warmte, splitsen van het concentraat in een N- en een K-meststof, bijvoorbeeld door middel van strippen of andere vormen van membraanscheiding. Volgens informatie van Mestac wordt door Kumac een procedé gevolgd waarbij een mineralenconcentraat ontstaat dat vrijwel geen P bevat.

De optimale route voor drijfmestverwaarding door middel van scheiden volgens de visie van LTO Nederland, is het vergisten van de dikke fractie en opwerken van de dunne fractie naar een mineralen concentraat (Figuur 2.2, Peeters et al., 2011). Vanuit een LCA perspectief vindt ook De Vries et al., (2011) een positief effect wanneer de dikke fractie wordt vergist ten opzichte van varkensdrijfmest omdat fossiel energiegebruik en broeikasgasemissies dalen zonder toename in NH_3 -emissie.



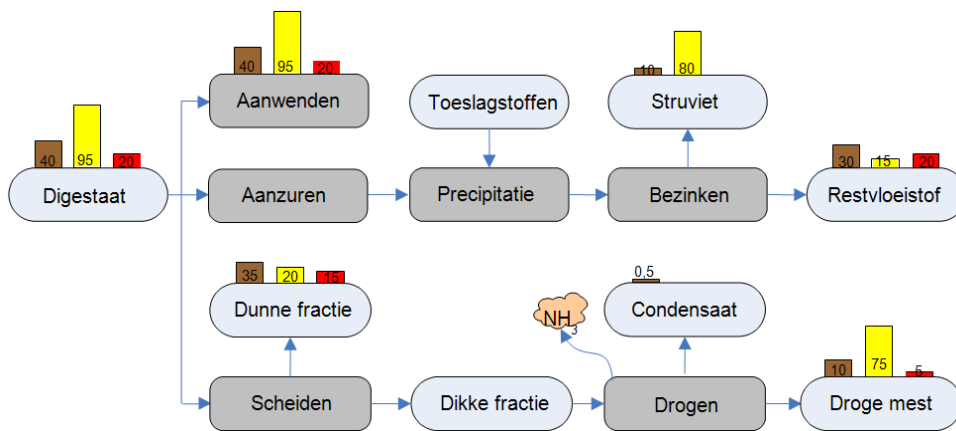
Figuur 2.2. Optimale route voor drijfmestverwaarding door middel van scheiden, vergisten van de dikke fractie en opwerken van de dunne fractie (Peeters et al., 2011).

2.5 Vergisting

Bij vergisting wordt organisch materiaal door bacteriën onder anaerobe (zuurstofloze) condities omgezet in methaan, en koolstofdioxide ook wel biogas genoemd,. Na het vergisten blijft een restproduct over; het digestaat. Het digestaat kan worden gebruikt als meststof. Bij co-vergisting wordt aan mest maximaal 50% andere biomassa toegevoegd (bijvoorbeeld snijmaïs). Om het digestaat te mogen gebruiken als meststof mag de andere 0-50% alleen bestaan uit producten van de door de overheid bepaalde co-vergistings lijst (Bijlage Aa, behorende bij Artikel 4 van de Uitvoeringsregeling meststoffenwet). Dit zijn hoofdzakelijk plantaardige materialen. Het digestaat kan ook verder worden opgewerkt (zie Figuur 2.3). De economisch en energetisch meest toegankelijke route is het scheiden van het digestaat in een dunne – en een dikke fractie. Net als bij scheiding van drijfmest bevat de dunne fractie weer vooral N en K en de dikke fractie vooral P en organische stof. In het kader van de export kan de dikke fractie worden gedroogd. Voor het drogen kan de restwarmte van de warmte-kranchkoppeling (wkk) van de vergister worden gebruikt.

Een andere route is het neerslaan van struviet (ammoniummagnesiumfosfaat, ofwel $(\text{NH}_4)\text{MgPO}_4 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$) uit de dikke fractie of uit het digestaat. Hiervoor moet digestaat worden

aangezuurd en moeten er extra chemicaliën aan worden toegevoegd. Het gevormde struviet is niet chemisch zuiver maar kan door organische verontreinigingen een variabele samenstelling hebben. Dit proces is relatief kostbaar door de benodigde chemicaliën.



Figuur 2.3. Mogelijke verwerking van digestaat (Peeters et al., 2011)

2.6 Samenvatting

Mestverwerking wordt steeds belangrijker door wettelijke maatregelen, zoals de aanscherpingen van de gebruiksnormen en de aangekondigde verplichte mestverwerking van een deel van de overschotmest op veehouderijbedrijven.

- In deze studie verstaan we onder mestverwerking i) het scheiden van mest in een dikke en een dunne fractie, al dan niet gevolgd door een verdere opwerking van die fracties, ii) (co-) vergisting van mest, of iii) een combinatie van vergisten en scheiden.
- Bij mestscheiding wordt drijfmest of digestaat gescheiden in een dunne fractie met vooral N en K en een dikke fractie met vooral P en organische stof.
- Mechanische mestscheidingstechnieken kunnen worden ingedeeld in 4 categorieën, namelijk eenvoudige mestscheiders, vijzelpersen, zeefbandpersen en centrifuges. De prestaties van mestscheiders worden onder andere gekarakteriseerd door het scheidingsrendement en de concentratiefactor. Het blijkt dat die nauwelijks verschillen tussen vijzelpersen, zeefbandpersen en centrifuges.
- De dikke fractie die ontstaat na mestscheiding en die rijk is aan P en organische stof, kan direct worden ingezet als meststof of worden opgewerkt door droging, compostering en/of hygiëniseren. Het voordeel van droging is dat een makkelijk te vervoeren en/of exporteren product ontstaat. Voor export naar Duitsland is hygiëniseren vereist. Een alternatieve route is dat de dikke fractie dient als input voor vergisting. Het resterende digestaat kan vervolgens weer worden gescheiden, waarbij de dikke fractie wordt gedroogd.
- De dunne fractie die ontstaat na mestscheiding of scheiding van digestaat en die rijk is aan N en K, kan direct worden toegepast als meststof of worden opgewerkt door ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Daarbij ontstaat een mineralenconcentraat (ca. 1/3) en een permeaat (ca. 2/3). In het kader van de Pilot Mineralenconcentraten heeft het mineralenconcentraat dat wordt geproduceerd bij een aantal aangewezen bedrijven (tijdelijk) een kunstmeststatus en kan worden ingezet als N- en K-meststof.

3. INVENTARISATIE EN KARAKTERISATIE VAN MESTVERWERKINGSPRODUCTEN

3.1 Selectie mestverwerkingsproducten

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de producten die worden meegenomen in de inventarisatie. In het kort worden de volgende producten onderzocht:

- Referentie meststoffen: vaste rundermest, vaste vleeskuikenmest, kalkammonsalpeter (KAS), tripelsuperfosfaat (TSP), urean, ammoniumpolyfosfaat (APP) en spuiwater (een oplossing van ammoniumsulfaat);
- Onbewerkte dunne runder- en varkensmest;
- Digestaat dat ontstaat na (co)vergisting, maar beperkt tot twee combinaties die zeer veel voorkomen namelijk varkensmest en snijmaïs en rundermest en snijmaïs. Daarnaast is digestaat (Betafert) opgenomen dat afkomstig was van de monovergister van Suikerunie, waarin pulp, bietenpunten en Cigarant zijn vergist;
- Dikke fractie die ontstaat na mechanische scheiding van rundermest, varkensmest en digestaat;
- Dunne fractie die ontstaat na mechanische scheiding van rundermest, varkensmest en digestaat;
- Concentraat van omgekeerde osmose van de dunne fractie van rundermest, varkensmest en digestaat.

Tabel 3.1. Overzicht van de onderzochte producten. Voor de dikke en dunne fractie is geen onderscheid gemaakt tussen de mechanische scheidingsmethodes vijzelpers, zeefbandpers en centrifuge.

meststof-categorie	specificatie	Aantal producten	Onbewerkt	Mech. scheiding	Omgekeerde osmose
Drijfmest	Runder	4	*	dik + dun	min. conc
	Varkens	4	*	dik + dun	min. conc
Digestaat	Runder + snijmaïs	4	*	dik + dun	min. conc
	Varkens + snijmaïs	4	*	dik + dun	min. conc
	Reststoffen suiker (Betafert)	3	*	dik + dun	
Referentie	Vaste rundermest	1	*		
	Vaste vleeskuikenmest	1	*		
	KAS	1	*		
	TSP	1	*		
	Urean	1	*		
	APP	1	*		
	Spuiwater	1	*		
			25		

3.2 Chemische samenstelling

3.2.1 Algemeen

De chemische samenstelling van de producten wordt gekarakteriseerd op basis van het drogestof- en organische stofgehalte, en het Ntotaal-, Nmin-, Norg-, P- en K-gehalte.

In Tabel 3.2 is de gemiddelde samenstelling van de beschouwde producten op basis van uiteenlopende bronnen weergegeven (Van Dijk & Van Geel, 2012; Databank organische meststoffen (www.kennisakker.nl); Databank meststoffen (www.nmi-agro.nl); www.czav.nl).

Tabel 3.2. Overzicht van de gemiddelde samenstelling van de beschouwde producten. DVM en DRM staan voor dunne varkensmest en dunne rundermest, MC voor mineralenconcentraat, DS voor drogestof en OS voor organische stof.

Mestsoort	Fractie	DS %	OS %	Ntot g kg ⁻¹	Nmin g kg ⁻¹	Norg, g kg ⁻¹	P ₂ O ₅ g kg ⁻¹	K ₂ O g kg ⁻¹
DVM	Onbewerkt	9,3	4,3	7,1	4,6	2,5	4,6	5,8
DVM	Dikke fractie	27,2	21,5	10,6	4,0	6,6	15,2	4,8
DVM	Dunne fractie	2,7	1,1	4,2	3,6	0,6	0,7	4,7
DVM	MC	3,2	1,3	6,7	6,0	0,7	0,4	8,5
DVM dig.	Onbewerkt	8,2	5,7	6,9	4,3	2,6	3,8	5,4
DVM dig.	Dikke fractie	29,0	22,0	11,2	6,0	5,3	17,3	5,1
DVM dig.	Dunne fractie	1,2	0,3	3,1	2,9	0,2	0,2	3,9
DVM dig.	MC	2,9	1,1	6,4	5,9	0,5	0,5	8,5
DRM	Onbewerkt	8,5	6,4	4,1	2,0	2,1	1,5	5,8
DRM	Dikke fractie	19,8	16,3	4,5	1,6	2,9	2,3	5,1
DRM	Dunne fractie	4,8	3,1	2,7	1,4	1,3	1,2	5,9
DRM dig.	Onbewerkt	7,6	6,6	5,4	3,8	1,5	1,9	6,3
DRM dig.	Dikke fractie	22,5	19,3	7,2	3,7	3,5	6,4	5,3
DRM dig.	Dunne fractie	1,8	0,8	3,9	3,2	0,7	0,7	5,8
DRM dig.	MC	11,3	7,1	11,0	10,5	0,5	0,6	15,7
KAS		0	0	270	270	0	0	0
TSP		0	0	0	0	0	450	0
Urean		0	0	300	300	0	0	0
APP		0	0	100	100	0	340	0
Spuiwater		0	0	40	40	0	0	0
Vaste RM	onbewerkt	19,4	15,3	5,3	0,9	4,4	2,8	6,1
Vaste VKM	onbewerkt	62,6	41,9	32,1	8	24,1	16,8	20,5
Betafert	onbewerkt	6,5	n.b.	3,9	n.b.	n.b.	1,1	3,5
	Dikke fractie	21	12,3	10,6	n.b.	n.b.	5,0	5,5
	Dunne fractie	n.b.	n.b.	5,5	n.b.	n.b.	0,7	3,5

n.b.= niet bekend

Er is ook in wat meer detail gekeken naar de samenstelling van de producten van mest, door een nadere beschouwing van studies waarin mestverwerking van dunne varkensmest, dunne rundermest of digestaat centraal stond (Tabel 3.3). Daarbij is gekeken naar gemiddelde

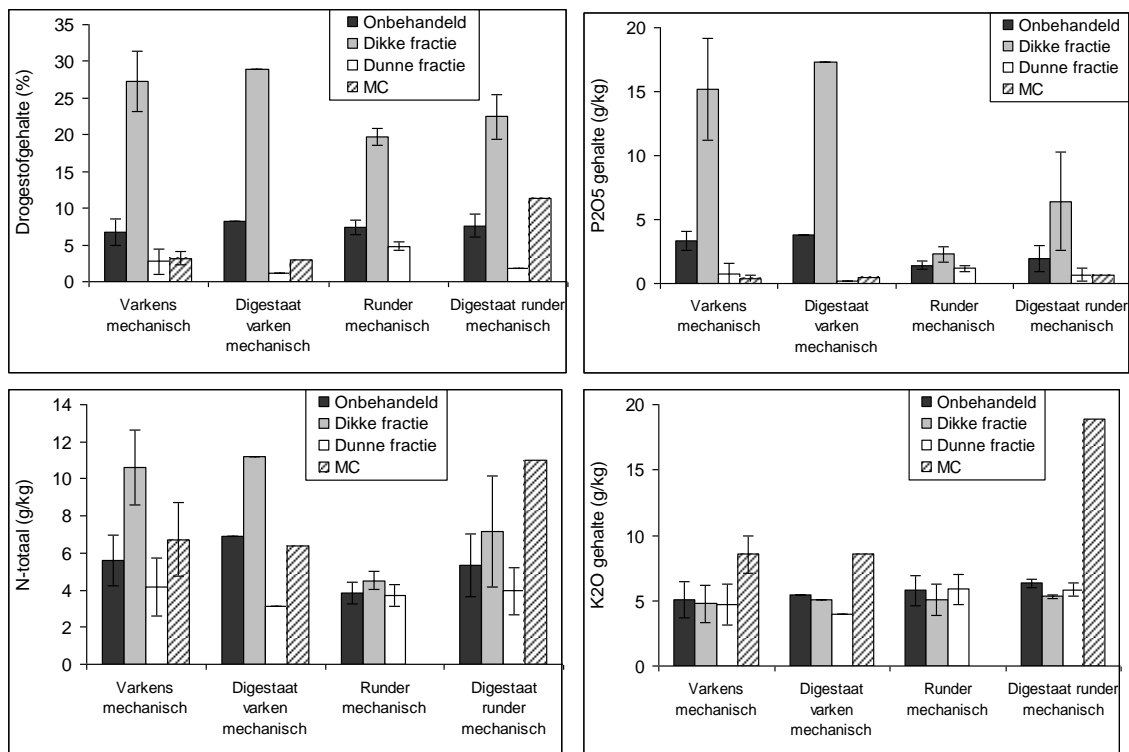
gehalten en de spreiding rond die gemiddelden.

Tabel 3.3. Referenties van studies naar mestverwerking, met aantal waarnemingen (n) per type uitgangsmest.

Uitgangproduct	referentie	n
Dunne varkensmest	Hoeksma et al., 2011 (5); Schröder et al., 2009 (2); Melse et al., 2004 (2)	11
Digestaat van DVM	Hoeksma et al., 2011 (1)	1
Dunne rundermest	Verloop et al., 2009 (13); Schröder et al., 2009 (1); Melse et al., 2004 (1)	15
Digestaat van DRM	Verloop et al., 2009 (2); Hoeksma et al., 2011 (1)	3

3.2.2 Droge stof (DS), organische stof (OS) en fosfaat (P)

Het effect van mestscheiding is met name zichtbaar aan het DS-, OS- en P_2O_5 -gehalte: de DS, OS en P worden sterk geconcentreerd in de dikke fractie. Hierbij moet worden opgemerkt dat er een duidelijk verschil is tussen mestscheiding van varkens- en runderdrijfmest. Onbehandelde runderdrijfmest heeft ten opzichte van varkensdrijfmest een lager P-gehalte (1,5 t.o.v. 4,6 mg P kg mest) maar daarnaast is ook het scheidingsrendement veel lager (28 tov 87%). Dit resulteert in een lager P_2O_5 -gehalte van de dikke fractie van rundermest (2,3+/-0,6) ten opzichte van varkensmest (15+/-4). Het lagere scheidingsrendement kan het gevolg zijn van een lager drogestofgehalte van runderdrijfmest ten opzichte van varkensdrijfmest. Bij een lager drogestofgehalte zijn de scheidingsrendementen van P, N en K lager (Schröder et al., 2009).



Figuur 3.1. Gemiddelde samenstelling van uitgangs- en mestverwerkingproducten na mestscheiding en omgekeerde osmose. De samenstelling is gekarakteriseerd op basis van drogestofgehalte en N, P_2O_5 , en K_2O gehalte (Bron: zie tabel 3.3).

Voor digestaat van dunne rundermest is op basis van de verzamelde gegevens het P-

scheidingsrendement hoger (53+/-29%) dan van onbehandelde dunne rundermest (28+/-10). (Co-)vergisting van dunne rundermest lijkt een positief effect te hebben op mestscheiding; het P-scheidingsrendement is hoger en de gevormde dikke fractie heeft een hoger P-gehalte. Voor dunne varkensmest lijkt er geen verschil in P-scheidingsrendement tussen het scheiden van onbehandelde mest en digestaat.

Een primair doel van mestscheiding is om P te concentreren in de dikke fractie omdat aanscherping van de P-gebruiksnorm afzetmogelijkheden van onbewerkte mest verder beperkt. Vanuit dit perspectief biedt met name mestscheiding van dunne varkensmest perspectief. De afzetmogelijkheden van het mineralenconcentraat wordt daarbij voor een belangrijk deel bepaald door het P-gehalte daarin. In dat kader is het van belang vast te stellen dat het P-gehalte van 0,4 g P₂O₅ per kg (Tabel 3.2) een gemiddelde is van alle mestverwerkingsinstallaties uit de pilot mineralenconcentraten. Daarbinnen is sprake van een aanzienlijke spreiding, waarbij het laagste P-gehalte gelijk was aan 0,02 g P₂O₅ per kg en het hoogste P-gehalte gelijk aan 0,78 g P₂O₅ per kg (Hoeksma et al., 2011).

3.2.3 Stikstof (N) en kalium (K)

Voor N en K is het effect van mestscheiding op de verdeling van deze nutriënten over de dikke en dunne fractie minder expliciet dan voor P en OS. Voor K wijkt het gehalte in de dikke en dunne fractie nauwelijks af van de onbehandelde mest. Het indikken van de dunne fractie door middel van omgekeerde osmose resulteert wel in een iets hoger K-gehalte van het mineralenconcentraat ten opzichte van de onbehandelde mest.

Mestscheiding van dunne varkensmest resulteert in een lichte concentratieverhoging van N in de dikke fractie. Het N-gehalte in de dikke fractie is gemiddeld 11+/-2 mg kg⁻¹ en in de dunne fractie 4+/-1,6 mg kg⁻¹. Hetzelfde geldt voor N-mineraal. Door indikken van de dunne fractie door middel van omgekeerde osmose stijgt het N-gehalte naar 7+/-2 mg kg⁻¹ in het mineralenconcentraat.

Bij vergisting zal het N-totaalgehalte normaalgesproken niet veranderen, terwijl het organische N-gehalte daalt en het minerale N-gehalte stijgt (Den Boer et al., 2008). Als we kijken naar de data uit Tabel 3.2 gaat dit slechts gedeeltelijk op, aangezien de gehalten van de N-fracties in onbewerkte dunne varkensmest nauwelijks afwijken van die in het onbewerkte digestaat van co-vergisting van dunne varkensmest. Hierbij speelt de toediening van co-vergistingsmaterialen een belangrijke rol. De dikke en dunne fractie en het mineralenconcentraat die ontstaan na de verwerking van digestaat van co-vergisting van varkensmest hebben vergelijkbare N-totaalgehalten dan de dunne varkensmest. Ook het N-mineraalgehalte in de dunne fractie en het mineralenconcentraat van digestaat en onbehandelde varkensmest vertoont vrijwel geen verschil. De dikke fractie van digestaat heeft wel een iets hoger N-mineraal gehalte dan die van de dikke fractie van onbewerkte varkensmest.

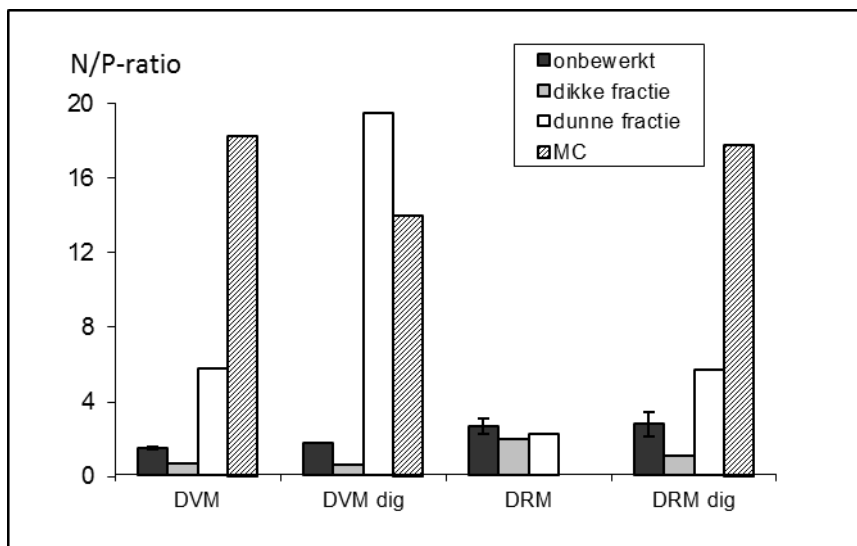
Voor dunne rundermest is het N-totaal en het N-mineraal gehalte in de dikke en dunne fractie vergelijkbaar met het gehalte in de onbehandelde mest (Tabel 3.2). Wanneer runderdrijfmest eerst wordt vergist is er net als voor P een veel sterkere concentratie van N-totaal in de dikke fractie. Dit is echter voor N-mineraal niet het geval; N-mineraal is in de dikke en dunne fractie vergelijkbaar met het gehalte in het onbehandelde digestaat. De sterkere concentratie van N-totaal in de dikke fractie is dus het gevolg van de concentratie van organisch N in de dikke fractie.

Het N-totaal gehalte in het digestaat van dunne rundermest is iets hoger dan in de onbehandelde rundermest. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het gebruik van co-producten tijdens vergisting. Absoluut, maar ook procentueel is het N-mineraalgehalte in het digestaat hoger dan in de onbehandelde runderdrijfmest. Dit kan effect hebben op de werkingscoëfficiënt van N. Hier zal in de volgende paragraaf verder op in worden gegaan.

3.2.4 Verhouding tussen nutriënten

Voor het toepassen van mestproducten is behalve de absolute gehalten ook de verhouding tussen de verschillende nutriënten en nutriëntfracties relevant. Met name de verhouding tussen N en P (Figuur 3.2), tussen N en K en tussen Nm en Norg zijn van belang en deze verhoudingen veranderen vaak door de be- en verwerking van mest. De lage P-gehalten in de dunne fractie en mineralenconcentraat resulteren in een hoge N-P ratio voor deze producten. Zoals hiervoor is aangegeven zijn er ook mineralenconcentraten met zeer lage P-gehalten (ca. 0,02 g P₂O₅ per kg product), waarbij de N/P-ratio oploopt tot waarden van 300-400.

Omdat de concentratiefactor in de dikke fractie voor P hoger is dan voor N was de N-P ratio in de dikke fractie steeds iets lager dan in de onbewerkte mest.



Figuur 3.2. Verhouding tussen N en P in de producten van mest (gebaseerd op gehalten in Tabel 3.2).

3.2.5 Concluderend

- Bij mestverwerking worden mestfracties verkregen die een andere samenstelling hebben dan van onbewerkte mest. Zo leidt mestscheiding tot een dunne fractie waarin de gehalten aan N en K ten opzichte van P en OS hoog zijn. De gehalten aan N-totaal en N-mineraal in de dunne fractie zijn iets lager dan in de uitgangsmest en voor K₂O is het gehalte vergelijkbaar. De dikke fractie bevat hoge P- en OS-gehalten. Het gehalte N-totaal en N-mineraal in de dikke fractie is iets hoger dan in de uitgangsmest en voor K₂O is het gehalte vergelijkbaar.
- Door een opwerking van de dunne fractie tot een mineralenconcentraat wordt een verdere

verhoging van het N- en K-gehalte en een (relatief geringe) daling van het P-gehalte verkregen.

- Vergisting van mest zou normaalgesproken moeten leiden tot een verhoging van het N-mineraal gehalte en een verlaging van het N-organisch gehalte van de mest. Uit een vergelijking van de gemiddelde cijfers van co-vergiste mest en onbewerkte mest blijkt dat dit verschil niet duidelijk aanwezig is. Dit kan worden verklaard uit de covergistingsmaterialen die aan de mest zijn toegediend.
- Het scheidingsrendement van varkensdrijfmest is hoger dan van runderdrijfmest. Voor runderdrijfmest lijkt (co-)vergisting van de mest voor scheiding een positief effect te hebben op scheidingsrendement en N-werking, terwijl bij varkensmest (co-) vergisting juist weinig effect lijkt te hebben op het scheidingsrendement.
- De gehalten in de bewerkte mestproducten liggen in dezelfde orde van grootte als in het product Betafert, maar het N-gehalte is lager dan in spuiwater (dit bevat alleen N en S en is meestal zuur (pH 2-5)). De wettelijke status van Betafert en spuiwater is anders (resp. overige organische meststof en overige anorganische meststof) dan van dierlijke mest. Dat heeft consequenties voor de toepassingsmogelijkheden (zie paragraaf 3.5).
- De N-gehalten in mestproducten liggen een factor 25-100 x lager dan in reguliere kunstmest, zoals kalkammonsalpeter (KAS). Daardoor zijn de benodigde volumes voor transport en toediening 25-100 x groter.
- De verhouding tussen nutriënten in de producten, zoals het N/P- en het N/K-gehalte, verschilt sterk tussen de producten. Dit is een belangrijke eigenschap voor de toepassingsmogelijkheden als meststof (zie volgende hoofdstuk).
- Het organische stofgehalte is relatief hoog in dikke fracties en vaste mesten en is in producten van rundermest hoger dan in producten van varkensmest.
- Bij dierlijke mesten varieert de samenstelling soms aanzienlijk. Bij mineralenconcentraten, zeker als die afkomstig zijn van een bepaalde productielocatie, zal dat in mindere mate het geval zijn.

3.3 Stikstofwerkingscoëfficiënten

3.3.1 Definitie

De beschikbaarheid van nutriënten in organische meststoffen voor gewassen is in het algemeen lager dan die in minerale meststoffen. De beschikbaarheid van N in organische meststoffen wordt gekarakteriseerd met het begrip “N-werkingscoëfficiënt” of “N-werking”, waarbij de relatieve N-beschikbaarheid ten opzichte van de N-beschikbaarheid in een referentiemeststof (in het algemeen kalkammonsalpeter) wordt aangegeven. Concreet staat de N-werkingscoëfficiënt voor het percentage van de totale hoeveelheid N in organische mest die in het eerste jaar na toediening beschikbaar komt voor het gewas.

In het kader van de Meststoffenwet zijn voor een aantal meststofcategorieën N-werkingscoëfficiënten afgeleid, die vooral van belang zijn voor het gebruik van organische meststoffen. Verder in dit hoofdstuk wordt daar op ingegaan.

3.3.2 Methoden voor het bepalen van de N-werkingscoëfficiënt

De stikstofwerkingscoëfficiënt wordt in het ideale geval experimenteel bepaald door het

vergelijken van de opbrengst of N-opname van een gewas na toediening van een bepaalde hoeveelheid N via de betreffende organische meststof en dezelfde hoeveelheid N via de referentiemeststof kalkammonsalpeter (KAS), waarbij de werking van KAS op 100% is gesteld. Aangezien de experimentele bepaling van de N-werking in pot- of veldproeven tijdrovend en kostbaar is, wordt er ook gebruik gemaakt van andere methoden om een inschatting van de N-werking te maken. Zo is er in het kader van de mestwetgeving een protocol ontwikkeld om de N-werkingscoëfficiënt op verschillende manieren met een toenemende mate van nauwkeurigheid af te leiden (Van Dijk et al., 2005). Voor een nieuwe meststof of product zijn de meest voor de hand liggende manieren om de N-werkingscoëfficiënt vast te stellen als volgt:

- Op basis van een combinatie van de samenstelling, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de organische en minerale N-fractie, en informatie over de N-werkingscoëfficiënt van een vergelijkbare meststof;
- Op basis van een modelmatige berekening, waarbij het vrijkomen van N uit de organische fractie van de meststof wordt berekend op basis van de afbraaksnelheid van de organische stof en de C/N-ratio van die organische fractie.

3.3.3 N-werkingscoëfficiënten van onbewerkte mesten

De werkingscoëfficiënt van N is afhankelijk van het type mest en samenstelling, de manier van toedienen, het tijdstip van toediening (feb, mrt-apr, mei-juni) en de N-opnameperiode en de bewortelingseigenschappen van het gewas (Van Dijk & Van Geel, 2012). Een voorbeeld van het verschil in werkingscoëfficiënt van de minerale N-fractie in organische meststoffen in afhankelijkheid van de toedieningswijze is weergegeven in Tabel 3.4. Deze verschillen worden veroorzaakt door de vervluchtiging van ammoniak uit de mest tijdens of na de toediening.

Tabel 3.4. Het effect van toedieningswijze op de werkingscoëfficiënt van minerale N in dierlijke mest (Van Dijk & Van Geel, 2012)

Toedieningswijze	WC van Nmin (%)
Bouwlandinjectie (van toepassing voor drijfmest)	95
Bovengronds toedienen en direct inwerken (vaste mest)	80
Bovengronds toedienen en inwerken na ~1 uur (vaste mest)	70
Sleufkouter en zodebemesting (voorjaarsbemesting wintergraan)	70

In de adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen (Van Dijk & Van Geel, 2012) is de N-werkingscoëfficiënt van uiteenlopende dierlijke mesten gegeven bij voorjaarstoediening (bouwlandinjectie bij drijfmest en bovengronds verspreiden en direct inwerken bij vaste mest) voor gewassen met een verschillende N-opnameperiode (Tabel 3.6). Daarbij is uitgegaan van een gemiddelde samenstelling van de mesten, zoals die in Nederland is vastgesteld (Tabel 3.5). De op deze wijze bepaalde N-werkingscoëfficiënten zijn niet afgeleid uit veldproeven, maar uit berekeningen (Van Dijk & Van Geel, 2012; Van Dijk et al., 2004). Aangezien de samenstelling van dierlijke mesten sterk kan variëren moeten individuele partijen altijd worden geanalyseerd. Voor de wetgeving moet het N-totaal en P-totaalgehalte worden bepaald, maar voor landbouwkundige doeleinden is het zinvol in aanvulling daarop tevens het aandeel van Nm en Norg te bepalen. Als de verhouding tussen Nm en Norg afwijkt van die in Tabel 3.5 is het beter de verwachte werking zelf te berekenen (zie verder voor berekeningswijze).

Tabel 3.5. Gemiddelde samenstelling van enkele dierlijke meststoffen (Van Dijk & Van Geel, 2012). DRM = dunne rundveemest; DVM= dunne vleesvarkensmest; VRM= vaste rundveemest.

Mestsoort	Droge stof.	Org. stof	N-totaal	Nm	Norg	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
DRM	85	64	4,1	2,0	2,1	1,5	5,8	1,2
DVM	93	43	7,1	4,6	2,5	4,6	5,8	1,5
VRM	194	152	5,3	0,9	4,4	2,8	6,1	2,2

Tabel 3.6. Werkingscoëfficiënten (1^e jaars werking) van de totale hoeveelheid stikstof (N-totaal) in dierlijke mest, uitgaande van de samenstellingen in Tabel 3.5 en van het direct inwerken van de mest (Van Dijk & Van Geel, 2012).

Mestsoort	N-werkingscoëfficiënt (%) van N-totaal					
	tot 1 juni	tot 1 juli	tot 1 aug.	tot 1 sept.	tot 1 okt.	tot 1 nov.
DRM	50	50	55	55	55	55
DVM	70	75	80	80	85	85
VRM	20	20	25	25	30	30

Zoals hiervoor al is aangegeven verandert de verhouding tussen nutriënten N, P en K en de N-fracties Nm en Norg door de verwerking van dierlijke mest. Zo is de ratio tussen N en P en tussen Nm en Norg in de dunne fractie na mestscheiding in het algemeen hoger dan in onbewerkte mest. In mineralen-concentraten (die ontstaan door de opwerking van de dunne fractie) is dat nog sterker het geval. Daarentegen is de verhouding tussen N en P en tussen Nm en Norg in de dikke fractie die ontstaat na scheiding in het algemeen lager dan in onbewerkte mest.

3.3.4 Onderzoek naar de N-werking van producten van mestbewerking en mestverwerking

De afgelopen jaren zijn er enkele veldproeven uitgevoerd naar de N-werking van producten van mestscheiding, al dan niet na vergisting. Zo is de N-werking van onbewerkte varkensdrijfmest en de dunne en dikke fractie na scheiding door Dekker et al. (2004-2006) onderzocht voor het gewas aardappelen op kleigrond. Vastgesteld werd dat de N-werking van de onbewerkte mest 66% bedroeg, en dat die van de dunne en dikke fractie respectievelijk 62 en 22% was. Dit betekent dat de N-werking van de onbewerkte varkensdrijfmest dus lager was dan de berekende werking uit Tabel 3.5, maar ook dat de dunne fractie geen hogere werking vertoonde dan die van de onbewerkte mest. Dit laatste is opmerkelijk en komt niet overeen met de verwachting en resultaten uit Deens onderzoek (Zie Schröder et al., 2008).

Verder zal de stabiliteit van de organische fractie van mest veranderen als de mest wordt vergist. Aangezien er bij mestvergisting in de praktijk vrijwel altijd sprake is van co-vergisting, waarbij coproducten aan de mest worden toegediend om het rendement van de vergisting te verhogen, hebben de eigenschappen van die co-producten ook een groot effect op de uiteindelijke samenstelling van het digestaat, de stabiliteit van de resterende organische fractie en op de stikstofwerking. Door Schröder et al. (2008) wordt aangegeven dat bij vergisting van

mest (dus zonder toevoeging van coproducten) vaak niet meer dan ca. 20% van het organisch materiaal wordt afgebroken en dat de verhouding tussen Nm en Norg verandert van ongeveer 1 naar ongeveer 1,5. Bij vergisting wordt dus zeker niet alle organische N (Norg) in mest omgezet in Nmin en er resteert na vergisting dan ook nog de nodige Norg. Bij co-vergisting is dat anders, aangezien een groter deel van het organisch materiaal van het coproduct (b.v. energiemaïs) wordt omgezet, waardoor ook een groot deel van de Norg wordt omgezet in Nm.

Dekker et al. (2007-2008) onderzochten de N-werking van het digestaat na co-vergisting van rundveedrijfmest. Daarbij werd een vergelijking gemaakt met onbewerkte rundveedrijfmest. De NWC van de onbewerkte rundveedrijfmest was slechts 38%, wat aanzienlijk lager was dan de verwachte te 55% (Tabel 3.5). Het digestaat na vergisting had een hogere NWC van 55%, maar voor de dunne fractie na scheiding van dit digestaat was dit eveneens 55%.

In het kader van de pilot mineralenconcentraten is er de laatste jaren onderzoek uitgevoerd naar de N-werking van mineralenconcentraten en dikke fracties in veldproeven (Van Geel et al., 2011a en b en Schröder et al., 2011). De proeven waren gelegen op verschillende grondsoorten (zand-, dal- en kleigrond) in verschillende regio's en verschillende gewassen (aardappelen, maïs en granen). In de aardappelproeven van Van Geel et al., (2011a) en in de proef met snijmaïs van Schröder et al., (2011) is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten nauwkeuriger bepaald dan in het additionele onderzoek van Van Geel et al., (2011b, Velthof 2011), doordat in het eerstgenoemde onderzoek meerdere toedieningsniveaus van het mineralenconcentraat waren opgenomen, terwijl dat in het laatstgenoemde onderzoek niet het geval was.

In 2009 en 2010 zijn veldproeven uitgevoerd met aardappelen waarin de N-werking van mineralenconcentraat en dikke fracties is onderzocht (Van Geel et al., 2011a, Tabel 3.7). Uit de resultaten waarbij de meststoffen werden toegediend als basisbemesting voor poten blijkt dat de N-werking van mineralenconcentraten op klei gemiddeld 80% was en op zand 92%. Gemiddeld over alle proeven was de N werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten 81%. In onderzoek op zandgrond (Achterveld) met snijmaïs (Schröder et al., 2011) werd een N-werkingscoëfficiënt voor mineralen-concentraten vastgesteld van 77%. In het additionele onderzoek (Van Geel et al., 2011b, Tabel 3.8) was de N-werking vrijwel steeds gelijkwaardig aan KAS (100%) bij toepassing van het mineralenconcentraat via bouwlandinjectie voor poten of zaaien van het gewas. De enige uitzondering hierop was de zomergerstproef op zand in 2010 waarbij er geen verklaring was voor de gevonden lagere N-werking.

Tabel 3.7. N-werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat en dikke fractie na mestscheiding ten opzichte van kalkammonsalpeter (kas) op basis van N-opname in knollen in veldproeven met aardappelen (Van Geel et al., 2011a).

Meststof	Toedieningstijdstip	Klei (Lelystad)		Zand (Rolde)	
		2009	2010	2009	2010
MC	Basisbemesting	78	81	86 (n.s.)	78
Dikke fractie	Basisbemesting	34	32	55	34

n.s. betekent niet significant verschillend van KAS = 100%

Tabel 3.8. N-werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in verschillende bouwlandproeven in het kader van additioneel onderzoek (Van Geel et al., 2011b).

Proef	Toedieningsmoment	Grondsoort	Jaar	Methode	NWC (%)	Beoordeling tov KAS
Zetmeelaard.	Basisbemesting	dalgrond	2010	bouwlandinjectie	126	gelijkwaardig
Consumptieaard.	Basisbemesting	ZO zand	2010	bouwlandinjectie	123	gelijkwaardig
Consumptieaard.	Basisbemesting	ZW klei	2010	Oppervlakkig	95	gelijkwaardig
Zomergerst	Basisbemesting	dalgrond	2009	bouwlandinjectie	128	gelijkwaardig
Zomergerst	Basisbemesting	zandgrond	2010	bouwlandinjectie	40	lager*
Snijmaïs	voor zaaien	ZO zand	2010	bouwlandinjectie	129	gelijkwaardig
Snijmaïs	bij zaaien	ZO zand	2010	Kouter	94	gelijkwaardig
Wintertarwe	2e gift	zware zeeklei	2009	Sleufkouter	69	lager **
Wintertarwe	2e gift	zware zeeklei	2009	Slangen	119	gelijkwaardig
Wintertarwe	2e gift	zware zeeklei	2010	Sleufkouter	102	gelijkwaardig
Wintertarwe	2e gift	zware zeeklei	2010	Slangen	46	lager

* geen goede reden voor lagere N-werking

** lagere N-werking door NH₃-emissie tijdens toedienen

In het onderzoek naar de N-werking van de dikke fractie van varkensmest werd in drie van de vier proeven met aardappelen op zand- en kleigronden (Van Geel et al., 2011a) een relatief lage N-werkingscoëfficiënt gevonden (32-34%, Tabel 3.6). Alleen op de zandgrond in 2009 werd een hogere N-werkingscoëfficiënt gevonden (55%). Gemiddeld over alle proeven was de N-werkingscoëfficiënt 39%. In veldonderzoek dat al wat langer geleden is uitgevoerd naar de N-werking van de dikke fractie van varkensdrijfmest bij najaarstoediening bleek dat de N-werking (22%) nog lager kan zijn (Dekker et al., 2004-2006). Dit is lager dan de NWC van 60-65% die werd verwacht op basis van de samenstelling (Van Geel et al., 2011a). Als mogelijke verklaring werd de wijze van toediening (bovengronds en daarna in aparte werkgang ingewerkt) genoemd, aangezien dat een relatief hoge NH₃-vervluchtiging tot gevolg kan hebben gehad. In de proef op zandgrond met snijmaïs (Schröder et al., 2011) werd in overeenstemming met de verwachtingen een hogere NWC gevonden (64%). De dikke fractie die vrijkomt bij mestverwerking heeft dus een aanzienlijk lagere N-werking dan de mineralenconcentraten.

3.3.5 Berekening van N-werkingscoëfficiënten van de beschouwde producten van mest

Het bepalen van de N-werkingscoëfficiënt van organische meststoffen in veldonderzoek is bewerkelijk en kostbaar en is niet voor alle relevante mestverwerkingproducten onderzocht. Voor alle beschouwde producten is de N-werkingscoëfficiënt berekend op basis van de

samenstelling volgens de methode die is beschreven door Van Dijk et al. (2005). Daarbij wordt de werkingscoëfficiënt van de N-totaal in het product berekend uit de N-werking van de minerale fractie (Nm) en de organische fractie (Norg) volgens de volgende formule:

$$NWC = ((NWCm * Nm + NWCorg * Norg) / Ntotaal) * 100\%$$

Waarbij:

- NWCm en NWCorg de werkingscoëfficiënten van resp. de minerale en de organische fractie zijn en
- Nm, Norg en Ntotaal respectievelijk staan voor het gehalte aan minerale, organische en totaal N.

Bij mestscheiding verandert de verhouding tussen de hoeveelheid N-mineraal en N-organisch (Tabel 3.6). N-mineraal heeft een hogere N-werking dan N-organisch waardoor bij een verandering in de ratio N-mineraal/N-totaal ook de totale N-werking verandert.

De werking van de minerale fractie is in het algemeen niet gelijk aan 100%, omdat een deel van de ammonium bij toediening verloren kan gaan door ammoniak-vervluchtiging. Zoals hiervoor is aangegeven is de omvang van de vervluchtiging afhankelijk van de wijze van toediening en neemt de werking snel af als de mest niet goed of niet direct wordt ingewerkt (Tabel 3.3). Bij optimale toediening met een bouwlandinjecteur bedraagt de N-werking ca. 95%. Dit getal is gebruikt voor de berekeningen.

De werking van de organische fractie in organische meststoffen kan worden geschat door het berekenen van de verwachte N-mineralisatie met het model Minip (Janssen, 1984). Deze werkwijze is gehanteerd door Van Dijk et al., (2005) en hebben we ook hier toegepast. Daarbij is uitgegaan van een toediening van het product op 1 april en is de mineralisatie tot 1 augustus berekend, omdat dat de periode is waarin een belangrijk akkerbouwgewas zoals aardappelen N uit de bodem opneemt. Vervolgens wordt er vanuit gegaan dat de N die op deze manier vrijkomt voor 100% werkzaam is. Voor de berekening is informatie nodig over het organische stofgehalte, C-gehalte, Norg-gehalte en de afbreekbaarheid van de organische stof. De afbreekbaarheid wordt in het model Minip gekarakteriseerd door de initiële leeftijd, die kan worden afgeleid van de humificatiecoëfficiënt. Informatie hierover wordt zoveel mogelijk verzameld uit andere, reeds uitgevoerde projecten (o.a. MMM-project over organische meststoffen).

Factoren die de N-werkingscoëfficiënt van een product bepalen zijn:

- De verhouding tussen Nmin en Norg; over het algemeen is het aandeel Nmin in dunne fracties van mest hoger dan in ongescheiden mest of de dikke fractie van mest. Ook leidt het vergisten van mest in het algemeen tot een verschuiving van Norg naar Nmin in de mest (als we het effect van co-vergistingsmaterialen buiten beschouwing laten);
- De afbreekbaarheid van de organische stof in de mest: in het algemeen is de organische stof in onbewerkte mest gemakkelijker afbreekbaar dan in vergiste mest en is organische stof in varkensmest gemakkelijker afbreekbaar dan in rundermest.
- De C/N-ratio bepaalt de N-rijkdom van de organische stof in mest. Een hoge C/N-ratio zal leiden tot een relatief lage en een lage C/N-ratio tot een hoge N-mineralisatie bij de afbraak van organische stof.

3.3.6 *Overzicht N-werkingscoëfficiënt van producten van mest*

In Tabel 3.9 is een overzicht gegeven van de N-werkingscoëfficiënten van de onbewerkte mesten en de producten van mestverwerking. Hiertoe is gebruik gemaakt van informatie uit veldproeven, die zijn beschreven in paragraaf 3.3.4, en berekeningen, zoals beschreven in 3.3.5. In aanvulling op de informatie over de samenstelling (Tabel 3.8) is als uitgangspunt voor de berekeningen gebruik gemaakt van de stabiliteit van de organische stof (uitgedrukt als humificatiecoëfficiënt en a-waarde) in de mestproducten die in een voorgaand project is verzameld (De Haan et al., 2012).

Tabel 3.9. Overzicht van gemeten, berekende en wettelijke N-werkingscoëfficiënten (NWC) van mest en producten van mestverwerking. VRM = vaste rundveemest en VVKM= vaste vleeskuikenmest.

Mestsoort	fractie	C, g/kg	Nmin, g kg-1	Norg g kg-1	h.c.	a- waard	NWC, %		
							Gemeten 1)	berekend	wettelijk
DVM	Onbewerkt	22	4,6	2,5	0,33	1,36	66	79	60 (klei)-70 (zand)
DVM	Dikke fractie	108	4,0	6,6	0,33	1,36	22-64	60	55
DVM	Dunne fractie	6	3,6	0,6	0,33	1,36	62	88	80
									80-100 (afhankelijk van status)
DVM	MC	6	6,0	0,7	0,33	1,36	77- >100	90	
DVM dig.	Onbewerkt	28	4,3	2,6	0,36	1,44		76	60 (klei)-70
DVM dig.	Dikke fractie	110	6,0	5,3	0,36	1,44		65	55
DVM dig.	Dunne fractie	2	2,9	0,2	0,36	1,44		92	80
									80-100 (afhankelijk van status)
DVM dig.	MC	5	5,9	0,5	0,36	1,44		91	
DRM	Onbewerkt	32	2,0	2,1	0,7	3,17	38-60	53	60
									30-40 (afhankelijk van tijdstip)
DRM	Dikke fractie	82	1,6	2,9	0,7	3,17	33	36	
DRM	Dunne fractie	16	1,4	1,3	0,7	3,17		57	80
DRM	MC								
DRM dig.	Onbewerkt	33	3,8	1,5	0,75	3,69	55	70	60
									30-40 (afhankelijk van tijdstip)
DRM dig.	Dikke fractie	97	3,7	3,5	0,75	3,69		50	
DRM dig.	Dunne fractie	4	3,2	0,7	0,75	3,69	55	81	80
									80-100 (afhankelijk van status)
DRM dig.	MC	35	10,5	0,5	0,75	3,69	90	90	
Urean								90 ²⁾	100
Spuiwater								100	100
									30-40 (afhankelijk van tijdstip)
VRM		77	0,9	4,4	0,70	3,17		26	
VVKM		210	8	24,1	0,36	1,44		59	55
Betafert	Onbewerkt							50 ³⁾	50
	Dikke fractie							50	50
	Dunne fractie								50

¹⁾ Zie voor gemeten N-werkingscoëfficiënten de tekst in paragraaf 3.3.4.

²⁾ Schatting

³⁾ Volgens opgave van producent.

Concluderend:

- De N-werkingscoëfficiënten van producten van varkensmest zijn hoger dan van rundermest, uitgezonderd het mineralenconcentraat van het rundermest-digestaat.
- N-werkingscoëfficiënten van dikke fracties zijn lager dan van onbewerkte mesten.
- N-werkingscoëfficiënten van dunne fracties en mineralenconcentraten zijn hoger dan van onbewerkte mesten.
- Het verschil in N-werking tussen dunne fractie en mineralenconcentraten is voor de varkensmesten gering.
- De gemeten N-werkingscoëfficiënten wijken vaak sterk af van de berekende en zijn bijna altijd lager.

3.4 Verzurende werking

De verzurende werking van meststoffen verschilt in afhankelijkheid van de samenstelling. Vooral het ammonium-gehalte is hierbij van belang. Zo zijn ammoniumsulfaat en urean verzurend (basenequivalent is respectievelijk -300 en -100, uitgedrukt per 100 kg N), maar is KAS dat veel minder (-56). Voor kunstmest wordt de verzurende werking uitgedrukt in het basenequivalent, dat met de formule van Sluijsmans kan worden berekend op basis van de gehalten aan Ca, Mg, K, Na, P, S, Cl en N:

$$1 * \%CaO + 1,4 * \%MgO + 0,6 * \%K_2O + 0,9 * \%Na_2O - 0,4 \%P_2O_5 - 0,7\%SO_3 - 0,8*\%Cl - n*\%N.$$

Voor N gaat het alleen om de N die aanwezig is als ammonium.

Op basis van deze formule blijkt dat dierlijke mesten neutraalwerkend zijn, maar zijn mineralenconcentraten waarschijnlijk (de exacte samenstelling is niet bekend) verzurend, vanwege het hoge aandeel ammonium.

Spuiwater bestaat uit een oplossing van ammoniumsulfaat en is sterk verzurend (basenequivalent -300).

3.5 Wettelijke aspecten

De wettelijke status van de beschouwde producten verschilt, wat effect heeft op de volgende zaken:

- De toegestane gift: hierbij is het van belang of een product wordt beschouwd als dierlijke mest of niet. Als het product de dierlijke meststatus heeft, mag er op bedrijfsniveau maximaal 170 kg N per ha worden toegediend. Bij overige meststoffen mag er meer worden toegediend, mits de gebruiksnorm voor werkzame N dat op bedrijfsniveau toelaat. Dit is de reden dat kunstmest (zoals KAS en urean), mineralenconcentraten (zolang ze de kunstmeststatus hebben), maar ook spuiwater (overige anorganische meststof) en Betafert (overige organische meststof), meer mogelijkheden hebben dan producten van mest met een dierlijke meststatus.
- De wettelijk te hanteren werkingscoëfficiënt: deze zijn voor een aantal meststofcategorieën vastgelegd in de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet (Tabel 3.9; laatste kolom). Voor producten van mestverwerking moet de categorie worden geselecteerd die het meest van toepassing is. Voor mineralenconcentraten met een kunstmeststatus moet worden

uitgegaan van een NWC van 100%. De wettelijke N-werkings-coëfficiënten kunnen afwijken van de berekende, wat voor- of nadelig uit kan pakken voor de gebruiker.

- De toedieningsperiode. In principe mogen de meeste meststoffen alleen worden toegediend tussen 1 februari en 1 augustus (Besluit Gebruik Meststoffen). Uitzonderingen hiervoor zijn er o.a. voor vaste meststoffen op klei- en veengronden, die ook in het najaar en de winter mogen worden toegediend. Dit geldt dus ook voor de dikke fractie na mestscheiding.

3.6 Prijzen van de producten

- Kunstmest kost geld en het prijspeil voor kalkammonsalpeter bedroeg in 2012 gemiddeld 29,80 € per 100 kg, ofwel 1,10 € per kg N, en voor K-60 was dat 39,40, ofwel 0,66 € per kg K₂O. Het betreft prijzen ex. BTW.
- Dierlijke mest. Voor de afname van dierlijke mest ontvangen akkerbouwers in het algemeen geld, maar dat is afhankelijk van de regio en van de periode in het jaar. In de mestoverschotsgebieden varieert dat van 10-20 € per m³ mest, maar in regio's die verder weg zijn gelegen wordt dat bedrag aanzienlijk lager. Volgens de website mestportaal.nl waren de prijzen medio 2012 voor de regio's noord en zuid gelijk en ontvangen de ontvangers van varkensmest, afhankelijk van het tijdstip in het jaar, tussen de 4 en 7 € per ton varkensmest in de silo geleverd.
- Prijzen voor mineralenconcentraat zijn 0,65 € per kg N (product zonder P, geleverd op de akker; info Mestac) en
- voor spuiwater ca. 0,20 € per kg N (geleverd in eigen opslag) tot 0,60 € per kg N (uitgereden op akker; info CZAV.nl).

3.7 Samenvatting

- De N-gehalten in mestproducten liggen een factor 25-100 x lager dan in reguliere kunstmest, zoals kalkammonsalpeter (KAS). Daardoor zijn de benodigde volumes voor toediening veel groter.
- De gehalten in de mestproducten liggen in dezelfde orde van grootte als in het product Betafert, maar het N-gehalte is lager dan in spuiwater.
- De verhouding tussen nutriënten in de producten, zoals het N/P- en het N/K-gehalte, verschilt sterk tussen de producten. Dit is een belangrijke eigenschap voor de toepassingsmogelijkheden als meststof (zie volgende hoofdstuk).
- Het organische stofgehalte is relatief hoog in dikke fracties en vaste mesten en in producten van rundermest hoger dan in producten van varkensmest. Naast het organische stofgehalte, is de stabiliteit van de organische stof van belang.
- De samenstelling van dierlijke mesten varieert soms aanzienlijk. Bij mineralenconcentraten, zeker als die afkomstig zijn van een bepaalde productielocatie, zal dat minder sterk het geval zijn
- De wettelijke status van de producten (dierlijke mest of niet) is van invloed op de toe te dienen hoeveelheid N. Dit is de reden dat er van kunstmest (zoals KAS en urean), mineralenconcentraten (zolang ze de kunstmeststatus hebben), maar ook spuiwater (overige anorganische meststof) en Betafert (overige anorganische meststof), meer mag worden toegediend dan van producten met een dierlijke meststatus.

- De N-werkingscoëfficiënten van producten van varkensmest zijn hoger dan van rundermest, uitgezonderd het mineralenconcentraat van het rundermest-digestaat. N-werkingscoëfficiënten van dikke fracties zijn lager en van dunne fracties hoger dan van onbewerkte mesten. Het verschil in N-werking tussen dunne fractie en mineralenconcentraten is voor de varkensmesten gering.
- De gemeten N-werkingscoëfficiënten wijken vaak sterk af (zijn lager) van de berekende en ook van wettelijke waarden.
- Ureum- en NH_4 -houdende producten zoals urean en spuiwater werken verzurend. Dit is niet het geval voor dierlijke mesten, maar waarschijnlijk wel voor mineralenconcentraten.
- Producten van mest, Betafert en spuiwater zijn per eenheid beschikbaar nutriënt goedkoper dan kunstmest.

4. INZETBAARHEID MESTVERWERKINGSPRODUCTEN OP REPRESENTATIEVE BEDRIJVEN

4.1 Werkwijze

De inzetbaarheid van mestverwerkingsproducten op representatieve akkerbouwbedrijven wordt in beeld gebracht via de volgende stappen:

1. Beschrijven van modelbedrijven die een goede afspiegeling geven van akkerbouwregio's, door het karakteriseren van grondsoort en de gewassen in het bouwplan.
2. De behoefte aan nutriënten wordt voor die modelbedrijven in beeld gebracht door:
 - a. Het bepalen van de behoefte aan nutriënten (N, P en K) volgens de bemestingsadviezen, waarbij gebruik wordt gemaakt van gemiddelde, actuele cijfers van de bodemvruchtbaarheid per LEI-gebied van BLGG AgroXpertus;
 - b. Het bepalen van de toegestane aanvoer aan N en P volgens de gebruiksnormen voor dierlijke mest (op basis van het maximum van 170 kg N-totaal per ha) en de gebruiksnormen voor werkzame N en P.
 - c. Bepalen van de benodigde en maximaal toe te dienen hoeveelheid N-totaal, N-werkzaam, P en K op basis van a en b.
3. Bepalen inzetbaarheid van mestverwerkingsproducten door vergelijking van de behoefte aan nutriënten op de bedrijven aan de ene kant en de eigenschappen van de meststoffen aan de andere kant. Daarbij worden de N/P- en de N/K-ratio als belangrijkste criteria gebruikt. Op basis hiervan wordt een voorstel gedaan voor de inzetbaarheid van de uiteenlopende producten in de verschillende situaties (in de gewassen op de modelbedrijven).
4. Evaluatie van het voorstel voor de inzetbaarheid aan de hand van een aantal bijkomende zaken (logistiek, praktisch).

4.2 Stap 1: Beschrijving modelbedrijven in uiteenlopende regio's

Om de inzetbaarheid van mestverwerkingsproducten in de akkerbouw te onderzoeken wordt gebruik gemaakt van 5 modelbedrijven in de belangrijkste akkerbouwregio's die o.a. zijn gebruikt in een voorgaande studie (Van Dijk et al., 2007). De bouwplansamenstelling, die in het voorjaar van 2012 is geactualiseerd (Van Dijk et al., 2012) is weergegeven in Tabel 4.1. Het bouwplan en de gehanteerde bodemvruchtbaarheid dienden representatief te zijn voor de omgeving.

Klei

Voor de akkerbouw op kleigrond zijn drie modelbedrijven gedefinieerd. Het betreft een graanbedrijf op de noordelijke zeeklei (NZK), een pootgoedbedrijf op de centrale zeeklei (CZK) en een consumptieaardappelbedrijf op de zuidwestelijke zeeklei (ZWK).

Zand/dal

Voor het Noordoostelijk zand- en dalgrondgebied is uitgegaan van een bedrijf met een 1:2 teelt van zetmeelaardappelen (NON). Voor het Zuidoostelijk zandgebied is gekozen voor een

intensief akkerbouwbedrijf met consumptieaardappelen, suikerbieten en industriegroenten (ZON).

Tabel 4.1. Bouwplansamenstelling (%) van de geselecteerde modelbedrijven.

Modelbedrijven		Gewas	Aandeel, %
Omschrijving	Afkorting		
Noordelijke zeeklei	NZK	Suikerbiet	14
		Wintertarwe	63
		Wintergerst	14
		Koolzaad	9
Centrale zeeklei	CZK	Pootaardappel	33
		Suikerbiet	17
		Wintertarwe	17
		Tulp	17
		Lelie	17
Zuidwestelijke zeeklei	ZWK	Consumptieaardapp	25
		Suikerbiet	14
		Wintertarwe	36
		Zomertarwe	12
		Graszaad	4
		Zaaiui	9
Noordoostelijke zand- en	NON	Zetmeelaardappel	50
		Suikerbiet	17
		Zomergerst	33
Zuidoostelijke zandgrond	ZON	Consumptieaardapp	25
		Suikerbiet	12,5
		Snijmais	25
		Waspeen	12,5
		Prei (verhuur)	12,5
		Erwt+stamslaboon	12,5

4.3 Stap 2: behoefte aan nutriënten op de modelbedrijven

De behoefte aan nutriënten als basis voor de bemesting is in beeld gebracht via 2 scenario's:

- Behoeftte vanuit landbouwkundig oogpunt. Hiervoor wordt de Adviesbasis bemesting voor akkerbouw- en vollegroendsgroentegewassen (Van Dijk & Van Geel, 2012) gebruikt als basis voor de gewenste bemesting.
- Toegestane aanvoer aan N en P vanuit wettelijk oogpunt. Daarvoor vormen de gebruiksnormen voor dierlijke mest, werkzame stikstof en fosfaat de basis.
- Bepalen van de benodigde en maximaal toe te dienen hoeveelheid N-totaal, N-werkzaam, P en K op basis van a en b.

Hierna worden de resultaten toegelicht.

4.3.1 Stap 2a: Behoeftte volgens bemestingsadviezen

De landbouwkundige behoefte aan N, P en K kan per gewas in beeld worden gebracht door de rekenregels die beschikbaar zijn via de Adviesbasis bemesting voor akkerbouw- en

vollegrondsgroentegewassen (Van Dijk & Van Geel, 2012;). De N-, P- en K-behoefte is per modelbedrijf, per gewas, op basis van de gemiddelde bodemvruchtbaarheid van de betreffende grondsoort in de betreffende regio berekend op basis van het bemestingsadvies. Voor P en K zijn er bodemgerichte en gewasgerichte adviezen. Aangezien er aan beide adviezen moet worden voldaan en het bodemgerichte advies hoger is dan het gewasgerichte, is de P- en K-behoefte waarmee in dit rapport is gewerkt daarom steeds gebaseerd op de bodemgerichte adviezen. Deze adviezen gelden op bouwplanniveau en wij zijn er hier steeds vanuit gegaan dat de P- en K-toestand van de bodem gehandhaafd diende te blijven. Daartoe dient de gewasonttrekking te worden gecompenseerd en moet rekening worden gehouden met onvermijdbare verliezen. Voor het bedrijf op de zuidwestelijke zeeklei is de N-, P- en K-behoefte weergegeven in Tabel 4.2. Voor de overige bedrijven is dat overzicht opgenomen in bijlage 1.

Tabel 4.2. N-, P- en K-behoefte en de benodigde N/P₂O₅-ratio en N/K₂O-ratio per gewas volgens de adviesbasis bemesting voor het modelbedrijf op zuidwestelijke zeeklei (ZWK). Voor P en K gaat het om de bodemgerichte adviezen (zie tekst). Bij N zijn voor een aantal gewassen tussen haakjes de gangbare verdelingen over basis- en bijmestgift(en) vermeld.

Gewas	Adviesbasis bemesting, behoefte in kg/ha en als ratio				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N/P ₂ O ₅	N/K ₂ O
Consumptieaardappel	250 (175+75)	66	306	3,8	0,8
Suikerbiet	150	63	175	2,4	0,9
Wintertarwe (incl. stro)	230 (100+90+40)	77	113	3,0	2,0
Zomertarwe (incl. stro)	130 (80+50)	60	88	2,2	1,5
Graszaad	160	25	87	6,4	1,8
Zaaiui	175 (35+70+70)	42	108	4,2	1,6

Opvallende zaken:

- De gewasgerichte P- en K-adviezen (Bijlage 1) zijn bij veel gewassen vrij laag door een combinatie van een vrij lage gewasbehoefte en een vrij hoge bodemvruchtbaarheid.
- Bij het N-advies van een aantal gewassen wordt onderscheid gemaakt naar basis- en bijbemesting.
- De verschillen in grondsoort en bodemvruchtbaarheid tussen regio's zorgen er voor dat de adviezen voor een bepaald gewas tussen regio's kunnen verschillen (Bijlage 1).

4.3.2 Stap 2b. Toegestane aanvoer aan N en P volgens gebruiksnormen

Er zijn gebruiksnormen voor dierlijke mest, werkzame N en fosfaat:

- De gebruiksnorm voor dierlijke mest is voor akkerbouwbedrijven altijd gelijk en houdt in dat maximaal 170 kg N (N-totaal) per ha mag worden aangevoerd via dierlijke mest.
- De gebruiksnorm voor werkzame N verschilt per grondsoort, per gewas en soms per ras/opbrengstniveau. Op bedrijfsniveau is die norm afhankelijk van de geteelde gewassen en het aandeel ervan binnen het bouwplan.
- De gebruiksnorm voor fosfaat is afhankelijk van de bodemtoestand en bedraagt (in 2013) voor bouwland:

- 55 kg P₂O₅ per ha voor gronden met een hoge P-toestand (Pw-getal > 55);
- 65 kg P₂O₅ per ha voor gronden met een neutrale toestand (Pw-getal 36-55); en
- 85 kg P₂O₅ per ha voor gronden met een lage toestand (Pw-getal < 36).

Door dit op bedrijfsniveau door te rekenen, kan de plaatsingsruimte voor N, P en dierlijke mest per bedrijf worden vastgesteld. Voor het modelbedrijf op de zuidwestelijke zeeklei is dat weergegeven in tabel 4.3. Voor de overige modelbedrijven is dat opgenomen in Bijlage 1.

Tabel 4.3. Toegestane aanvoer voor Nt (N-totaal) via dierlijke mest, Nwz (N-werkzaam) en fosfaat (P₂O₅) en de benodigde N/P₂O₅-ratio per gewas (in kg per ha) en op het bedrijf (= plaatsingsruimte; in kg per bedrijf) volgens de gebruiksnormen voor het modelbedrijf op de zuidwestelijke zeeklei.

Gewas	areaal,ha	gebruiksnorm, in kg per ha				gebruiksnorm, in kg per bedrijf		
		Nt via				Nt	Nwz	P ₂ O ₅
DM	Nwz	P ₂ O ₅	Nwz/P ₂ O ₅					
Consumptie-								
aardappel	25	170	250	65	3,85	4250	6250	1625
Suikerbiet	14	170	150	65	2,31	2380	2100	910
Wintertarwe	35,5	170	245	65	3,77	6035	8698	2308
Zomertarwe	12,5	170	140	65	2,15	2125	1750	813
Graszaad	4	170	245	65	3,77	680	980	260
Zaaiui	9	170	140	65	2,15	1530	1260	585
Totaal	100,0					17000	21038	6500

Opvallende zaken:

- De N-behoefte volgens de gebruiksnormen voor werkzame N komt grotendeels overeen met het N-advies, alleen voor het modelbedrijf op de zuidoostelijke zandgronden liggen de gebruiksnormen duidelijk lager dan het advies (Bijlage 1).
- De toegestane P-gift volgens de gebruiksnormen ligt in dezelfde orde van grootte als het bodemgerichte P-advies.
- Verschillen in de gemiddelde P-toestand van de bodem in de regio's waar de modelbedrijven liggen, leiden tot verschillen in de P-gebruiksnorm (Bijlage 1).
- De plaatsingsruimte voor N en P per modelbedrijf is berekend uit het areaal en de gebruiksnorm voor N en P per gewas.
- Op basis van de toegestane aanvoer aan werkzame N en P kan een N/P-ratio worden berekend. In het ideale geval sluit de N/P-ratio van de geselecteerde meststof(fen) daar precies op aan. Bij de berekening van de N/P-raio is geen rekening gehouden met een eventuele opsplitsing tussen basis- en bijmestgiften.

4.3.3 Stap 2c. Vaststellen van behoefte op basis van bemestingsadviezen en gebruiksnormen

Aangezien de behoefte op basis van bemestingsadviezen niet precies overeenkomt met de toegestane N- en P-gift volgens de gebruiksnormen, moet worden nagegaan wat de benodigde én maximaal te gebruiken hoeveelheid N, P en K is die wordt gebruikt voor de verdere

beschouwing van de inzetbaarheid van mestproducten. Aangezien de adviezen voor N en P en de gebruiksnormen voor werkzame N en P niet veel van elkaar verschillen, maar omdat de gebruiksnormen leidend zijn voor wat wettelijk is toegestaan, nemen we de gebruiksnormen als basis voor de benodigde en maximaal te gebruiken hoeveelheid N en P op gewas- en bouwplanniveau. Voor de K-behoefte maken we gebruik van het bemestingsadvies. Zodoende kan op gewas- en bouwplanniveau de in te zetten hoeveelheid N, P en K worden afgeleid uit een combinatie van de informatie uit de tabellen 4.2 en 4.3.

Tabel 4.4. Benodigde en maximaal in te zetten hoeveelheid Nt (N-totaal) uit dierlijke mest, Nwz (N-werkzaam), fosfaat (P_2O_5) en kali (K_2O) per gewas (in kg per ha) en op het bedrijf (in kg per bedrijf) volgens de bemestingsadviezen (K_2O) en de gebruiksnormen (Nt uit dierlijke mest, Nwz en P_2O_5) voor het modelbedrijf op de zuidwestelijke zeeleij.

Gewas	areaal, ha	behoefte, in kg per ha				behoefte, in kg per bedrijf			
		Nt via DM	Nwz	P_2O_5	K_2O	Nt via DM	Nwz	P_2O_5	K_2O
Consumptie-									
aardappel	25	170	250	65	306	4250	6250	1625	7650
Suikerbiet	14	170	150	65	175	2380	2100	910	2450
Wintertarwe	35,5	170	245	65	113	6035	8698	2308	4012
Zomertarwe	12,5	170	140	65	88	2125	1750	813	1099
Graszaad	4	170	245	65	87	680	980	260	348
Zaaiui	9	170	140	65	108	1530	1260	585	972
Totaal	100,0					17000	21038	6500	16530

4.4 Stap 3: Bepalen inzetbaarheid mestverwerkingsproducten

De inzetbaarheid van mestverwerkingsproducten op de modelbedrijven is in eerste instantie bepaald door een vergelijking tussen de N-, P- en K-behoefte van de gewassen op bouwplanniveau (Tabel 4.4) en de eigenschappen van de producten van mest (Tabel 4,5). Daarbij wordt rekening gehouden met de verhouding tussen N, P en K van de gewasbehoefte en met die verhouding in de mestproducten (Bijlage 2).

Daarbij worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Op alle modelbedrijven wordt een basisbemesting met dunne varkensmest uitgevoerd. Hiermee wordt aangesloten bij de gangbare praktijk, waarin DVM zeer goed verkrijgbaar is tegen een aantrekkelijke prijs. Met deze meststof wordt relatief veel P en relatief weinig werkzame N aangevoerd.
- Voor de bedrijven op kleigrond wordt hierbij uitgegaan van een gift waarmee 75% van de P-behoefte op bedrijfsniveau wordt ingevuld.
- Voor de bedrijven op zandgrond wordt uitgegaan van een gift met dunne varkensmest waarmee 90% van de P-behoefte op bedrijfsniveau wordt ingevuld.
- Er wordt op bedrijfsniveau niet meer N (totaal en werkzaam), P én K aangevoerd dan de behoefte.
- Via de bemesting moet op gewasniveau worden voldaan aan de N-behoefte. De P- en K-behoefte moet op bouwplanniveau worden gedekt, waarbij bij de toewijzing van meststoffen

aan gewassen wel rekening wordt gehouden met de gewasbehoefte voor P en K (zie verder)

- Op gewasniveau wordt via onbewerkte dierlijke mest niet meer werkzame N aangevoerd dan 60% van de N-behoefte van het gewas, om een te hoge, ongewenste N-beschikbaarheid door mineralisatie te voorkomen.

Vervolgens worden de volgende stappen doorlopen:

- a. Bepaal hoeveel werkzame N, P en K met de varkensmest wordt aangevoerd.
- b. Bepaal hoeveel werkzame N, P en K in aanvulling op de varkensmest nog moet worden aangevoerd en welke N/P- en N/K-ratio de daarvoor benodigde meststoffen in het ideale geval dienen te hebben.
- c. Bepaal welk mestverwerkingsproduct of andere meststof daar het best bij past.
- d. Bepaal hoeveel van het product kan worden toegediend voordat de maximaal toe te dienen hoeveelheid N, P of K wordt bereikt en stel vast hoeveel werkzame N, P en K hiermee wordt toegediend.
- e. Bepaal hoeveel N, P en K in aanvulling daarop nog nodig is.
- f. Bepaal welke meststof(fen) daar het best bij past/passen en vul aan tot de behoefte.
- g. Verdeel de meststoffen over de gewassen in het bouwplan.

Stap 3a. Bepaal hoeveel werkzame N, P en K wordt aangevoerd met varkensmest

Op bedrijfsniveau van het modelbedrijf op de zuidwestelijke zeeklei is de behoefte aan werkzame N, P en K respectievelijk gelijk aan 21038 kg N, 6500 kg P_2O_5 en 16530 kg K_2O (Tabel 4.6). Als 75% van de P wordt aangevoerd met dunne varkensmest (gelijk aan het hiervoor beschreven uitgangspunt), betekent dat een aanvoer met DVM van 6020 kg werkzame N, 4875 kg P_2O_5 en 6147kg K_2O (uitgaande van de samenstelling in Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Karakterisering van verschillende mesten en mestverwerkingsproducten op basis van de gehalten aan N (totaal en werkzaam), P₂O₅, K₂O en de verhouding tussen de hoeveelheid werkzame N en de hoeveelheid P en K. NWC= N-werkingscoëfficiënt; voor berekening zie Hoofdstuk 3.3.

mestsoort	fractie	N-totaal g/kg	NWC	Nwz g/kg	P ₂ O ₅ g/kg	K ₂ O g/kg	Nwz/P ₂ O ₅	Nwz/K ₂ O	
DVM	Onbewerkt	7,1	79	5,6	4,6	5,8	1,2	1,0	
DVM	Dikke fractie	10,6	60	6,4	15,2	4,8	0,4	1,3	
DVM	Dunne fractie	4,2	88	3,7	0,7	4,7	5,1	0,8	
DVM	MC	6,7	90	6,0	0,4	8,5	16,5	0,7	
DVM	digestaat	Onbewerkt	6,9	76	5,2	3,8	5,4	1,4	1,0
DVM	digestaat	Dikke fractie	11,2	65	7,3	17,3	5,1	0,4	1,4
DVM	digestaat	Dunne fractie	3,1	92	2,9	0,2	3,9	18,0	0,7
DVM	digestaat	MC	6,4	91	5,8	0,5	8,5	12,7	0,7
DRM	Onbewerkt	4,1	53	2,2	1,5	5,8	1,4	0,4	
DRM	Dikke fractie	4,5	36	1,6	2,3	5,1	0,7	0,3	
DRM	Dunne fractie	2,7	57	1,5	1,2	5,9	1,3	0,3	
DRM	digestaat	Onbewerkt	5,4	70	3,8	1,9	6,3	1,9	0,6
DRM	digestaat	Dikke fractie	7,2	50	3,6	6,4	5,3	0,6	0,7
DRM	digestaat	Dunne fractie	3,9	81	3,2	0,7	5,8	4,6	0,5
DRM	digestaat	MC	11,0	90	9,9	0,6	15,7	16,0	0,6
KAS		270	100	0	0	0	100 ¹⁾	100 ¹⁾	
TSP		0	0	0	450	0	0	0	
Urean		300	90	0	0	0	100	100	
APP		100	100	100	340	0	0,3	100	
Spuiwater		5	100	5,0	0	0	100	100	
Vaste rundermest		5,3	26	1,4	2,8	6,1	1,9	0,2	
Vaste vleeskuikenmest		32,1	59	18,9	16,8	20,5	1,9	0,9	
Betafert	Onbewerkt	3,9	50	2,0	1,1	3,5	3,5	0,6	
	Dikke fractie	10,6	50	5,3	5	5,5	2,1	1,0	
	Dunne fractie	5,5	50	2,8	0,7	3,5	7,9	0,8	

¹⁾ De Nwz/P₂O₅- en Nwz/K₂O-ratio zijn hier oneindig, maar zijn op 100 begrensd om er mee te kunnen rekenen.

Stap 3b. Bepaal hoeveel werkzame N, P en K in aanvulling op de varkensmest nog moet worden aangevoerd

De resterende behoefte wordt berekend uit de oorspronkelijk benodigde hoeveelheid verminderd met de hoeveelheid berekend in stap 3a. Dit is 15018 kg werkzame N (21038 – 6020), 1625 kg P₂O₅ (6500 – 4875) en 10383 kg K₂O (16530 – 6147). De N/P- en N/K-ratio van de meststoffen die voorzien in de resterende behoefte zijn in het ideale geval voor N/P gelijk aan 15018/1625, ofwel 9,24 en voor N/K gelijk aan 1,45. Zie ook Tabel 4.6.

Stap 3c. Bepaal welke meststoffen (inclusief mestverwerkingsproducten) het best passen

Uit een vergelijking van de gewenste N/P- en N/K-ratio's (zie stap 3b) met de actuele ratio's (Tabel 4.7) blijkt dat de N/P-ratio van de dunne fracties en mineralenconcentraten het dichtst in de buurt komen van de gewenste N/P-ratio. De N/K-ratio van de dikke fractie van varkensmest komt het dichtst in de buurt van de gewenste N/K-ratio, maar van dat product is de N/P-ratio zeer afwijkend van de gewenste N/P. Daarom is gekozen voor de dunne fractie van DVM voor het in te zetten product. Alternatieven hiervoor zijn de dunne fractie van digestaat van vergiste DVM, de dunne fractie van Betafert en/of mineralenconcentraten.

Stap 3d. Bepaal hoeveel van het product kan worden toegediend voordat de maximaal toe te dienen hoeveelheid Nt, Nwz, P of K wordt bereikt en bepaal de hoeveelheid werkzame N, P en K bij die gift

Er kan 2209 ton dunne fractie worden toegediend, voordat de maximaal toe te dienen hoeveelheid van één van de nutriënten wordt bereikt. In dit geval is dat K. Met die hoeveelheid wordt 8165 kg werkzame N, 1546 kg P₂O₅ en 10383 kg K₂O aangevoerd.

Stap 3e. Bepaal hoeveel N, P en K in aanvulling daarop nog nodig is

Dit is nog 6853 kg Nwz en 79 kg P₂O₅.

De stappen 3a t/m 3e zijn samengevat in Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Samenvatting van de stappen 3a t/m 3e om te komen tot de invulling van het meststoffenplan voor modelbedrijf ZWK.

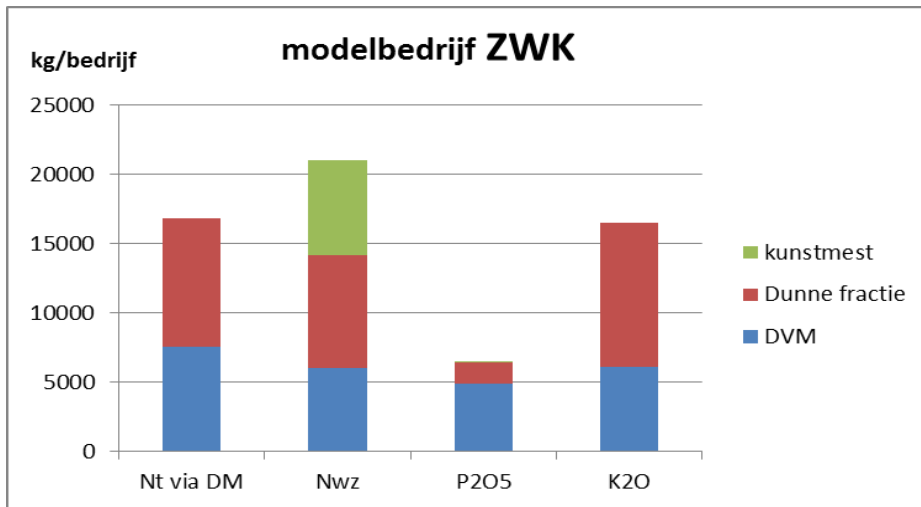
stap	Omschrijving	Kg Nt	kg Nwz	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	Product, ton	Nwz/ P ₂ O ₅	Nwz/ K ₂ O
	Behoefte op bedrijfsniveau		21038	6500	16530		3,24	1,27
3a	Invulling 75% P-behoefte via DVM	7524	6020	4875	6147	1060		
3b	Vaststellen resterende behoefte		15018	1625	10383		9,24	1,70
3c+d	Aanvullen met dunne fractie	9279	8165	1546	10383	2209		
3e	Vaststellen resterende behoefte		6853	79				

Stap 3f. Bepaal welke meststof(fen) daar het best bij passen en hoeveel daarvan nodig is

De N kan worden toegediend via kunstmest (kalkammonsalpeter of urean) of een restproduct met N en zonder P en K. Zo'n product is b.v. spuiwater, een oplossing van ammoniumsulfaat. De benodigde hoeveelheid P kan eventueel nog worden toegediend met kunstmest (b.v. een NP-meststof), maar het is in dit geval niet erg als dit achterwege wordt gelaten. De P-toestand

van de bodem zal slechts beperkt dalen.

Voor het modelbedrijf ZWK ziet het plaatje er dan als volgt uit (Figuur 4.1):



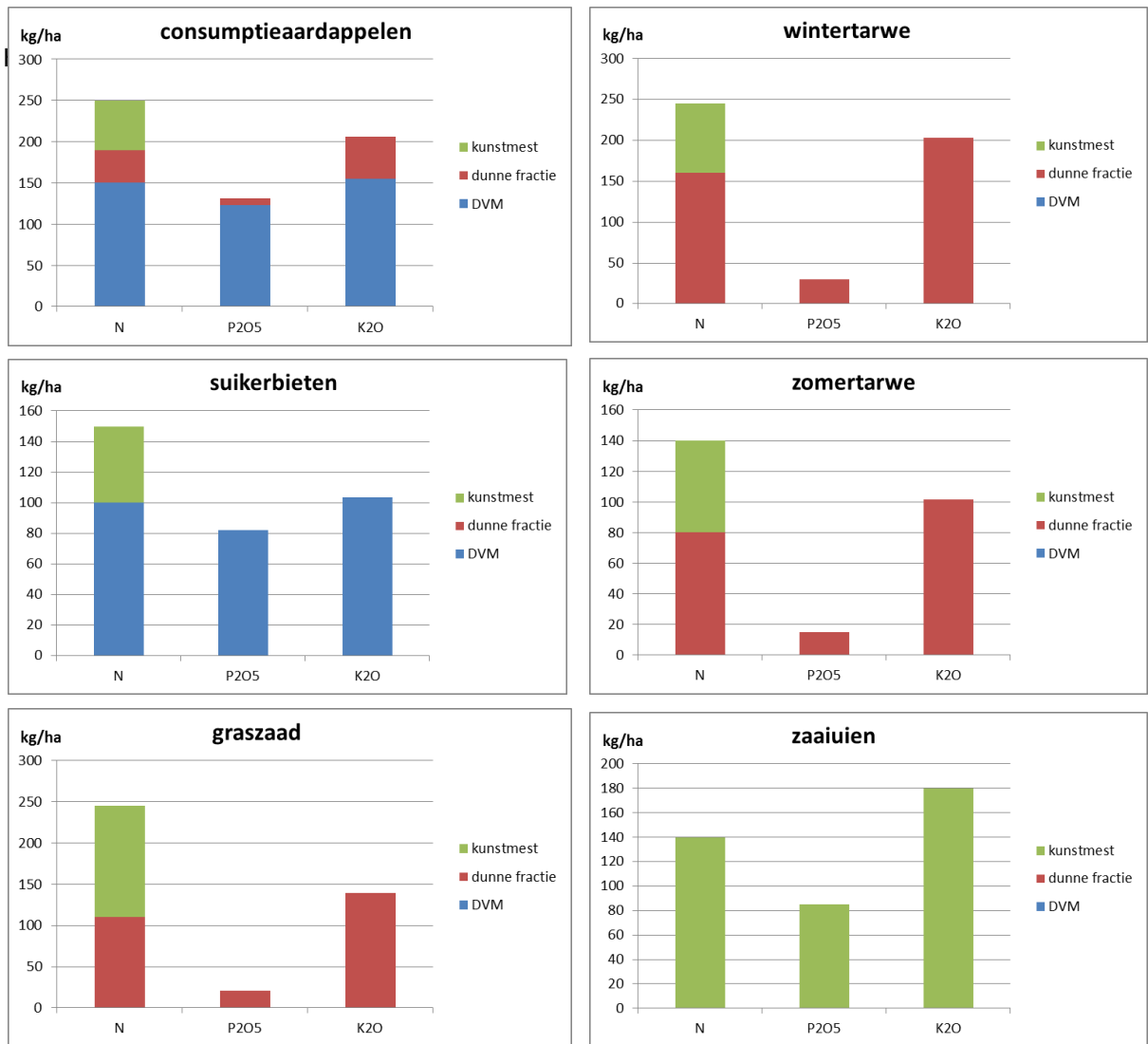
Figuur 4.1. Mogelijke invulling van het meststoffenplan voor het modelbedrijf ZWK (100 ha).

Hieruit blijkt dat de aanvoer aan N-totaal via dierlijke mesten (dunne varkensmest en dunne fractie) iets lager is dan de toegestane hoeveelheid van 170 kg N per ha, wat op bedrijfsniveau (100 ha) overeenkomt met 17.000 kg N per ha. De totale toediening aan werkzame N, P en K komt overeen met de behoefte op bedrijfsniveau (Tabel 4.6). Daarbij draagt de dunne varkensmest vooral bij aan de P-voorziening, in mindere mate aan de K-voorziening en aan de N-voorziening. De dunne fractie draagt vooral bij aan de K- en N-voorziening en voor een klein deel aan de P-voorziening. De resterende N-behoefte wordt ingevuld door kunstmest en/of spuihoog.

Stap 3g. Verdeling van de meststoffen over de gewassen in het bouwplan

Voor de verdeling van meststoffen over de gewassen in het bouwplan worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

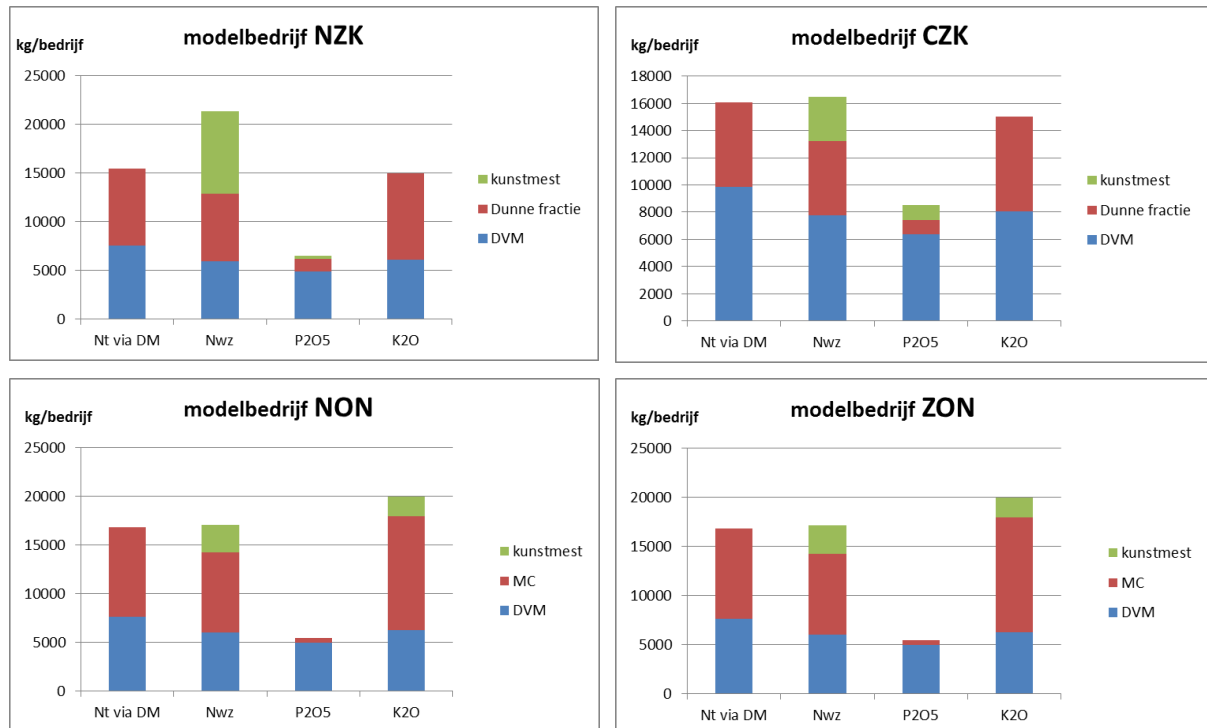
- De verdeling van de meststoffen over de gewassen moet zodanig zijn dat de N-behoefte op gewasniveau wordt gedekt. Ook moet daarbij rekening worden gehouden met een eventuele basis- én bijbemesting. De P- en K-behoefte moet op bouwplanniveau worden gedekt, maar bij de verdeling van meststoffen over de gewassen moet rekening worden gehouden met de gewasgerichte P- en K-adviezen (Bijlage 1).
- Dit betekent dat de onbewerkte mest met name wordt ingezet voor de meest P-behoefte gewassen aardappelen, suikerbieten en zaaiuien.
- De dunne fracties passen goed in de graangewassen, aangezien die een zeer lage P- en K-behoefte hebben. De K-aanvoer is in dat geval wel hoger dan de K-behoefte op basis van het gewasgerichte advies.
- Bijbemesting wordt zoveel mogelijk uitgevoerd met kunstmest.
- De bemesting in zaaiuien wordt ingevuld met kunstmest.



Figuur 4.2. Mogelijke verdeling van meststoffen over de gewassen in het bouwplan van modelbedrijf ZWK.

Andere bouwplannen

Hiervoor is de invulling van het meststofplan van het modelbedrijf op de zuidwestelijke zeeklei (ZWK) uitgebreid besproken. De invulling van de overige meststofplannen wordt hier kort besproken, door alleen de mogelijke inzet van mest en producten van mest op bouwplanniveau weer te geven (Figuur 4.3).



Figuur 4.3. Mogelijke inzet van dunne varkensmest (DVM), de dunne fractie van DVM, mineralen-concentraat van DVM (MC) en kunstmest in meststofplannen van vier modelbedrijven (allemaal 100 ha).

In de meststofplannen van de bedrijven op de noordelijke zeeklei (NZK) en centrale zeeklei (CZK) zijn in aanvulling op dunne varkensmest (75% van P-behoefte) de dunne fractie van DVM (of van digestaat van DRM, of van Betafert) en N-kunstmest (b.v. kas, urean) inzetbaar. Aangezien de P-toestand van de bodem in CZK relatief laag is, is de P-behoefte daar relatief hoog. Daartoe kan eventueel nog een hoeveelheid P worden toegediend via kunstmest.

Voor de meststofplannen van de bedrijven op de noordoostelijke zand- en dalgronden (NON) en de zuidoostelijke zandgronden (ZON) zijn we er vanuit gegaan dat voor 90% in de P-behoefte wordt voorzien door de inzet van dunne varkensmest. Dat betekent dat er aanvullend nog zeer beperkt ruimte is voor P (de P-behoefte is met 55 kg P_2O_5 per ha laag, vanwege de hoge P-toestand van de bodem), maar nog wel een aanzienlijke behoefte aan N en K. Die kan grotendeels worden ingevuld via het mineralenconcentraat (MC). Er is (uitgaande van het P-gehalte van 0,4 kg P_2O_5 per ton MC) nog een relatief beperkte aanvulling nodig van N en K als kunstmest. Dit laatste is niet meer nodig als het P-gehalte in MC verder wordt teruggebracht en/of als de verhouding tussen de onbewerkte DVM en het MC wat verschuift in de richting van het MC.

Opgemerkt moet worden dat de gebruiksnorm voor dierlijke mest van 170 kg N per ha in geen van de modelbouwplannen wordt overschreden, zelfs als de MC's de dierlijke meststatus hebben. Op basis van het voorgaande lijkt te kunnen worden geconcludeerd dat het voor de toepassingsmogelijkheden van MC in de akkerbouw belangrijker is dat het product geen P meer bevat dan dat het een kunstmeststatus heeft.

Evaluatie van inzetbaarheid producten

In de vorige paragraaf is de inzetbaarheid van producten van mest in gewassen op de modelpraktijkbedrijven op verschillende grondsoorten in uiteenlopende akkerbouwregio's weergegeven. Dat is gedaan op basis van een vergelijking van de nutriëntenbehoefte van de gewassen en de nutriëntenlevering door de producten van mest. Daarbij is zowel uitgegaan van de bemestingsadviezen als van de gebruiksnormen en er is rekening gehouden met de gemiddelde bodemvruchtbaarheid op de betreffende grondsoort in de betreffende regio. De conclusie is dat de meststofplannen op basis van de behoefte aan nutriënten vrijwel altijd ingevuld kunnen worden met combinaties van onbewerkte DVM (maar dat kunnen ook andere, vergelijkbare producten zijn) en/of dikke fracties enerzijds en dunne fracties en/of mineralenconcentraten met kunstmest anderzijds.

De inzetbaarheid van de producten van mest op praktijkbedrijven hangt echter ook van andere factoren af, zoals:

- Eventuele logistieke knelpunten bij opslag en/of transport. De kans hierop is het grootst voor de volumineuze producten van mest, die vaak over relatief grote afstanden moeten worden getransporteerd en in het voorjaar in een vrij korte periode (vaak door loonwerkers) op het land moeten worden toegediend. Een goede organisatie van transport en opslag is dus een belangrijke voorwaarde voor de inzetbaarheid van producten van mest.
- Toedieningsmogelijkheden. Dierlijke mest en producten daaruit zijn volumineus (dat geldt ook voor mineralenconcentraten). Dit is een nadeel bij de toediening in het voorjaar, aangezien de benodigde zware machines de bodemstructuur vooral op kleigrond negatief kunnen beïnvloeden. In dat opzicht ontlopen de meeste producten van mest, en ook Betafert, elkaar niet sterk. Dit beperkt de mogelijkheden van het gebruik van al deze producten in het voorjaar op kleigrond, vooral bij aardappelen, suikerbieten, zaaiuien, etc. Met een sleepslangenmachine kunnen die negatieve effecten grotendeels worden voorkomen, maar toch wordt dit in de praktijk als een groot knelpunt ervaren. Om die reden worden (producten uit) dierlijke mest op kleigrond, voor zover ze worden toegepast, relatief vaak ingezet in graangewassen. In de andere gewassen wordt vaak gekozen voor relatief eenvoudig toe te passen meststoffen, zoals kunstmest en/of een meer geconcentreerd product, zoals spuiwater.

De toe te dienen volumes van producten uit mest zijn soms te klein om ze goed apart te kunnen doseren (De Hoop et al., 2011). In dat geval kan het toedienen van en mengen met onbewerkte mest een goed alternatief zijn. Ook kan het interessant zijn om de dunne fracties of mineralenconcentraten niet als basisbemesting voor het zaaien of poten, maar als bijbemesting (b.v. in aardappelen of granen) in het groeiseizoen toe te dienen. Hiervoor mag gebruik worden gemaakt van een slangendoseersysteem.

- Effecten op bodemvruchtbaarheid/organische stof. In de voorgaande paragrafen is de inzetbaarheid van producten van mest beoordeeld op basis van gehalten aan beschikbare nutriënten in relatie tot de behoefte van de gewassen in het bouwplan. Daarnaast speelt het gehalte en de stabiliteit van organische stof in meststoffen ook een rol. Vooral composten, vaste mesten, dikke fracties die ontstaan bij mestverwerking en onbehandelde runderdrijfmest kunnen een relatief grote bijdrage leveren aan de organische stofvoorziening. Met combinaties van compost, vaste mest of een dikke fractie aan de ene kant en een dunne fractie of mineralenconcentraat aan de andere kant kunnen combinaties worden gevormd waarmee zowel de organische stofvoorziening als de nutriëntenlevering

wordt geoptimaliseerd.

- Mate waarin P-gebruiksruimte wordt “opgevuld” met onbewerkte dierlijke mest. Naarmate dat meer het geval is, is er minder ruimte voor de toediening van P-houdende producten. In die gevallen wordt het steeds aantrekkelijker om (bijna) P-vrije producten, zoals het mineralenconcentraat van Kumac (bedrijf B uit de pilot mineralenconcentraten; Hoeksma et al., 2011) te gaan gebruiken. Ook spuiwater kan hiervoor interessant zijn, maar de toegestane toedieningshoeveelheid van dit product is beperkt, vanwege het hoge S-gehalte.
- De betrouwbaarheid van de samenstelling van het product. Bij dierlijke mesten en producten daaruit varieert de samenstelling soms aanzienlijk. Dit kan een probleem vormen, omdat de samenstelling soms te laat bekend wordt. Bij mineralenconcentraten, zeker als die afkomstig zijn van één bepaalde productielocatie, zal dat waarschijnlijk minder sterk het geval zijn.

Daarnaast spelen de wettelijke aspecten, de prijs van de meststoffen (zie vorige hoofdstuk) en de eventuele bijkomende positieve (organischestoflevering) of negatieve effecten (verzuring) vaak een belangrijke rol.

De “optimale” meststofkeuze is dan ook sterk afhankelijk van de lokale situatie, zoals het geteelde gewas, de grondsoort, de bodemsamenstelling/bodemvruchtbaarheid. Daarnaast spelen echter ook persoonlijke voorkeuren van de akkerbouwer en/of bestaande contacten met mesthandelaren en/of veehouderijen een belangrijke rol. Er zijn in het algemeen zeer uiteenlopende mogelijkheden om een meststoffenplan in te vullen en daarbij kunnen producten van mest zeker worden ingezet.

5. MILIEUKUNDIGE BEOORDELING EN KLIMAATEFFECTEN

5.1 Werkwijze

De milieukundige beoordeling van productie en gebruik van de meststoffen bestaat uit een analyse van de energiebehoefte, broeikasgasemissies (van belang voor klimaateffecten) en stikstofverliezen tijdens alle stappen van productie tot en met toediening aan het bouwland (Tabel 5.1). We beschouwen het systeem vanaf het moment van mestuitscheiding door landbouwhuisdieren tot aan het moment van gewasopname op bouwland. De mestketen begint op het moment van uitscheiding op het veehouderijbedrijf. Dat betekent dat emissies en energieverbruik tijdens de voerproductie niet zijn meegenomen. Dergelijke emissies zijn in principe toegewezen aan de productie van melk en vlees. Dierlijke mest, en de producten die daaruit gemaakt worden, zijn dus beoordeeld vanaf het moment van opslag, direct na de uitscheiding door rundvee, varkens of pluimvee. De emissies van broeikasgassen (kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O)) zijn omgerekend naar CO₂-equivalenten.

Tijdens de productie van kunstmest is vooral het energieverbruik en de daarmee samenhangende CO₂ emissie van belang. Bij de productie van nitraatmeststoffen komt bovendien N₂O vrij. Tijdens de opslag van dierlijke mest treden emissies op van NH₃, CH₄ en N₂O. Belangrijke factoren die de opslagemissie bepalen zijn de opslagduur, de opslagmethode en het type mest. De transportafstanden zijn vooral relevant voor het energieverbruik, en daarmee voor de CO₂-emissie. De emissie van N₂O speelt bij transport slechts een geringe rol. Bij de bewerking van mest (mechanische scheiding, vergisting en omgekeerde osmose) is het energieverbruik en daarmee de CO₂-emissie eveneens van groot belang. Bovendien speelt bij vergisting de energiewinning en de vermeden CO₂- en CH₄-emissie een belangrijke rol. Bij de toediening van mest zijn, naast energie en CO₂-emissie door brandstofverbruik, de emissies van N₂O en NH₃ uit mest belangrijk. Tot slot wordt bij de gewasopname het bodemoverschot aan stikstof beoordeeld, en daarmee samenhangend de NO₃-uitspoeling.

Tabel 5.1 Relevante milieukundige indicatoren voor de verschillende stappen van de mestketen. v: indicatoren die in de analyse worden opgenomen.

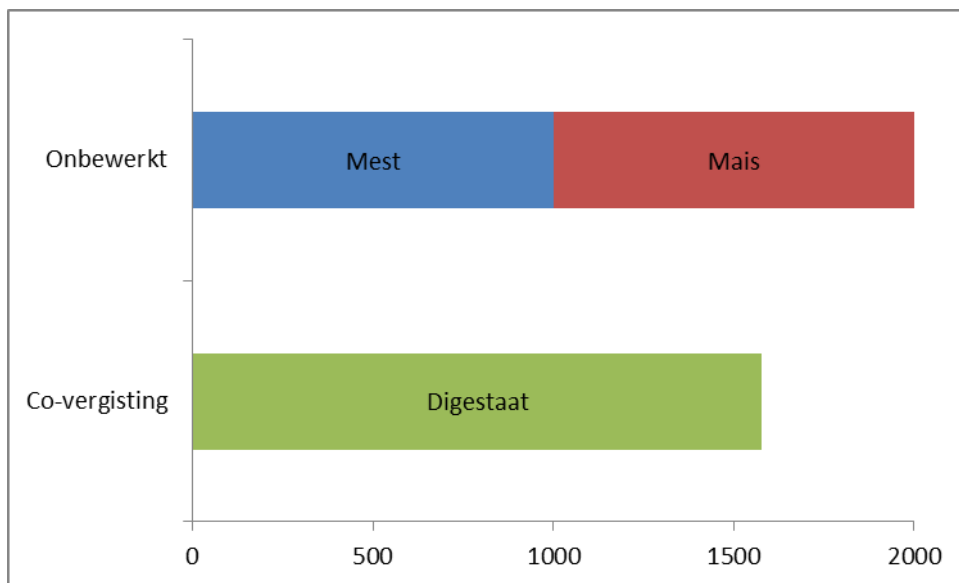
	Energie	broeikasgassen			NH ₃	NO ₃
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄		
Productie	v	v	v			
Opslag			v	v	v	
Transport	v	v	v			
Mestbewerking	v	v		v	v	
Toediening	v	v	v		v	v

De beoordeelde meststoffen zijn sterk verschillend in samenstelling en eigenschappen maar ze hebben allemaal dezelfde functie: het leveren van stikstof en/of fosfaat. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken zijn de klimaateffecten berekend ten opzichte van het gehalte aan nutriënt en het gehalte aan werkzame nutriënt.

Toewijzing emissies aan fracties

Mestbewerking kan uit meerdere stappen bestaan, waardoor meerdere (tussen)producten worden gevormd. Bij elke stap treden verliezen op van massa. Bovendien kunnen nutriënten op een onevenredige wijze over de verschillende tussenproducten worden verdeeld. Dat gebeurt bijvoorbeeld bij de scheiding van mest in een dikke en dunne fractie waarbij fosfaat vooral in de dikke fractie terecht komt. De massabalans van de mesthoeveelheid en de toewijzing van emissies aan fracties is berekend uit de verdeling van fosfaat over de verschillende fracties omdat de fosfaatbalans in principe sluitend is. Door fosfaat als uitgangspunt te nemen is de stikstofbalans dus niet persé sluitend.

Bij vergisting ontstaat slechts een mestproduct, namelijk digestaat. Alle emissies worden daarom toegekend aan het digestaat. Bij co-vergisting wordt mais toegevoegd in een verhouding 1 deel mest op 1 deel mais. De emissies die optreden bij de teelt van mais worden eveneens toegekend aan het digestaat. Op grond van de fosfaatgehalten in uitgangsmest, mais en digestaat is berekend dat uit 1000 kg mest en 1000 kg mais, ongeveer 1500 tot 1600 kg digestaat ontstaat. Deze hoeveelheid is wat lager dan op grond van de afbraak van organische stof verwacht mag worden. Uitgaande van 50% afbraak van mest-OS en 80% van mais-OS, zou er ongeveer 1750 kg digestaat moeten ontstaan.



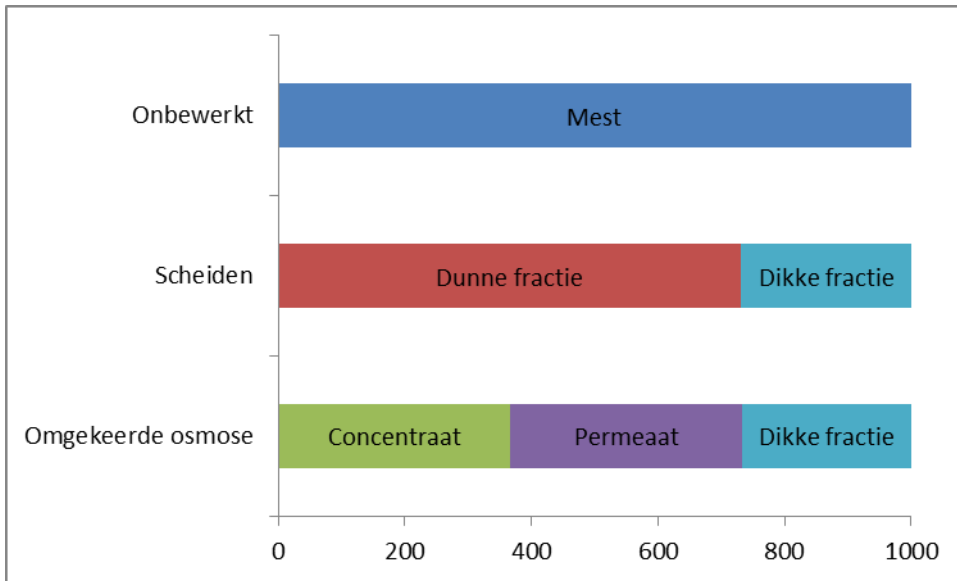
Figuur 5.1 Massabalans (kg) voor covergisting van dunne varkensmest met mais.

Bij mestscheiding in een dunne en een dikke fractie is toewijzing van emissies berekend aan de hand van de fosfaatgehalten van de ruwe mest, dikke fractie en dunne fractie. Indien geen verliezen aan fosfaat optreden is de som van de hoeveelheid fosfaat voor en na scheiding gelijk:

$$(1000 * P\text{-ruw}) = R * P\text{-dik} + (1000-R)*P\text{-dun}$$

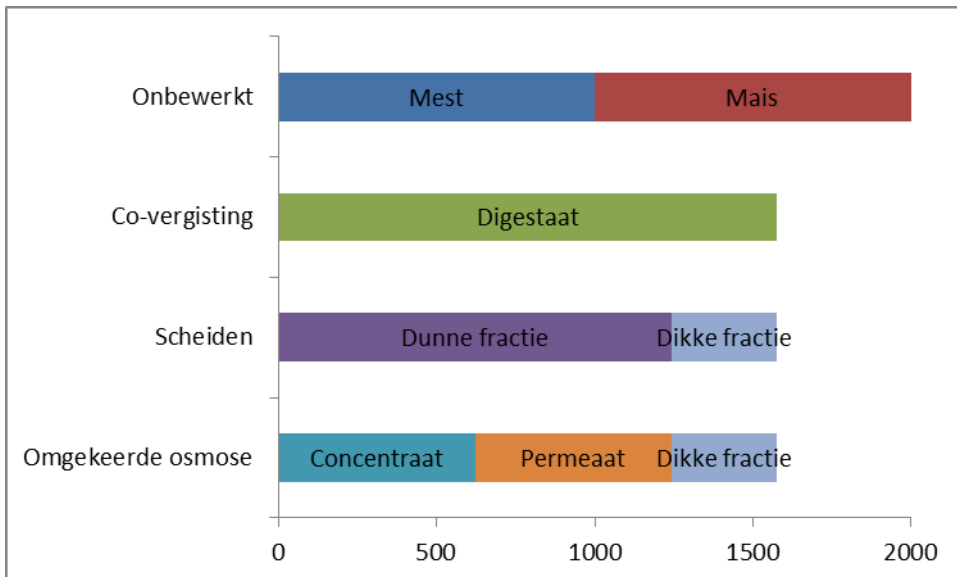
Waarin R, uitgedrukt in kg, de hoeveelheid dikke fractie is die ontstaat na scheiding van 1000 kg ruwe mest. De fosfaatgehalten (P-ruw, P-dik en P-dun) zijn bekend. Daarom is R als volgt te berekenen:

$$R = ((1000 * P\text{-ruw}) - (1000 * P\text{-dun})) / (P\text{-dik} - P\text{-dun})$$



Figuur 5.2 Massabalans (kg) voor mestscheiding en omgekeerde osmose van dunne varkensmest.

Bij omgekeerde osmose ontstaat een mineralenconcentraat en een restant permeaat dat naar de afvalzuivering gaat. Alle emissies tot en met de omgekeerde osmose worden toegekend aan het mineralenconcentraat. Eventuele emissies bij de verwerking van het permeaat zijn niet in beschouwing genomen. De samenstelling van het permeaat is niet bekend. Daarom gaan we ervan uit dat de dunne fractie evenredig (50:50) wordt verdeeld over concentraat en permeaat (De Vries, 2011).

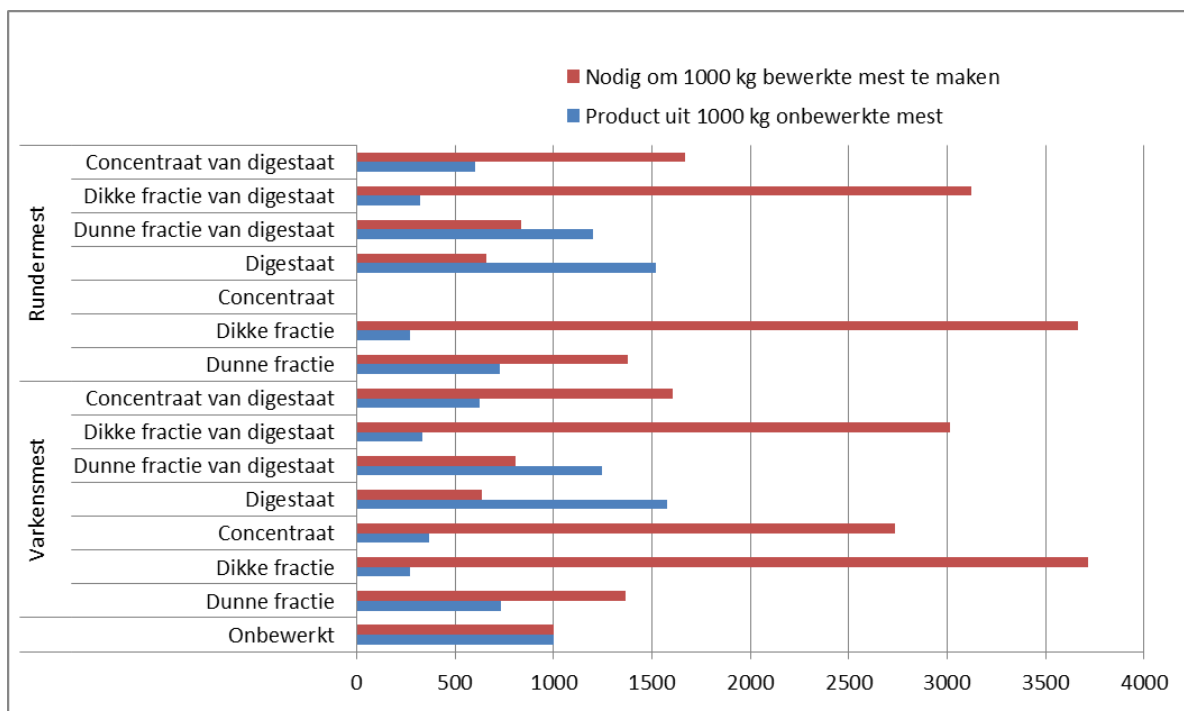


Figuur 5.3 Massabalans (kg) voor co-vergisting, mestscheiding en omgekeerde osmose van dunne varkensmest.

Tabel 5.2 Massabalans van mestbewerkingsproducten (kg).

		Uitgangs- product	Mais	Dikke fractie	Dunne fractie	Digestaat	Concentraat
<i>Ruwe mest</i>							
Co-vergisting	Rund	1000	1000			1521	
	Varken	1000	1000			1576	
Mestscheiding	Rund	1000		273	727		
	Varken	1000		269	731		
Omgekeerde osmose	Rund	727					364
	Varken	731					366
<i>Co-digestaat</i>							
Mestscheiding	Rund	1521		320	1201		
	Varken	1576		332	1244		
Omgekeerde osmose	Rund	1201					600
	Varken	1244					622

In deze studie is het uitgangspunt dat mest of bewerkte mestproducten worden ingezet door een akkerbouwer. Daarom worden de emissies in eerste instantie berekend per 1000 kg bewerkt product. Afhankelijk van het product is voor de productie van 1000 kg bewerkt product een verschillende hoeveelheid onbewerkte mest (Figuur 5.4). In de daarop volgende stap worden de emissies per kg nutriënt in het bewerkt product berekend.



Figuur 5.4 Benodigde hoeveelheid onbewerkte mest (kg) nodig voor de productie van 1000 kg bewerkt mestproduct.

5.1.2 Kunstmest

Voor kunstmest zijn het productieproces en het transport de belangrijkste factoren in de milieukundige analyse. Het energieverbruik en de emissie van lachgas bij de productie van kunstmest is ontleend aan een recente studie van De Haas en Van Dijk (2010). Zij vergeleken onder andere de Best Beschikbare Techniek (BBT) en het EU-gemiddelde bij de productie van kalkammonsalpeter (KAS) en Tripelsuperfosfaat (TSP) (Tabel 5.3). Gegevens over BBT waren niet altijd beschikbaar. Daarom gebruiken we hier telkens de EU-gemiddelden. De emissies zijn uitgedrukt per kg stikstof of kg P₂O₅. De berekende emissies zijn inclusief transport. Het binnenlandse transport bestaat uit het vervoer van productielocatie naar groothandel per binnenvaartschip en het vervoer van groothandel naar eindafnemer per vrachtauto (150 km). Voor transport gebruikten De Haas en Van Dijk (2010) een totale emissie van 5 kg CO₂ per 1000 kg kunstmest.

Tabel 5.3 Broeikasgasemissies (CO₂-equivalenten) bij productie van granulaat kunstmest, voor gemiddelde productietechnieken in de Europese Unie (De Haas en Van Dijk, 2010).

Meststof	Per 1000 kg product			Per kg Nt	Per kg P ₂ O ₅
	CO ₂	N ₂ O	Totaal	Totaal	Totaal
Kalkammonsalpeter	660	970	1630	6.0	
Tripelsuperfosfaat	340	0	340		0.76

5.1.3 Dierlijke mest

5.1.3.1 Emissies tijdens opslag en bewerking

Tijdens de opslag van mest treden emissies op van ammoniak, methaan en lachgas. Belangrijke factoren die de emissie bepalen zijn de opslagduur, de opslagmethode en het type mest.

Dierlijke mest wordt het hele jaar rond uitgescheiden. De toediening op bouwland vindt vooral in het voorjaar plaats, vanaf februari tot en met september, met een duidelijke piek in april en mei. De opslagduur kan theoretisch uiteenlopen van 0 tot 12 maanden.

In deze studie onderscheiden we de volgende typen opgeslagen producten:

- onbewerkte mest,
- dikke fractie,
- dunne fractie,
- digestaat van covergisting,
- mineralenconcentraat

De keten bij mestbewerking bevat verschillende combinaties van opslag van een onbewerkt product en opslag van een of meerdere bewerkte producten. Het aantal mogelijke configuraties is groot. In principe kan de opslagduur van het onbewerkte product 'nul' zijn als de uitgescheiden mest direct gescheiden wordt of de vergister in gaat. Anderzijds kan de opslagduur van bewerkte producten ook 'nul' zijn als het product na bewerking direct wordt toegediend. Voor de eenvoud kiezen we in deze studie voor directe bewerking aansluitend op de uitscheiding. Dat betekent dat bij mestbewerking de producten uitsluitend in bewerkte vorm zijn opgeslagen. We gebruiken hiervoor de emissiefactoren van De Vries et al. (2011), Groenestein et al. (2012), Mosquera et al (2010), Velthof et al. (2011) en IPCC.

Tabel 5.4 Emissiefactoren voor ammoniak, lachgas en methaan tijdens opslag en mestbewerking.

		NH ₃ -N*	NH ₃ -N**	N ₂ O-N	CH ₄
		(%TAN)	(%N)	(%TAN)	(kg/ton)
Onbewerkt	Dunne rundermest	10		0.13	1.80
	Dunne varkensmest	10		0.15	5.27
	Vaste rundermest	10		4.3	0.377
	Vaste kuikenmest	22		2.9	0.377
	Gescheiden Vaste fractie		4	2.0	0.053/0.126***
	Gescheiden Dunne fractie		4	0.1	1.452/0.433***
Digestaat	Rundermest		4	0.1	0.39
	Varkensmest		4	0.1	0.39
Concentraat	Rundermest		4	0.0	1.452
	Varkensmest		4	0.0	0.433

* Huisvesting en opslag in mestkelder, ** Verwerking (2%) en buitenopslag (2%), ***rund/varken

5.1.3.2 Energieverbruik tijdens bewerking

Het energieverbruik tijdens mestbewerking is afgeleid uit RWS RIZA rapport 2006.031 en ASG rapport 1390938000. Het energieverbruik (netto opbrengst) en de broeikasgasemissie bij vergisting is berekend met de BST-tool (Zwart et al., 2006). Bij vergisting is het energieverbruik negatief (=energie-opbrengst) door productie van elektriciteit en nuttig warmtegebruik (50%). Het energieverbruik is uitgedrukt per 1000 kg uitgangproduct. De uiteindelijke emissies worden echter uitgedrukt per 1000 kg bewerkt product of per kg nutriënt (totaal of werkzaam) in het bewerkte product. Voor de verschillende bewerkingen betekent dit:

- Scheiding van 1000 kg mest kost 14 MJ aan energie, waarvan grofweg een kwart aan de dikke fractie wordt toegewezen en drie kwart aan de dunne fractie. Echter omdat voor de productie van 1000 kg dikke fractie, ongeveer 4000 kg mest moet worden gescheiden, is het energieverbruik voor de productie van 1000 kg dikke fractie gelijk aan 14 MJ. Eenzelfde redenering gaat op voor de dunne fractie.
- Covergisting van mest en mais levert ongeveer 1300 MJ per 1000 kg substraat (500 kg mest + 500 kg mais). Voor de productie van 500 kg mais is 135 MJ aan energie nodig. De netto energielevering is dus 1165 MJ per 1000 kg substraat. Uit 1000 kg mest plus mais ontstaat ruim 750 kg digestaat. Voor de productie van 1000 kg digestaat is de energiewinst dus ongeveer 1550 MJ (=1000/750 * 1165).
- De productie van mineralenconcentraat kost gemiddeld 140 MJ per 1000 kg dunne fractie. Voor de productie van 1000 kg mineralenconcentraat is ongeveer 2000 kg dunne fractie nodig. Daaruit volgt dat de productie van 1000 kg mineralenconcentraat gemiddeld 280 MJ kost.
Bij de productie van mineralenconcentraat uit de dunne fractie van digestaat is de energiebalans positief vanwege de voorgaande vergistingsstap.

Tabel 5.5 Energieverbruik per 1000 kg uitgangproduct tijdens mestbewerking.

		Energieverbruik (MJ/ton)	Emissiefactor* (kg CO ₂ /MJ)	CO ₂ (kg/ton)
Mestscheiding		14	0.157	2.2
Monovergisting	Rundermest	-251	0.157	-39.4
	Varkensmest	-228	0.157	-35.8
Co-vergisting	Rundermest	-1300	0.157	-204.1
	Varkensmest	-1290	0.157	-202.5
	Maisteelt**	269	0.073	19.6
Omgekeerde osmose	Rundermest	108	0.157	17.0
	Varkensmest	169	0.157	26.5

*Elektriciteit: 0.566 kg CO₂/kWh = 0.157 kg CO₂/MJ, Diesel: 0.073 kg CO₂/MJ. **Naast energieverbruik, gaat maisteelt gepaard met een lachgasemissie van 0.17 kg N₂O-N per ton mais.

5.1.3.3 Toediening

Dierlijke mest wordt emissiearm toegediend. Voor dunne mest betekent dat bouwlandinjectie en voor vaste mest en de dikke fractie betekent dat oppervlakkige toediening met onderwerken in één werkgang. In deze studie gebruiken we grotendeels de emissiefactoren van De Vries (2011). Bij de toediening van mest is het energieverbruik 60 MJ per ton, ongeacht de meststof (www.vlaco.be).

Tabel 5.6 Emissiefactoren voor ammoniak en lachgas bij toediening.

		NH ₃ -N (%TAN)	N ₂ O-N (%N)	Energie (MJ/ton)	CO ₂ (kg/ton)
Kunstmest	KAS	2.5	1.0	60	4.4
Onbewerkt	Dunne mest	2	1.3	60	4.4
	Vaste mest	22	1.3	60	4.4
Gescheiden	Vaste fractie	22	1.3	60	4.4
	Dunne fractie	2	1.3	60	4.4
Digestaat		2	1.3	60	4.4
Concentraat		2	2.0	60	4.4

5.1.4 Transport

Het energieverbruik van transport van kunstmest is al inbegrepen bij de productie. Voor dierlijke mest gaan we uit van een transport afstand van 150 km met een CO₂-uitstoot van 155 g per ton per km.

5.1.5 Nitraatuitspoeling

We maken gebruik van de berekende gewogen uitspoelingsfractie van 17% van de stikstofaanvoer die de Vries et al. (2011) hebben berekend voor bouwland in Nederland.

5.1.6 Indirecte lachgasemissie

Emissies van ammoniak en nitraat leiden later in de tijd tot zogenaamde indirecte

lachgasemissies. Deze bedragen 1% van ammoniak-N en 0,75% van Nitraat-N (IPCC).

5.1.7 Bekalking

Bemesting leidt vooral bij gebruik van NH_4 -houdende meststoffen tot verzuring van de bodem. De toediening van kalkmeststoffen, om verzuring tegen te gaan, leidt tot emissie van CO_2 . Van kunstmeststoffen is de verzurende werking bekend, maar gegevens over de verzurende werking van mestbewerkingsproducten ontbreken. Deze emissie is daarom niet meegenomen.

5.2 Resultaten

In deze paragraaf worden de belangrijkste resultaten besproken. Gedetailleerde getallen zijn in Bijlage 3 gegeven.

5.2.1 Verwerkte mest en kunstmest

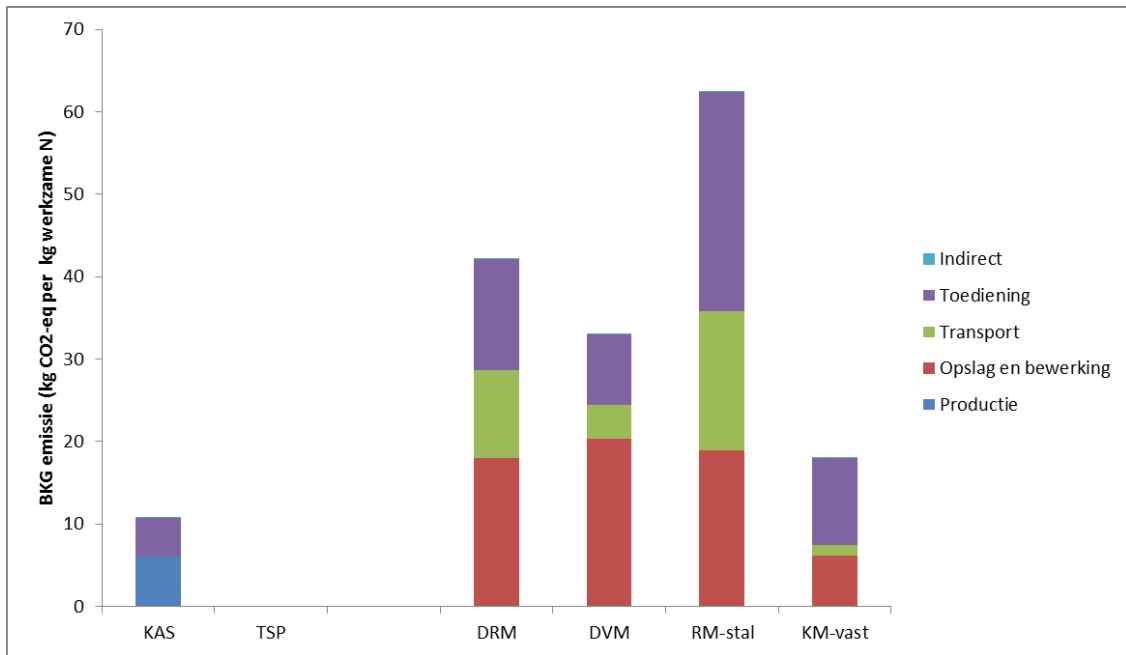
De broeikasgasemissies van 1000 kg meststof lopen uiteen van 92 tot 2900 kg CO_2 -equivalenten (Tabel 5.7). Kunstmest heeft echter veel hogere stikstof- of fosfaatgehalten waardoor de emissie per kg nutriënt juist hoger is bij dierlijke mest dan bij kunstmest. Het patroon per kg werkzame N komt sterk overeen met dat per kg N-totaal. Alleen presteert vaste rundveestalmest nu veel slechter door de lage NWC in het jaar van toediening. Daardoor presteren alle dierlijke mesten ook lager ten opzichte van kunstmest.

Voor onbewerkte mest variëren de emissies van broeikasgassen van 11 tot 62 kg CO_2 -equivalenten per kg werkzame stikstof. De emissies van dunne rundvee- en varkensmest zijn hoger dan die van vaste vleeskuikenmest, vooral door de hogere methaanemissies tijdens de opslag (5.7). De opslag emissie van varkensmest is hoger dan die van rundveemest door de langere opslagduur van varkensmest. Bij de dunne mesten bedragen de emissies tijdens de opslag 52% van de totale emissie. Bij de vaste mesten is de toediening relatief de grootste emissiebron.

Per kilogram fosfaat lopen de broeikasgasemissies uiteen van 20 tot 61 kg CO_2 -equivalenten, terwijl de emissie van TSP slechts 1 kg CO_2 -equivalent bedraagt.

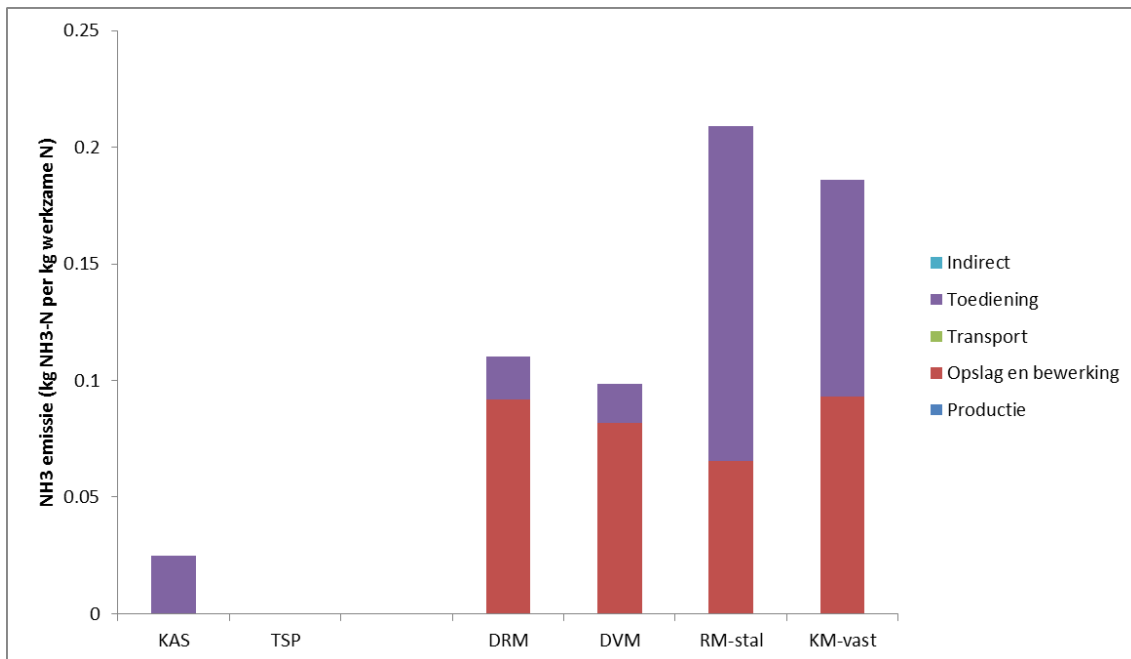
Tabel 5.7 Totale emissies van broeikasgassen (CO_2 -equivalenten) voor kunstmest en onbewerkte mest.

	Per 1000 kg mest	Per kg Nt	Per kg Nw	Per kg P_2O_5
KAS	2901	11	11	
TSP	344			1
DRM	92	22	42	61
DVM	185	26	33	40
RM-stal	86	16	62	31
KM-vast	340	11	18	20



Figuur 5.5 Broeikasgasemissie per bron voor kunstmest en onbewerkte mest, uitgedrukt per kg werkzame stikstof. (NB KAS productie en transport samen).

De ammoniakemissie van vaste mesten is hoger dan die van de dunne mesten, hetgeen door de relatief hoge toedieningsemisatie wordt veroorzaakt bij onderwerken ten opzichte van injectie.



Figuur 5.6 Ammoniakemissie per bron voor kunstmest en onbewerkte mest, uitgedrukt per kg werkzame stikstof.

5.2.2 Verwerkte mest

In Tabel 5.8 zijn de totale broeikasgasemissies weergegeven van onbewerkte en bewerkte mest. De emissies zijn zowel berekend per 1000 kg uitgangsmest als per 1000kg bewerkte mest. Bovendien zijn ze berekend per kg nutriënt in bewerkte mest. Het verschil tussen emissies per

1000 kg uitgangsmest of bewerkte mest komt door de verschillende hoeveelheden die nodig zijn om vanuit uitgangsmest een bepaald mestproduct te maken (Figuur 5.4). Bijvoorbeeld bij de scheiding van dunne rundermest is de emissie per 1000 kg bewerkte mest voor de dikke en dunne fractie respectievelijk 73 en 77 kg CO₂-equivalenten. Omdat bij mestscheiding grofweg 25% naar dikke fractie gaat en 75% naar de dunne fractie, is de emissie per 1000 kg uitgangsmest voor de dikke en dunne fractie respectievelijk 20 en 56 kg CO₂-equivalenten. Bij co-vergisting is er sprake van een negatieve emissie van ongeveer 250 kg CO₂-equivalenten per 1000 kg uitgangsmest. Bij scheiding van het digestaat komt een klein deel van de emissie op rekening van de dikke fractie (-40 en -29) en een groot deel op rekening van de dunne fractie (-179 en -226). De productie van mineralenconcentraat uit de dunne fractie kost energie waardoor het mineralenconcentraat een iets hogere emissie heeft (-162 en -206). Dit alles is uitgedrukt per 1000 kg uitgangsmest. Per 1000 kg bewerkte mest zijn de onderlinge verschillen groter vanwege de verschillende hoeveelheden benodigde uitgangsmest.

De broeikasgasemissies van onbewerkte rundermest en varkensmest zijn respectievelijk 92 en 185 kg CO₂-equivalenten per 1000 kg mest (Tabel 5.8). Mestscheiding verlaagt de emissies van zowel de dunne als de dikke fractie vanwege lagere methaanemissies uit de opslag (Figuur 5.7). Bij de opslag van de dikke fractie is de methaanemissie lager dan bij de onbewerkte mest. Dit is bij varkensmest in sterkere mate het geval dan bij rundermest. Bij de dunne fractie is de methaanemissie eveneens lager, maar in iets mindere mate dan bij de dikke fractie. Bij de opslag van de dikke fractie nemen de lachgasemissies licht toe.

Co-vergisting van mest zorgt voor een negatieve emissie als gevolg van de vermeden emissie van methaan uit de opslag en vermeden emissie van koolstofdioxide door energielevering. Weliswaar is de lachgasemissie relatief hoog door de teelt van mais, maar dat wordt ruimschoots gecompenseerd door de lagere methaan- en koolstofdioxide-emissie. Het positieve effect van vergisting werkt bij verdere bewerking van het digestaat door naar dikke fractie, dunne fractie of mineralenconcentraat.

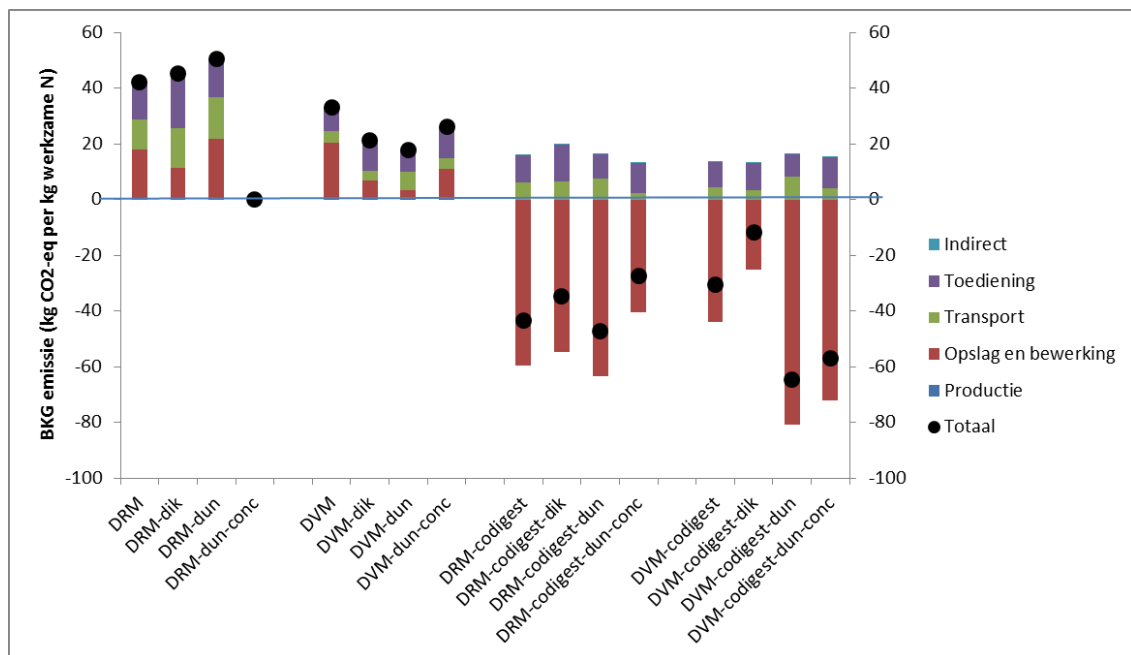
Door bewerking ontstaan mestproducten met afwijkende stikstof-en fosfaatgehalten. Bij concentratie van stikstof of fosfaat nemen de emissies per kg nutriënt af. Andersom, bij verdunning van stikstof of fosfaat, nemen de emissies per kg nutriënt toe. In geval van negatieve emissies is het echter net andersom; daarbij worden de emissies minder negatief bij indikking van nutriënten. Omdat mestbewerking vooral tot een andere verdeling van fosfaat leidt, zijn de verschillen in emissies per kg fosfaat het grootst.

De emissies per kg werkzame stikstof lopen uiteen van -65 tot 50 kg CO₂-equivalenten. Scheiding van dunne rundermest leidt tot fracties met een iets hogere emissie, terwijl scheiding van dunne varkensmest leidt tot fracties met een iets lagere emissie. Dit verschil komt vooral tot stand door het relatief gunstige effect van mestscheiding op de methaanemissies van varkensmest. Bij vergisting dalen de emissies voor rundermest en varkensmest tot respectievelijk -44 en -31 kg CO₂-equivalenten. Bij verdere bewerking van het digestaat blijven de emissies negatief.

De broeikasgasemissies per kilogram fosfaat lopen uiteen van -920 tot 392 kg CO₂-equivalenten. De dikke fractie van gescheiden mest heeft relatief lage emissies vanwege de hoge fosfaatgehalten. Na vergisting (=negatieve emissie) zijn het vooral de dunne fracties en de concentraten die een lage emissie hebben vanwege de lage fosfaatgehalten.

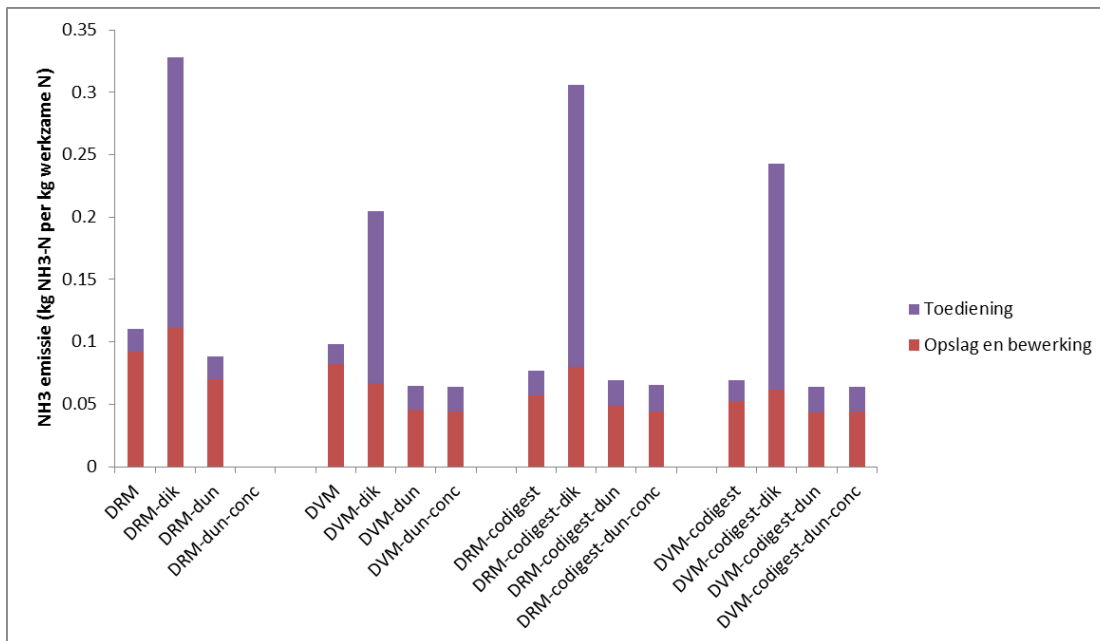
Tabel 5.8 Totale emissies van broeikasgassen (CO₂-equivalenten) voor bewerkte en onbewerkte mest.

	Per 1000 kg uitgangsmest	Per 1000 kg Bewerkte mest	Per kg Nt	Per kg Nw	Per kg P2O5
DRM	92	92	22	42	61
DVM	185	185	26	33	40
DRM-codigest	-250	-164	-30	-44	-87
DVM-codigest	-254	-161	-23	-31	-42
DRM-dik	20	73	16	45	32
DRM-dun	56	77	29	50	65
DRM-dun-conc					
DVM-dik	36	135	13	21	9
DVM-dun	48	66	16	18	95
DVM-dun-conc	57	157	23	26	392
DRM-codigest-dik	-40	-125	-17	-35	-20
DRM-codigest-dun	-179	-149	-38	-47	-213
DRM-codigest-dun-conc	-162	-270	-25	-27	-451
DVM-codigest-dik	-29	-86	-8	-12	-5
DVM-codigest-dun	-229	-184	-59	-65	-920
DVM-codigest-dun-conc	-206	-332	-52	-57	-665



Figuur 5.7 Broeikasgasemissie per bron voor bewerkte en onbewerkte mest, uitgedrukt per kg werkzame stikstof.

De ammoniakemissies van de verschillende soorten mest loopt uiteen van 0.1 tot 0.3 kg NH₃-N per kg N-totaal. Over het algemeen is de emissie van de dikke fractie hoger dan die van andere mestproducten, vanwege de hoge toedieningsemissie.



Figuur 5.8 Ammoniakemissie per bron voor bewerkte en onbewerkte mest, uitgedrukt per kg werkzame stikstof.

5.2.3 Transportafstand

Voor alle mest en mestbewerkingsproducten is een afstand van 150 km aangenomen. Voor sommige regio's en sommige producten zal de afstand kleiner zijn. Bij 150 km transportafstand zijn de broeikasgasemissies 23 kg CO₂-equivalenten per 1000 kg mest. Dat is bij dunne rundermest en dunne varkensmest respectievelijk 25% en 13% van de totale emissies. Indien de afstand slechts 75km bedraagt halveren de emissies tot 17 kg CO₂-equivalenten per 1000 kg mest. De relatieve bijdrage daalt dan bij dunne rundermest en dunne varkensmest tot respectievelijk 15% en 7% van de totale emissies.

5.3 Conclusies

Mestbewerking heeft uiteenlopende effecten op de uitstoot van broeikasgassen:

- Tijdens de opslag is de lachgasemissie van dikke fracties hoger dan die van onbewerkte mest en dunne fracties.
- De methaanemissie tijdens de opslag van dikke en dunne fracties is lager dan die van onbewerkte mest. Bij co-vergisting treedt nauwelijks methaanemissie op.
- Elke bewerkingsstap kost energie en gaat dus gepaard met uitstoot van koolstofdioxide. Echter bij co-vergisting wordt netto energie bespaard en daalt de emissie van koolstofdioxide.

Mestscheiding resulteert per saldo in lagere emissies van broeikasgassen, vooral vanwege lagere methaanemissies tijdens de opslag.

Co-vergisting resulteert per saldo in lagere emissies vanwege de vermeden methaanemissie uit

de opslag en de productie van energie.

De productie van mineralenconcentraat resulteert in hogere emissies van broeikasgassen. In de praktijk wordt de productie van mineralenconcentraat altijd vooraf gegaan door co-vergisting, waardoor voor de hele keten geldt dat de emissies van broeikasgassen dalen.

6. SYNTHESE

Op basis van de informatie uit de voorgaande hoofdstukken dient een eindoordeel te worden gegeven over de inzetbaarheid van producten van mestverwerking op basis van landbouwkundige, wettelijke, economische, logistieke en andere praktische aspecten (hoofdstuk 4) en milieukundige aspecten (Hoofdstuk 5) op praktijkbedrijven in de akkerbouw in verschillende regio's, met verschillende gewassen in het bouwplan, grondsoorten en bodemvruchtbaarheid.

De inzetbaarheid van de producten op basis van landbouwkundige aspecten is in Hoofdstuk 4 uitgewerkt en is voor een belangrijk deel bepaald door de gehanteerde uitgangspunten, die als volgt waren:

- De bemestingsadviezen voor de gewassen in het bouwplan vormen samen met de gebruiksnormen de basis voor de behoefte aan nutriënten. Voor N, P en K wordt de hoogte van de adviezen afgeleid van de gewasspecifieke behoeften en de hoeveelheid nutriënten die beschikbaar zijn in de bodem; daarbij wordt voor P en K onderscheid gemaakt naar gewasgerichte en bodemgerichte adviezen, waarbij de bodemgerichte adviezen leidend zijn voor de uiteindelijke P- en K-behoefte op bouwplanniveau.
- Op alle modelbedrijven wordt een basisbemesting met dunne varkensmest uitgevoerd.
- Voor de bedrijven op kleigrond wordt hierbij uitgegaan van een gift waarmee 75% van de P-behoefte op bedrijfsniveau wordt ingevuld. Voor de bedrijven op zandgrond wordt er van uitgegaan dat 90% van de P-behoefte op bedrijfsniveau wordt ingevuld met dunne varkensmest.
- Er wordt op bedrijfsniveau niet meer N (totaal en werkzaam), P én K aangevoerd dan de behoefte.
- Op gewasniveau wordt via onbewerkte dierlijke mest niet meer werkzame N aangevoerd dan 60% van de N-behoefte van het gewas, om een te hoge, ongewenste N-beschikbaarheid door mineralisatie te voorkomen.

De N-, P- en K-behoefte in aanvulling op de voorziening met dierlijke mest wordt bij voorkeur ingevuld door het kiezen van de meststoffen met de N/P- en N/K-ratio die in aanvulling op de basisgift met dierlijke mest nodig is om te voorzien in de gewenste N-, P- en K-behoefte van de gewassen in het bouwplan. Voor de modelbedrijven op de kleigronden (NZK, ZWK en CZK) kan dit het best worden ingevuld met een dunne fractie (van DVM +/- Dig, DRM +/- Dig of Betafert), mineralenconcentraat of spuiwater of kunstmest (bijvoorbeeld kalkammonsalpeter, NP en/of TSP). Voor de modelbedrijven op de zandgronden kan in aanvulling op de dierlijke mest het best een mineralenconcentraat, eventueel aangevuld met N en K uit kunstmest worden ingezet.

Klimaat-effecten van de producten van mest worden bepaald door de emissie van broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O) tijdens de hele keten vanaf het moment tot uitscheiding door het dier tot het moment van gewasopname van de nutriënten uit de meststoffen. Hierbij werd het volgende gevonden:

- De emissies van broeikasgassen per kg werkzame stikstof nemen af in de volgorde onbewerkte mest, gescheiden mest, mineralenconcentraat, kunstmest en co-vergiste mest. De voordelen van mestvergisting gelden ook voor de producten die uit digestaat worden

gemaakt.

- Bovenstaande verschillen zijn bij varkensmest groter dan bij rundermest.
- Co-vergisting heeft de grootste invloed op de emissies van broeikasgassen. Er is sprake van een negatieve emissie als gevolg van de vermeden emissie van methaan uit de opslag en vermeden emissie van koolstofdioxide door energielevering.
- De emissies per kg werkzame stikstof worden bepaald door verschillen in daadwerkelijke emissies tussen onbewerkte mest en producten van mestverwerking. Zo worden de lagere emissies bij producten van mestscheiding veroorzaakt door de lagere emissies tijdens opslag. Daarnaast spelen ook verschillen in de benodigde hoeveelheid uitgangsmest voor de productie van 1000 kg mestproduct en veranderingen in stikstof- en fosfaatgehalten door mestbewerking een rol.

De beoordeling van de producten van mest en andere producten is samengevat in Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Samenvatting van de kwalitatieve beoordeling van producten van mest op basis van een aantal criteria. OS= organische stoflevering. Met ++, +, +/- en – zijn scores van zeer goed tot slecht weergegeven.

Mestsoort	Fractie	Nutriënte n- levering	OS	kosten	Wettelijk k	logistiek k	toediening ng	klimaat-effecte n
DVM	Onbewerkt	+	+/-	++	-	-	-	-
	Dikke	+/-					+/-	-
DVM	fractie		+	++	+	-		
	Dunne	++					-	-
DVM	fractie		-	++	-	-		
DVM	MC	+++	-	+	+	-	-	-
DVM dig.	Onbewerkt	+	-	++	-	-	-	++
	Dikke	+/-					+/-	+
DVM dig.	fractie		+	++	+	-		
	Dunne	++					-	++
DVM dig.	fractie		-	++	-	-		
DVM dig.	MC	+++	-	+	+	-	-	++
DRM	Onbewerkt	+	+	++	-	-	-	-
	Dikke	-					+/-	-
DRM	fractie		+	++	+	-		
	Dunne	++					-	-
DRM	fractie		-	++	-	-		
DRM	MC							
DRM dig.	Onbewerkt	+	+	++	-	-	-	++
	Dikke	-					+/-	++
DRM dig.	fractie		+	++	+	-		
	Dunne	++					-	++
DRM dig.	fractie		-	++	-	-		
DRM dig.	MC	+++	-	+	+	-	-	++
KAS		+++	-	-	+	++	+	+/-
TSP		+++	-	-	+	++	+	+/-
Urean		++	-	-	+	+	+	+/-
APP		+++	-	-	+	+	+	+/-
Spuiwater		+++					+/-	n.b. ¹⁾
r			-	+	+	+/-		
Vaste		+/-					+/-	+/-
RM	onbewerkt		+	+	+	+/-		
Vaste		+/-					+/-	+/-
VKM	onbewerkt		+	+	+	+/-		
Betafert	onbewerkt	+		+	+	-	-	n.b.
	Dikke	+/-					-	n.b.
	fractie		+	+	+	-		
	Dunne	++					-	n.b.
	fractie			+	+	-		

¹⁾ n.b. = niet bepaald.

Toelichting:

- Met nutriëntenlevering wordt bedoeld op de mate waarin de beschikbaarheid aan N, P en K in het product aansluit bij de gewasbehoefte. Dit kan worden gekarakteriseerd door de N/P- en N/K-ratio. Dit geldt vooral voor de producten naast de onbewerkte mesten (vooral DVM), aangezien er in deze studie vanuit is gegaan dat DVM in alle modelbouwplannen als basisbemesting wordt uitgevoerd. Deze wordt relatief hoog gewaardeerd voor dunne fracties, mineralenconcentraten, spuiwater en kunstmest en relatief laag voor de vaste mesten en dikke fracties, vanwege de ongunstige N/P-verhouding.
- Met organische stoflevering wordt bedoeld op de bijdrage die een product aan de organische stofvoorziening kan geven. Daarbij gaat het om het gehalte aan organische stof en de stabiliteit ervan. De OS-levering is relatief hoog voor de vaste mesten en dikke fracties en is voor rundveemest hoger dan voor varkensmest,
- De kosten zijn opgebouwd uit de kosten voor de aanschaf, opslag en toediening. Die zijn hoog voor de kunstmesten (vooral bepaald door de aanschafkosten; krijgen een “-“) en laag voor de meeste andere producten (krijgen een “+”).
- De wettelijke aspecten betreffen de eventuele beperkingen die er zijn ten aanzien van de hoogte van de gift (voor dierlijke mesten meer beperkt dan voor andere producten) en het tijdstip van de gift (dikke fracties en vaste mesten en kunstmest mogen na 1 september worden toegediend, andere producten niet). Daarom is er binnen het wettelijk kader meer ruimte voor de kunstmesten, mineralenconcentraten, overige organische en/of anorganische meststoffen (Betafert en spuiwater) en de vaste mesten dan voor onbewerkte dunne mesten en de dunne fracties.
- Logistiek: de volumineuze producten van mest vragen in logistiek opzicht de meeste organisatie (krijgen een “-“, terwijl dat voor de kunstmesten het best geregeld is (krijgen een “+”). Spuiwater en de vaste, stapelbare mesten zitten hier tussen in (krijgen een “+/-”).
- Toediening: voor de volumineuze producten van mest geldt ook dat er eerder problemen op kunnen treden bij de toediening, aangezien de benodigde zware machines de bodemstructuur vooral op kleigrond negatief kunnen beïnvloeden. Dit geldt in mindere mate voor de dikke fracties en vaste mesten. De kunstmesten zijn het gemakkelijkst toe te dienen.
- Klimaat: Zoals in Hoofdstuk 5 is beschreven scoren vooral de co-vergiste mesten goed bij het beperken van de broeikasgas-emissies. Kunstmest scoort wat minder goed en dat geldt in sterkere mate voor de overige producten van mest.

Naast de aspecten die in Tabel 6.1 worden genoemd, is de betrouwbaarheid van de samenstelling van het product van groot belang. Bij producten van mest komt het nogal eens voor dat de exacte samenstelling van het betreffende product pas bekend is als de mest al op het land ligt. Dat is ongewenst, aangezien de variaties in de samenstelling aanzienlijk kunnen zijn. Als garanties over de samenstelling van de geleverde producten van mest zouden kunnen worden gegeven, zou dat een grote meerwaarde hebben ten opzichte van de huidige situatie.

Een eenduidig eindoordeel over de producten is moeilijk te geven, omdat dit afhangt van de eisen die er aan worden gesteld. Het gebruiksdoel, lokale omstandigheden, de persoonlijke voorkeur van de akkerbouwer en/of aanvullende eisen zijn daarbij van belang en zullen

bepalend zijn voor de uiteindelijke meststofkeuze. Zo zal een akkerbouwer op kleigrond met een slechte draagkracht die een hoge en betrouwbare levering van nutriënten en gemak van werken belangrijk vindt wellicht tot een andere keuze komen dan een akkerbouwer op zandgrond die de aanschafkosten van meststoffen de hoogste prioriteit geeft. Afnemers die hun duurzaamheidsbeleid doorvertalen naar hun leveranciers in de akkerbouw en op alle plaatsen in de keten de CO₂-voetafdruk zoveel mogelijk willen beperken, zullen het gebruik van producten van (co-)vergisting op het akkerbouwbedrijf positief beoordelen. We concluderen dat alle producten van mest inzetbaar zijn in de akkerbouw, maar dat die inzetbaarheid sterk wordt bepaald door de lokale omstandigheden, de voorkeur van de akkerbouwer, de andere meststoffen in het meststoffenplan en/of aanvullende wensen of eisen van afnemers van akkerbouwproducten.

De inzetbaarheid van producten van mest in de akkerbouw zou worden vergroot als:

- Er garanties gegeven zouden kunnen worden over de samenstelling;
- De gehalten aan beschikbare nutriënten verhoogd zouden kunnen worden, zodat de bezwaren ten aanzien van de benodigde logistiek (transport en opslag) en bij de toediening deels zouden worden weggenomen;
- Voor mineralenconcentraten geldt dat de inzetbaarheid in de akkerbouw wordt vergroot als het P-gehalte in het product tot (bijna) 0 wordt teruggebracht, aangezien het product dan beter inzetbaar is naast onbewerkte dierlijke mest.

7. LITERATUUR

De Haas MJG & Van Dijk TA (2010). Inventarisatie klimaatvriendelijke kunstmest. Wageningen, NMI: 77.

Dekker PHM (2008) Digestaat waardevolle meststof; onderzoek stikstofwerking. Biogas magazine ..., 5-6.

Dekker PHM & Slabbekoorn JJ (2004) Alternatieven voor ontijdige toediening van dierlijke mest in de akkerbouw, proefjaar 2002-2003. Rapport 510170, PPO, Lelystad, 69 pp.

Dekker PHM, Van den Berg W & Slabbekoorn JJ (2004) Alternatieven voor ontijdige toediening van dierlijke mest in de akkerbouw, proefjaar 2003-2004. Rapport 510170, PPO, Lelystad, 58 pp.

Dekker PHM, Van den Berg W & Slabbekoorn JJ (2005) Alternatieven voor ontijdige toediening van dierlijke mest in de akkerbouw, proefjaar 2004-2005. Rapport 510170, PPO, Lelystad, 72 pp.

Dekker PHM, Paauw JGM & Van den Berg W (2007) Biogas Flevoland. Verslag van het veldonderzoek in 2006 naar de landbouwkundige waarde van covergiste mest. Verslag nr. 3251046400, PPO, Lelystad, 73 pp.

Dekker PHM, Paauw JGM & Van den Berg W (2008) Biogas Flevoland. Verslag van het veldonderzoek in 2007 naar de landbouwkundige waarde van covergiste mest. Verslag nr. 3251046400, PPO, Lelystad, 97 pp.

De Vries, JW, Hoeksma P, et al. (2011) LevensCyclusAnalyse (LCA) pilot mineralenconcentraten = Life Cycle Assessment (LCA) mineral concentrates pilot. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research.

De Hoop JG, Daatselaar CHG, et al. (2011) Mineralenconcentraten uit mest : economische analyse en gebruikerservaringen uit de pilots mestverwerking in 2009 en 2010. Den Haag, LEI Wageningen UR.

Groenendijk P, Renaud L, Schoumans O, Luesink H, De Koeijer T en Kruseman G (2012) MAMBO- en STONE-resultaten van rekenvarianten, Evaluatie Mestwetgeving 2012: deelrapport Ex-ante milieu. Alterra, Wageningen.

Hoeksma P, De Buissonjé FE, et al. (2011) Mineralenconcentraten uit dierlijke mest : monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research.

Melse RW, De Buissonjé FE, Verdoes N & Willers HC (2004) Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest. ASG-Rapport 1390938000, Lelystad, 48 pp.

Mosquera J, Schils R, et al. (2010) Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research.

Peeters SJW, Horstink MCJ, Schlatmann ATM & Van Korven T (2011) Achtergrondrapport integrale visie duurzame drijfmestverwaarding. Visie van LTO Nederland. EnergyMatters, Driebergen, 63 pp.

Schröder J, De Buissonjé F, Kasper G, Verdoes N, Verloop K (2009) Mestscheiding: relaties tussen techniek, kosten, milieu en landbouwkundige waarde, Rapport 287. Plant research international B.V. Wageningen.

Schröder, J. J., Uenk D, et al. (2011). Stikstofwerking van organische meststoffen op bouwland : resultaten van veldonderzoek in Wageningen in 2010/2011 : tussentijdse rapportage. Wageningen, Wageningen UR.

Schröder JJ, Van Middelkoop JC, Van Dijk W & Velthof GL (2008) Quick scan stikstofwerking van dierlijke mest; Actualisering van kennis en de mogelijke gevolgen van aangepaste forfaits. WOT-rapport 85, 55 pp.

Van der Burgt GJHM, Dekker PHM, Van Geel WCA, Bokhorst JG & Van den Berg W (2011) Duurzaamheid organische stof in mest. Analysemethoden om de stabiliteit van de organische stof van verschillende organische meststoffen inclusief digestaat te beoordelen. Eindrapportage 2010. Biokennis

Van Dijk W, Conijn JG, Huijsmans JFM, Van Middelkoop JC, & Zwart KB (2005a) Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt organische mest; Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatienr. 339, 50 pp.

Van Dijk W, Van Dam AM, Van Middelkoop JC, De Ruijter FJ & Zwart KB (2005b) Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt overige organische meststoffen; studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatienr. 343, 50 pp.

Van Dijk, W., W. van Geel, et al. (2011). Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen : verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten.

Van Dijk, W., W. van Geel (2012; eds.) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO, Lelystad, 102 pp + bijlagen.

Van Geel W & Oele C (2005) Mest- en mineralenkennis voor de praktijk; stikstofwerking van organische mestsoorten en composten. Infoblad 15 in de serie Plataardig Programma's DWK 398-I, II en III.

Van Geel, W., van den Berg W, et al. (2011a). : Samenvatting van de resultaten uit de veldproeven en bepaling van de stikstofwerking. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Van Geel W, Van den Berg W, Van Dijk W & Wustman R (2011b) Aanvullend onderzoek mineralenconcentraten 2009-2010 op bouwland en grasland; Samenvatting van de resultaten uit de veldproeven en bepaling van de stikstofwerking. PPO-rapport nrs. 3250179200 en 3250179300.

Van Geel, W. and W. van Dijk (2010). Kunstmestvervangers onderzocht: stikstofwerking mineralenconcentraat en dikke fractie op bouwland. Lelystad, Wageningen UR.

Van Geel, W. and W. van Dijk (2011). Informatieblad mest : van bedreiging naar kans : stikstofwerking mineralenconcentraat en dikke fractie op bouwland. Wageningen [etc.], Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Velthof, G. (2011). Kunstmestvervangers onderzocht : tussentijds rapport van het onderzoek in het kader van de pilot mineralenconcentraten. Wageningen, Wageningen UR.

Velthof, G. and E. Hummelink (2010). Kunstmestvervangers onderzocht: ammoniak- en lachgasemissies. Wageningen, Alterra.

Velthof, G. L. (2011). Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra Wageningen UR.

Verloop, J. and H. van den Akker (2011). Mineralenconcentraat op het melkveebedrijf en het akkerbouwbedrijf : knelpunten en mogelijkheden verkend op bedrijfsniveau, 2009 en 2010. Wageningen, Plant Research International.

Verloop, K. and R. Geerts (2011). : Stikstofwerking in grasland bij aanwending apart en gemengd met drijfmest op, resultaten 2010. Wageningen, Plant Research International, Wageningen UR.

Verloop, K. and B. Meerkerk (2010). Kunstmestvervangers onderzocht: eerste ervaringen met mineralenconcentraat op 'Koeien & Kansen-bedrijven' zijn gunstig. Wageningen, Plant Research International (PRI).

Verloop, K. and H. van den Akker (2010). Kunstmestvervangers onderzocht: eerste ervaringen met mineralenconcentraat op 'Telen met Toekomst-bedrijf'; 'Van den Berg zijn gunstig. Wageningen [etc.], Plant Research International (PRI) [etc.].

Verloop, K., H. van den Akker, et al. (2010). Mineralenconcentraten op het melkveebedrijf en het akkerbouwbedrijf: praktijkdemo pilot mineralenconcentraten. Wageningen, Plant Research International, Wageningen UR.

Zwart, K., D. Oudendag, et al. (2006). Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest. Wageningen, Alterra.

Zwart, K. B. and P. J. Kuikman (2011). Co-digestion of animal manure and maize : is it sustainable? : an update. Wageningen, Alterra.

BIJLAGE 1. BEPALING VAN DE NUTRIËNTENBEHOEFTE VOLGENS BEMESTINGSADVIES; ACHTERGROND

De landbouwkundige behoefte aan N, P en K kan per gewas in beeld worden gebracht door rekenregels die beschikbaar zijn via de Adviesbasis bemesting voor akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen (Van Dijk & Van Geel, 2012).

- Voor stikstof (N) zijn de adviezen afhankelijk van het gewas en meestal eveneens van de Nmin-voorraad in de bodem in het voorjaar. De bemonsteringsdiepte voor het bepalen van de Nmin-voorraad hangt af van het gewas en de grondsoort en die bedraagt 0-30, 0-60 of 0-100 cm. Verder worden soms correcties toegepast voor het gebruikte ras, het opbrengstniveau en de verwachte N-mineralisatie (o.a. op basis van voorvrucht, groenbemesters, etc.). Daarnaast is bij sommige gewassen, zoals consumptieaardappelen, zetmeelaardappelen, granen, uien en prei, een deling van de N-gift in een basisgift en een of meerdere bijmestgiften gebruikelijk. De benodigde N-giften zijn hierna per gewas bepaald, en daarbij hebben we ons gericht op de gewenste basisgiften. Voor de gemiddelde Nmin-voorraad zijn we steeds uitgegaan van de volgende waarden
 - 0-30 cm: 20 kg Nmin/ha
 - 0-60 cm: 30 kg Nmin/ha
 - 0-100 cm: 40 kg Nmin/ha.
- Voor fosfaat (P) wordt onderscheid gemaakt naar een bodemgericht en een gewasgericht advies, die vaak verschillend zijn. Er moet aan beide adviezen worden voldaan. De gewasgerichte adviezen zijn afhankelijk van de P-behoefte van het gewas (daartoe zijn gewassen ingedeeld in een aantal gewasgroepen, die verschillen in P-behoefte) en de P-toestand van de bodem. Bij het bodemgerichte advies wordt een bepaalde fosfaattoestand (uitgedrukt als P_w-getal) van de bodem nagestreefd. Voor het handhaven van de streeftoestand moet gemiddeld over het bouwplan de afvoer en een onvermijdbaar verlies worden toegediend via meststoffen. De P-afvoer per gewas kan worden vastgesteld op basis van de opbrengst en het P-gehalte in het gewas (zie o.a. Van Dijk & Van Geel, 2012 voor benodigde gegevens). Dit komt globaal overeen met een hoeveelheid tussen 50 en 70 kg P₂O₅ per ha. In bouwplannen met weinig P-behoefte gewassen is het bodemgerichte advies hoger dan het gewasgerichte.
- Voor kali (K) wordt eveneens onderscheid gemaakt naar een bodemgericht en een gewasgericht advies. Het gewasgerichte advies is afhankelijk van de K-behoefte van het gewas (ook hiertoe wordt gewerkt met gewasgroepen, waarvan de K-behoefte verschilt) en de K-toestand van de bodem. In het bodemgerichte advies dient een streefwaarde te worden gehandhaafd, waartoe op bouwplanniveau de onttrekking van ca. 150 kg K₂O per ha en een onvermijdbaar verlies van 0-50 kg K₂O per ha (resp. voor klei en zand) gecompenseerd dient te worden via de bemesting. De K-afvoer per gewas kan worden vastgesteld op basis van de opbrengst en het K-gehalte in het gewas (zie o.a. Van Dijk & Van Geel, 2012 voor benodigde gegevens). In het algemeen is het bodemgerichte advies hoger dan het gewasgerichte.

Aangezien de gewasgerichte P- en K-adviezen afhangen van de P- en K-toestand van de bodem zijn gemiddelde bodemvruchtbaarheidscijfers per LEI-gebied van BLGG AgroXpertus gebruikt (Tabel 1).

Tabel 1. Gemiddelde bodemvruchtbaarheid van bouwland per modelbedrijf (BLGG AgroXpertus, 2009).

Modelbedrijf	Grondsoort	pH-KCl	Org. stof	lutum	Pw	K-getal
NZK	Klei	7,2	2,7	17	40	20
CZK	Klei	7,4	3,4	17,3	34	22
ZWK	Klei	7,3	3,0	19,7	41	23
NON	Zand/dalgrond	5,0	5,7	n.d.	56	15
ZON	zand	5,3	3,0	6,5	71	18

De N-, P- en K-behoefte is per modelbedrijf, per gewas, op basis van de gemiddelde bodemvruchtbaarheid van de betreffende grondsoort in de betreffende regio berekend op basis van het bemestingsadvies. Voor P en K is daarbij gewerkt met de gewasgerichte adviezen (Tabel 2).

Tabel 2. N-, P- en K-behoefte en de benodigde N/P₂O₅-ratio en N/K₂O-ratio per gewas volgens de adviesbasis bemesting voor de 5 modelbedrijven. Voor P en K gaat het om de gewasgerichte adviezen.

Model- bedrijf	Gewas	Adviesbasis bemesting, behoefte in kg/ha en als ratio				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N/P ₂ O ₅	N/K ₂ O
NZK	Suikerbiet	150	40	60	3,9	2,5
	Wintertarwe	230 (100+90+40)	0	0		
	Wintergerst	140 (80+60)	0	0		
	Koolzaad	175	0	0		
CZK	Pootaardappel	120	105	80	1,2	1,5
	Suikerbiet	150	60	50	2,4	3,0
	Wintertarwe	230 (100+90+40)	0	0		
ZWK	Consumptieaar d.	250 (175+75)	85	180	2,0	1,0
	Suikerbiet	150	40	50	3,9	3,0
	Wintertarwe	230 (100+90+40)	0	0		
	Zomertarwe	130 (80+50)	0	0		
	Graszaad	160	0	0		
	Zaaiui	175 (35+70+70)	85	180	2,0	1,0
NON	Zetmeelaardap pel	240 (175+65)	35	100	5,3	1,8
	Suikerbiet	150	0	150		1,0
	Zomergerst	80	0	80		1,0
ZON	Consumptieaar d.	265 (175+90)	0	120		1,5
	Suikerbiet	150	0	120		1,2
	Snijmaïs	185	15	60	12,3	3,1
	Waspeen	110	0	120		0,9
	Prei (verhuur)	310 (100 + 2*105)	0	120		
	Erwt+stamslab oon	160 (30+130)	0	120 (60+60)		0,5-

Opvallende zaken:

- De gewasgerichte P- en K-adviezen zijn bij veel gewassen vrij laag door een combinatie van een (vrij) lage gewasbehoefte en vrij hoge bodemvruchtbaarheid. De gewenste giften op bouwplanniveau zullen in veel gevallen worden bepaald door de bodemgerichte P- en K-adviezen.
- Bij het N-advies van een aantal gewassen wordt onderscheid gemaakt naar basis- en bijbemesting
- De verschillen in grondsoort en bodemvruchtbaarheid tussen regio's zorgen er voor dat de adviezen voor een bepaald gewas tussen regio's kunnen verschillen.

Per modelbedrijf is eveneens de plaatsingsruimte (toegestane aanvoer aan werkzame N, P en dierlijke mest) berekend op basis van de gebruiksnormen (Tabel 3).

Tabel 3. Toegestane aanvoer aan Nt (N-totaal), Nwz (N-werkzaam) en fosfaat (P_2O_5) en de benodigde N/ P_2O_5 -ratio per gewas (in kg per ha) en op het bedrijf (=plaatsingsruimte; in kg per bedrijf) volgens de gebruiksnormen voor de 5 modelbedrijven.

Model- bedrijf	Gewas	areaal,ha	gebruiksnorm, in kg per ha				gebruiksnorm, in kg per bedrijf		
			Nt via				Nt	Nwz	P_2O_5
			DM	Nwz	P_2O_5	Nwz/ P_2O_5			
NZK	Sb	14	170	150	65	2,31	2380	2100	910
	Wt	63	170	245	65	3,77	10710	15435	4095
	Wg	14	170	140	65	2,15	2380	1960	910
	Kz	9	170	205	65	3,15	1530	1845	585
	Totaal	100					17000	21340	6500
CZK	Pa	33,3	170	120	85	1,41	5667	4000	2833
	Sb	16,7	170	150	85	1,76	2833	2500	1417
	Wt	16,7	170	245	85	2,88	2833	4083	1417
	Tulp	16,7	170	200	85	2,35	2833	3333	1417
	Lelie	16,7	170	155	85	1,82	2833	2583	1417
	Totaal	100,0					17000	16500	8500
ZWK	Ca	25	170	250	65	3,85	4250	6250	1625
	Sb	14	170	150	65	2,31	2380	2100	910
	Wt	35,5	170	245	65	3,77	6035	8698	2308
	Zt	12,5	170	140	65	2,15	2125	1750	813
	Gz	4	170	245	65	3,77	680	980	260
	Zu	9	170	140	65	2,15	1530	1260	585
	Totaal	100,0					17000	21038	6500
NON	Za	50	170	240	55	4,36	8500	12000	2750
	Sb	17	170	145	55	2,64	2890	2465	935
	Zg	33	170	80	55	1,45	5610	2640	1815
	Totaal	100,0					17000	17105	5500
ZON	Ca	25	170	235	55	4,27	4250	5875	1375
	Sb	12,5	170	145	55	2,64	2125	1813	688
	Sn	25	170	140	55	2,55	4250	3500	1375
	Wp	12,5	170	110	55	2,00	2125	1375	688
	Prei	12,5	170	225	55	4,09	2125	2813	688
	e+ssb	12,5	170	140	110	1,27	2125	1750	1375
	Totaal	100,0					17000	17125	6188

Opvallende zaken:

- De N-behoefte volgens de gebruiksnormen voor werkzame N komt grotendeels overeen met het N-advies, alleen voor het modelbedrijf op de zuidoostelijke zandgronden liggen de gebruiksnormen duidelijk lager dan het advies.
- De P-behoefte volgens de gebruiksnormen is vaak hoger dan het gewasgerichte P-advies, maar ligt in dezelfde orde van grootte als het bodemgerichte P-advies.
- Verschillen in de gemiddelde P-toestand van de bodem in de regio's waar de modelbedrijven liggen, leiden tot verschillen in de P-gebruiksnorm.
- De plaatsingsruimte voor N en P per modelbedrijf is berekend uit het areaal en de gebruiksnorm voor N en P per gewas.

- De gewenste N/P-ratio is berekend op gewas- en bedrijfsniveau op basis van de totale N-behoefte (=gebruiksnorm voor werkzame N) van het gewas en de P-gebruiksnorm. Er is geen rekening gehouden met een eventuele opsplitsing tussen basis- en bijmestgiften.

BIJLAGE 2. VERGELIJKING VAN DE GEWASBEHOEFTE EN DE EIGENSCHAPPEN VAN PRODUCTEN VAN MEST

De vergelijking van de N/P_2O_5 - en N/K_2O -ratio van de gewasbehoefte (op basis van bemestingsadviezen en/of gebruiksnormen) en de Nwz/P_2O_5 - en N/K_2O -ratio van de mestverwerkingsproducten is weergegeven in Tabel 4 t/m 6. Daarbij is de N/P - of N/K -ratio van het mestproduct gedeeld door de N/P - of N/K -ratio van de gewasbehoefte, zodat een nieuwe ratio ontstaat. Als die berekende ratio kleiner is dan 1 heeft het gewas meer N nodig ten opzichte van P of K dan in het mestproduct aanwezig is. Als die berekende ratio groter is dan 1, dan heeft het gewas minder N nodig ten opzichte van P of K dan in het mestproduct aanwezig is.

Hieruit blijkt het volgende:

- Voor onbewerkte mesten en dikke fracties is de Nwz/P_2O_5 -ratio vaak lager dan de N/P_2O_5 -ratio van de gewasbehoefte. Dit betekent dat die producten meer P en/of minder werkzame N bevatten dan de gewasbehoefte. Als deze producten worden ingezet is een aanvullende N-gift nodig (zonder P of met weinig P);
- Voor dunne fracties en mineralenconcentraten is de Nwz/P_2O_5 -ratio vaak hoger dan de N/P_2O_5 -ratio van de gewasbehoefte. Dit betekent dat die producten meer werkzame N en/of minder P bevatten dan de gewasbehoefte;
- Door een combinatie van producten met een (te) lage en producten met een (te) hoge Nwz/P_2O_5 -ratio kan de gewenste N/P_2O_5 -ratio van de gewasbehoefte worden ingevuld. In veel gevallen kan dat dus met een combinatie van onbewerkte mest en/of een dikke fractie en een dunne fractie en/of mineralenconcentraat.
- De N/P_2O_5 -ratio van de gewasbehoefte volgens het gewasgerichte advies moet niet te absoluut worden gehanteerd, aangezien de P-behoefte is gebaseerd op de P-gebruiksnorm of het bodemgerichte P-advies, die op bouwplanniveau moeten kloppen. Bij een gewasrotatie van 4 jaar betekent dat dat ca $4 * 60$ (gewasonttrekking) = 240 kg P_2O_5 per ha toegediend moet worden, maar dat die niet gelijkmatig over die 4 gewassen verdeeld hoeft te worden. Het grootste deel van de P wordt bij voorkeur toegediend aan gewassen met een hoge P-behoefte, zoals aardappelen en snijmaïs, en bij voorkeur wordt relatief weinig P gegeven aan gewassen met een lage P-behoefte, zoals granen. In het eerste geval leidt dat tot een lagere N/P_2O_5 -ratio van de gewasbehoefte en in het tweede geval tot een hogere N/P_2O_5 -ratio van de gewasbehoefte.

Tabel 4. Vergelijking tussen de Nwz/P2O5-ratio van mestproducten en de N/P2O5-ratio van de gewasbehoefte op basis van gebruiksnormen voor N en P.

gewas	N/P2O5	dvm				dvm dig				drm				drm dig			
		onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc
		1	0,38	4,63	18,33	1,18	0,36	15,62	13,99	1,64	0,69	1,84	mc	1,65	0,39	4,54	17,79
ca	4,1	0,2	0,1	1,1	4,5	0,3	0,1	3,8	3,4	0,4	0,2	0,4		0,4	0,1	1,1	4,3
za	4,4	0,2	0,1	1,1	4,2	0,3	0,1	3,6	3,2	0,4	0,2	0,4		0,4	0,1	1,0	4,0
pa	1,4	0,7	0,3	3,3	13,1	0,8	0,3	11,2	10,0	1,2	0,5	1,3		1,2	0,3	3,2	12,7
sb	2,3	0,4	0,2	2,0	8,0	0,5	0,2	6,8	6,1	0,7	0,3	0,8		0,7	0,2	2,0	7,7
wt	3,5	0,3	0,1	1,3	5,2	0,3	0,1	4,5	4,0	0,5	0,2	0,5		0,5	0,1	1,3	5,1
zt	2,2	0,5	0,2	2,1	8,3	0,5	0,2	7,1	6,4	0,7	0,3	0,8		0,8	0,2	2,1	8,1
wg	2,2	0,5	0,2	2,1	8,3	0,5	0,2	7,1	6,4	0,7	0,3	0,8		0,8	0,2	2,1	8,1
zg	1,5	0,7	0,3	3,1	12,2	0,8	0,2	10,4	9,3	1,1	0,5	1,2		1,1	0,3	3,0	11,9
sm	2,5	0,4	0,2	1,9	7,3	0,5	0,1	6,2	5,6	0,7	0,3	0,7		0,7	0,2	1,8	7,1
gz	3,8	0,3	0,1	1,2	4,8	0,3	0,1	4,1	3,7	0,4	0,2	0,5		0,4	0,1	1,2	4,7
kz	3,2	0,3	0,1	1,4	5,7	0,4	0,1	4,9	4,4	0,5	0,2	0,6		0,5	0,1	1,4	5,6
zu	2,2	0,5	0,2	2,1	8,3	0,5	0,2	7,1	6,4	0,7	0,3	0,8		0,8	0,2	2,1	8,1
wp	2	0,5	0,2	2,3	9,2	0,6	0,2	7,8	7,0	0,8	0,3	0,9		0,8	0,2	2,3	8,9
prei	4,1	0,2	0,1	1,1	4,5	0,3	0,1	3,8	3,4	0,4	0,2	0,4		0,4	0,1	1,1	4,3
erwt	0,5	2,0	0,8	9,3	36,7	2,4	0,7	31,2	28,0	3,3	1,4	3,7		3,3	0,8	9,1	35,6
ssb	2	0,5	0,2	2,3	9,2	0,6	0,2	7,8	7,0	0,8	0,3	0,9		0,8	0,2	2,3	8,9
tulp	2,4	0,4	0,2	1,9	7,6	0,5	0,2	6,5	5,8	0,7	0,3	0,8			0,2		7,4
lelie	1,8	0,6	0,2	2,6	10,2	0,7	0,2	8,7	7,8	0,9	0,4	1,0			0,2		9,9
	N/P2O5																
	0-0,5																
	0,6-1																
	1,1-1,5																
	1,6-2,5																
	2,5-10																
	>10																

Tabel 5. Vergelijking tussen de Nwz/P2O5-ratio van mestproducten en de N/P2O5-ratio van de gewasbehoefte op basis van gewasgerichte bemestingsadviezen voor N en P.

gewas	Bouwplan	N/P2O5	dvm				dvm dig				drm				drm dig			
			onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc
			1,22	0,42	5,1	16,49	1,38	0,42	17,96	12,73	1,45	0,71	1,31	mc	1,93	0,56	4,6	16,01
ca	ZWK	2,06	0,59	0,20	2,48	8,01	0,67	0,20	8,72	6,18	0,70	0,34	0,64	0,00	0,94	0,27	2,23	7,78
ca	ZON	175,00	0,01	0,00	0,03	0,09	0,01	0,00	0,10	0,07	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,09
pa	CZK	1,14	1,07	0,37	4,46	14,43	1,21	0,37	15,72	11,14	1,27	0,62	1,15	0,00	1,69	0,49	4,03	14,01
Za	NON	5,00	0,24	0,08	1,02	3,30	0,28	0,08	3,59	2,55	0,29	0,14	0,26	0,00	0,39	0,11	0,92	3,20
sb	NZK	3,75	0,33	0,11	1,36	4,40	0,37	0,11	4,79	3,39	0,39	0,19	0,35	0,00	0,51	0,15	1,23	4,27
sb	CZK	2,50	0,49	0,17	2,04	6,60	0,55	0,17	7,18	5,09	0,58	0,28	0,52	0,00	0,77	0,22	1,84	6,40
sb	ZWK	3,75	0,33	0,11	1,36	4,40	0,37	0,11	4,79	3,39	0,39	0,19	0,35	0,00	0,51	0,15	1,23	4,27
sb	NON	150,00	0,01	0,00	0,03	0,11	0,01	0,00	0,12	0,08	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,11
sb	ZON	150,00	0,01	0,00	0,03	0,11	0,01	0,00	0,12	0,08	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,11
sn	ZON	12,33	0,10	0,03	0,41	1,34	0,11	0,03	1,46	1,03	0,12	0,06	0,11	0,00	0,16	0,05	0,37	1,30
wg	NZK	80,00	0,02	0,01	0,06	0,21	0,02	0,01	0,22	0,16	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,06	0,20
wt	NZK	100,00	0,01	0,00	0,05	0,16	0,01	0,00	0,18	0,13	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,16
wt	CZK	100,00	0,01	0,00	0,05	0,16	0,01	0,00	0,18	0,13	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,16
wt	ZWK	100,00	0,01	0,00	0,05	0,16	0,01	0,00	0,18	0,13	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,16
zg	NON	80,00	0,02	0,01	0,06	0,21	0,02	0,01	0,22	0,16	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,06	0,20
zt	ZWK	80,00	0,02	0,01	0,06	0,21	0,02	0,01	0,22	0,16	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,06	0,20
gz	ZWK	160,00	0,01	0,00	0,03	0,10	0,01	0,00	0,11	0,08	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,10
kz	NZK	175,00	0,01	0,00	0,03	0,09	0,01	0,00	0,10	0,07	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,09
zu	ZWK	0,41	2,96	1,02	12,39	40,05	3,35	1,02	43,62	30,92	3,52	1,72	3,18	0,00	4,69	1,36	11,17	38,88
e+ssb	ZON	30,00	0,04	0,01	0,17	0,55	0,05	0,01	0,60	0,42	0,05	0,02	0,04	0,00	0,06	0,02	0,15	0,53
prei	ZON	100,00	0,01	0,00	0,05	0,16	0,01	0,00	0,18	0,13	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,16
wp	ZON	110,00	0,01	0,00	0,05	0,15	0,01	0,00	0,16	0,12	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,04	0,15
lelie	CZK																	
tulp	CZK	3,10	0,39	0,14	1,65	5,32	0,45	0,14	5,79	4,11	0,47	0,23	0,42	0,00	0,62	0,18	1,48	5,16
			NP-product/NP-gewas															
			0-0,5															
			0,6-1															
			1,1-1,5															
			1,6-2,5															
			2,5-10															
			>10															

Tabel 6. Vergelijking tussen de Nwz/K2O-ratio van mestproducten en de N/K2O-ratio van de gewasbehoefte op basis van gewasgerichte bemestingsadviezen voor N en K.

gewas	Bouwplan	N/K2O	dvm				dvm dig				drm				drm dig			
			onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc	onb	dik	dun	mc
			0,97	1,34	0,78	0,71	0,97	1,43	0,73	0,68	0,37	0,32	0,26	mc	0,59	0,67	0,54	0,63
ca	ZWK	0,97	1,00	1,38	0,80	0,73	1,00	1,47	0,75	0,70	0,38	0,33	0,27		0,61	0,69	0,56	0,65
ca	ZON	1,46	0,67	0,92	0,53	0,49	0,67	0,98	0,50	0,47	0,25	0,22	0,18		0,40	0,46	0,37	0,43
pa	CZK	1,50	0,65	0,89	0,52	0,47	0,65	0,95	0,49	0,45	0,25	0,21	0,17		0,39	0,45	0,36	0,42
Za	NON	1,75	0,55	0,77	0,45	0,41	0,55	0,82	0,42	0,39	0,21	0,18	0,15		0,34	0,38	0,31	0,36
sb	NZK	2,50	0,39	0,54	0,31	0,28	0,39	0,57	0,29	0,27	0,15	0,13	0,10		0,24	0,27	0,22	0,25
sb	CZK	3,00	0,32	0,45	0,26	0,24	0,32	0,48	0,24	0,23	0,12	0,11	0,09		0,20	0,22	0,18	0,21
sb	ZWK	3,00	0,32	0,45	0,26	0,24	0,32	0,48	0,24	0,23	0,12	0,11	0,09		0,20	0,22	0,18	0,21
sb	NON	1,00	0,97	1,34	0,78	0,71	0,97	1,43	0,73	0,68	0,37	0,32	0,26		0,59	0,67	0,54	0,63
sb	ZON	1,25	0,78	1,07	0,62	0,57	0,78	1,14	0,58	0,54	0,30	0,26	0,21		0,47	0,54	0,43	0,50
sn	ZON	3,08	0,31	0,43	0,25	0,23	0,31	0,46	0,24	0,22	0,12	0,10	0,08		0,19	0,22	0,18	0,20
wg	NZK	80,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,01	0,01
wt	NZK	100,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,01	0,01
wt	CZK	100,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,01	0,01
wt	ZWK	100,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,01	0,01
zg	NON	1,00	0,97	1,34	0,78	0,71	0,97	1,43	0,73	0,68	0,37	0,32	0,26		0,59	0,67	0,54	0,63
zt	ZWK	80,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,01	0,01
gz	ZWK	160,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
kz	NZK	175,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
zu	ZWK	0,19	4,99	6,89	4,01	3,65	4,99	7,35	3,75	3,50	1,90	1,65	1,34		3,03	3,45	2,78	3,24
e+ssb	ZON	0,50	1,94	2,68	1,56	1,42	1,94	2,86	1,46	1,36	0,74	0,64	0,52		1,18	1,34	1,08	1,26
prei	ZON	0,83	1,16	1,61	0,94	0,85	1,16	1,72	0,88	0,82	0,44	0,38	0,31		0,71	0,80	0,65	0,76
wp	ZON	0,92	1,06	1,46	0,85	0,77	1,06	1,56	0,80	0,74	0,40	0,35	0,28		0,64	0,73	0,59	0,69
lelie	CZK																	
tulp	CZK	2,07	0,47	0,65	0,38	0,34	0,47	0,69	0,35	0,33	0,18	0,15	0,13		0,29	0,32	0,26	0,30
			NwzK-product/NK-gewas															
			0-0,5															
			0,6-1															
			1,1-1,5															
			1,6-2,5															
			2,5-10															
			>10															

BIJLAGE 3. ACHTERGRONDGEGEVENS BIJ DE MILIEUKUNDIGE BEOORDELING EN KLIMAATEFFECTEN

Productie en transport van kunstmest

	Per 1000 kg product						Per kg Nt						Per kg Nw						Per kg P2O5					
	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3
	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N
KAS	660		970	1630			2.4		3.6	6.0			2.4		3.6	6.0			0.76			0.76		
TSP	340		0	340																				

Opslag en mestbewerking

	Per 1000 kg product					Per kg Nt					Per kg Nw					Per kg P2O5									
	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	
	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	
KAS																									
TSP	0																								
DRM		37.8	1.2	39	0.2		9.2	0.3	9.5	0.049			17.4	0.6	18.0	0.09			25.2	0.8	26.0	0.13			
DVM		110.7	3.2	114	0.5		15.6	0.5	16.0	0.065			19.7	0.6	20.3	0.08			24.1	0.7	24.8	0.10			
RM-stal		7.9	18.1	26	0.1		1.5	3.4	4.9	0.017			5.7	13.2	18.9	0.07			2.8	6.5	9.3	0.03			
KM-vast		7.9	108.6	117	1.8		0.2	3.4	3.6	0.055			0.4	5.7	6.2	0.09			0.5	6.5	6.9	0.10			
DRM-covergisting	0																								
Mais																									
DRM-codigest	-296	8.2	62.3	-225	0.2		-54.7	1.5	11.5	-41.7	0.04		-78.2	2.2	16.5	-59.5	0.06		-155.5	4.3	32.8	-118.4	0.11		
DVM-covergisting	0																								
Mais																									
DVM-codigest	-304	8.2	64.8	-231	0.3		-44.0	1.2	9.4	-33.5	0.04		-57.9	1.6	12.3	-44.0	0.05		-79.9	2.2	17.0	-60.7	0.07		
DRM-scheiden	0																								
DRM-dik	2	1.1	15.0	18	0.2		0.5	0.2	3.3	4.1	0.04		1.4	0.7	9.3	11.3	0.11		1.0	0.5	6.5	8.0	0.08		
DRM-dun	2	30.5	0.7	33	0.1		0.8	11.3	0.2	12.4	0.04		1.4	19.8	0.4	21.7	0.07		1.8	25.4	0.5	27.8	0.09		
DRM-dun-conc	0																								
DVM-scheiden	0																								
DVM-dik	2	2.6	37.5	42	0.4		0.2	0.2	3.5	4.0	0.04		0.3	0.4	5.9	6.7	0.07		0.1	0.2	2.5	2.8	0.03		
DVM-dun	2	9.1	1.7	13	0.2		0.5	2.2	0.4	3.1	0.04		0.6	2.5	0.5	3.5	0.05		3.1	13.0	2.4	18.5	0.24		
DVM-dun-conc	57	9.1	0.0	66	0.3		8.6	1.4	0.0	9.9	0.04		9.5	1.5	0.0	11.0	0.04		143.5	22.7	0.0	166.2	0.67		
DRM-codigest-scheiden	0																								
DRM-codigest-dik	-293	1.1	95.2	-197	0.3		-40.7	0.2	13.2	-27.4	0.04		-81.5	0.3	26.4	-54.7	0.08		-45.8	0.2	14.9	-30.8	0.05		
DRM-codigest-dun	-293	30.5	62.0	-201	0.2		-75.2	7.8	15.9	-51.5	0.04		-92.9	9.7	19.6	-63.6	0.05		-419.1	43.6	88.6	-286.9	0.22		
DRM-codigest-dun-conc	-553	30.5	121.1	-401	0.4		-50.2	2.8	11.0	-36.5	0.04		-55.8	3.1	12.2	-40.5	0.04		-921.1	50.8	201.8	-668.5	0.73		
DVM-codigest-scheiden	0																								
DVM-codigest-dik	-302	2.6	116.7	-182	0.4		-26.9	0.2	10.4	-16.3	0.04		-41.4	0.4	16.0	-25.0	0.06		-17.4	0.2	6.7	-10.5	0.03		
DVM-codigest-dun	-302	9.1	61.9	-231	0.1		-97.3	2.9	20.0	-74.4	0.04		-105.7	3.2	21.7	-80.8	0.04		-1508	45.5	309.5	-1153	0.62		
DVM-codigest-dun-conc	-550	9.1	121.1	-420	0.3		-86.0	1.4	18.9	-65.6	0.04		-94.5	1.6	20.8	-72.1	0.04		-1100	18.2	242.2	-839.9	0.51		

Transport

Alleen mest (bij kunstmest zit het al in productie verwerkt)

	Per 1000 kg product						Per kg Nt						Per kg Nw						Per kg P2O5						
	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	
	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	
KAS																									
TSP																									
0																									
DRM	23			23			6			5,67			11			10,70			15,50			15,50			
DVM	23			23			3			3,27			4			4,15			5,05			5,05			
RM-stal	23			23			4			4,39			17			16,87			8,30			8,30			
KM-vast	23			23			1			0,72			1			1,23			1,38			1,38			
0																									
DRM-covergisting																									
Mais																									
DRM-codigest	23			23			4			4,31			6			6,15			12,24			12,24			
0																									
DVM-covergisting																									
Mais																									
DVM-codigest	23			23			3			3,37			4			4,43			6,12			6,12			
0																									
DRM-scheiden																									
DRM-dik	23			23			5			5,17			14			14,35			10,11			10,11			
DRM-dun	23			23			9			8,61			15			15,11			19,38			19,38			
DRM-dun-conc	23			23			#####			#####			#####			#####			#####			#####			
0																									
DVM-scheiden																									
DVM-dik	23			23			2			2,19			4			3,66			1,53			1,53			
DVM-dun	23			23			6			5,54			6			6,29			33,21			33,21			
DVM-dun-conc	23			23			3			3,47			4			3,86			58,13			58,13			
0																									
DRM-codigest-scheiden																									
DRM-codigest-dik	23			23			3			3,23			6			6,46			3,63			3,63			
DRM-codigest-dun	23			23			6			5,96			7			7,36			33,21			33,21			
DRM-codigest-dun-conc	23			23			2			2,11			2			2,35			38,75			38,75			
0																									
DVM-codigest-scheiden																									
DVM-codigest-dik	23			23			2			2,08			3			3,19			1,34			1,34			
DVM-codigest-dun	23			23			8			7,50			8			8,15			116,25			116,25			
DVM-codigest-dun-conc	23			23			4			3,63			4			3,99			46,50			46,50			

Toediening

	Per 1000 kg product						Per kg Nt						Per kg Nw						Per kg P2O5						
	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	
	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	
KAS	4.4		1264	1269	6.8	45.9	0.0		4.7	5	0.025	0.17	0.0		4.7	4.7	0.03	0.17	#####		#####	#####	#####	#DIV/0!	
TSP	4.4		0	4	0.0	0													0.01		0.00	0.01		0	
0																									
DRM	4.4		25	29	0.0	0.7	1.1		6.1	7.2	0.01	0.2	2.0		11.5	13.5	0.0	0.3	2.9		16.6	19.6	0.0	0.5	
DVM	4.4		43	48	0.1	1.2	0.6		6.1	6.7	0.0	0.2	0.8		7.7	8.5	0.0	0.3	1.0		9.4	10.4	0.0	0.3	
RM-stal	4.4		32	37	0.2	0.9	0.8		6.1	6.9	0.0	0.2	3.2		23.4	26.6	0.1	1.0	1.6		11.5	13.1	0.1	0.3	
KM-vast	4.4		195	200	1.8	5.5	0.1		6.1	6.2	0.1	0.2	0.2		10.3	10.6	0.1	0.7	0.3		11.6	11.9	0.1	0.3	
0																									
DRM-covergisting																									
Mais																									
DRM-codigest	4.4		33	37	0.1	0.9	0.8		6.1	6.9	0.0	0.2	1.2		8.7	9.9	0.0	0.2	2.3		17.3	19.6	0.0	0.5	
0																									
DVM-covergisting																									
Mais																									
DVM-codigest	4.4		42	46	0.1	1.2	0.6		6.1	6.7	0.0	0.2	0.8		8.0	8.8	0.0	0.3	1.2		11.1	12.2	0.0	0.3	
0																									
DRM-scheiden																									
DRM-dik	4.4		27	32	0.4	0.8	1.0		6.1	7.1	0.1	0.2	2.7		16.9	19.6	0.2	0.5	1.9		11.9	13.8	0.2	0.3	
DRM-dun	4.4		16	21	0.0	0.5	1.6		6.1	7.7	0.0	0.2	2.9		10.7	13.5	0.0	0.3	3.7		13.7	17.4	0.0	0.4	
DRM-dun-conc	4.4		0	4	#####	0.0	#DIV/0!		9.4	#####	#####	0.2	#DIV/0!		#DIV/0!	#####	#####	#####	#####	#####		#####	#####	#####	#DIV/0!
0																									
DVM-scheiden																									
DVM-dik	4.4		65	69	0.9	1.8	0.4		6.1	6.5	0.1	0.2	0.7		10.1	10.8	0.1	0.5	0.3		4.2	4.5	0.1	0.1	
DVM-dun	4.4		26	30	0.1	0.7	1.0		6.1	7.1	0.0	0.2	1.2		6.9	8.1	0.0	0.2	6.3		36.5	42.8	0.1	1.0	
DVM-dun-conc	4.4		63	67	0.1	1.1	0.7		9.4	10.0	0.0	0.2	0.7		10.4	11.1	0.0	0.2	11.0		156.9	167.9	0.3	2.8	
0																									
DRM-codigest-scheiden																									
DRM-codigest-dik	4.4		44	48	0.8	1.2	0.6		6.1	6.7	0.1	0.2	1.2		12.2	13.4	0.2	0.3	0.7		6.8	7.5	0.1	0.2	
DRM-codigest-dun	4.4		24	28	0.1	0.7	1.1		6.1	7.2	0.0	0.2	1.4		7.5	8.9	0.0	0.2	6.3		33.9	40.2	0.1	0.9	
DRM-codigest-dun-conc	4.4		103	107	0.2	1.9	0.4		9.4	9.8	0.0	0.2	0.4		10.4	10.9	0.0	0.2	7.3		171.7	179.0	0.4	3.1	
0																									
DVM-codigest-scheiden																									
DVM-codigest-dik	4.4		68	73	1.3	1.9	0.4		6.1	6.5	0.1	0.2	0.6		9.4	10.0	0.2	0.3	0.3		3.9	4.2	0.1	0.1	
DVM-codigest-dun	4.4		19	23	0.1	0.5	1.4		6.1	7.5	0.0	0.2	1.5		6.6	8.2	0.0	0.2	22.0		94.4	116.4	0.3	2.6	
DVM-codigest-dun-conc	4.4		60	64	0.1	1.1	0.7		9.4	10.1	0.0	0.2	0.8		10.3	11.0	0.0	0.2	8.8		119.9	128.7	0.2	2.2	

Indirecte emissie

	Per 1000 kg product				Per kg Nt								Per kg Nw						Per kg P2O5					
	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3
	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N
KAS			1.9	1.9				0.01	0.0						0.01	0.0					#####	#####		
TSP			0.0	0.0				0.00	0.0							0.0					0.0	0.00		
0																								
DRM			0.1	0.1				0.01	0.0						0.03	0.0					0.0	0.04		
DVM			0.1	0.1				0.02	0.0						0.02	0.0					0.0	0.02		
RM-stal			0.0	0.0				0.01	0.0						0.03	0.0					0.0	0.02		
KM-vast			0.4	0.4				0.01	0.0						0.02	0.0					0.0	0.02		
0																								
DRM-covergisting Mais																								
DRM-codigest			0.1	0.1				0.02	0.0						0.02	0.0					0.0	0.04		
0																								
DVM-covergisting Mais																								
DVM-codigest			0.1	0.1				0.01	0.0						0.02	0.0					0.0	0.03		
0																								
DRM-scheiden																								
DRM-dik			0.1	0.1				0.01	0.0						0.03	0.0					0.0	0.02		
DRM-dun			0.0	0.0				0.01	0.0					0.02	0.0						0.0	0.03		
DRM-dun-conc			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!	#####					#DIV/0!	#####						#####	#####		
0																								
DVM-scheiden																								
DVM-dik			0.1	0.1				0.01	0.0					0.02	0.0						0.0	0.01		
DVM-dun			0.1	0.1				0.02	0.0					0.02	0.0						0.1	0.10		
DVM-dun-conc			0.1	0.1				0.02	0.0					0.02	0.0						0.3	0.29		
0																								
DRM-codigest-scheiden																								
DRM-codigest-dik			0.1	0.1				0.01	0.0					0.03	0.0						0.0	0.01		
DRM-codigest-dun			0.1	0.1				0.02	0.0					0.02	0.0						0.1	0.09		
DRM-codigest-dun-conc			0.2	0.2				0.02	0.0					0.02	0.0						0.3	0.32		
0																								
DVM-codigest-scheiden																								
DVM-codigest-dik			0.1	0.1				0.01	0.0					0.02	0.0						0.0	0.01		
DVM-codigest-dun			0.1	0.1				0.02	0.0					0.02	0.0						0.3	0.27		
DVM-codigest-dun-conc			0.1	0.1				0.02	0.0					0.02	0.0						0.2	0.22		

Totaal

	Per 1000 kg product						Per kg Nt						Per kg Nw						Per kg P2O5					
	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3	CO2	CH4	N2O	BKG	NH3	NO3
	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	CO2-eq	kg N	kg N
KAS	664	0	2236	2901	7	46	2	0	8	11	0.0	0.2	2	0.0	8	11	0	0	#####	0.0	#####	#####	#####	#DIV/0!
TSP	344	0	0	344	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	1	0.0	0	1	0	0
DRM	28	38	26	92	0.2	0.7	7	9	6	22	0.1	0.2	13	17.4	12	42	0.1	0.3	18	25.2	17	61	0.2	0.5
DVM	28	111	47	185	0.6	1.2	4	16	7	26	0.1	0.2	5	19.7	8	33	0.1	0.3	6	24.1	10	40	0.1	0.3
RM-stal	28	8	50	86	0.3	0.9	5	1	10	16	0.1	0.2	20	5.7	37	62	0.2	1.0	10	2.8	18	31	0.1	0.3
KM-vast	28	8	304	340	3.5	5.5	1	0	9	11	0.1	0.2	1	0.4	16	18	0.2	0.7	2	0.5	18	20	0.2	0.3
DRM-covergisting Mais																								
DRM-codigest	-268	8	95	-164	0.3	0.9	-50	2	18	-30	0.1	0.2	-71	2.2	25	-44	0.1	0.2	-141	4.3	50	-87	0.2	0.5
DVM-covergisting Mais																								
DVM-codigest	-276	8	107	-161	0.4	1.2	-40	1	15	-23	0.1	0.2	-53	1.6	20	-31	0.1	0.3	-73	2.2	28	-42	0.1	0.3
DRM-scheiden																								
DRM-dik	30	1	42	73	0.5	0.8	7	0	9	16	0.1	0.2	18	0.7	26	45	0.3	0.5	13	0.5	18	32	0.2	0.3
DRM-dun	30	30	17	77	0.1	0.5	11	11	6	29	0.1	0.2	19	19.8	11	50	0.1	0.3	25	25.4	14	65	0.1	0.4
DRM-dun-conc	28	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#####	0.0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#####	#####	0.2	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#####	#####	#####	#####	0.0	#####	#####	#####	#DIV/0!
DVM-scheiden																								
DVM-dik	30	3	102	135	1.3	1.8	3	0	10	13	0.1	0.2	5	0.4	16	21	0.2	0.5	2	0.2	7	9	0.1	0.1
DVM-dun	30	9	27	66	0.2	0.7	7	2	6	16	0.1	0.2	8	2.5	7	18	0.1	0.2	43	13.0	39	95	0.3	1.0
DVM-dun-conc	85	9	63	157	0.4	1.1	13	1	9	23	0.1	0.2	14	1.5	10	26	0.1	0.2	213	22.7	157	392	1.0	2.8
DRM-codigest-scheiden																								
DRM-codigest-dik	-266	1	139	-125	1.1	1.2	-37	0	19	-17	0.2	0.2	-74	0.3	39	-35	0.3	0.3	-42	0.2	22	-20	0.2	0.2
DRM-codigest-dun	-266	30	86	-149	0.2	0.7	-68	8	22	-38	0.1	0.2	-84	9.7	27	-47	0.1	0.2	-380	43.6	123	-213	0.3	0.9
DRM-codigest-dun-conc	-525	30	224	-270	0.7	1.9	-48	3	20	-25	0.1	0.2	-53	3.1	23	-27	0.1	0.2	-875	50.8	374	-451	1.1	3.1
DVM-codigest-scheiden																								
DVM-codigest-dik	-274	3	185	-86	1.8	1.9	-24	0	17	-8	0.2	0.2	-38	0	25	-12	0.2	0.3	-16	0	11	-5	0.1	0.1
DVM-codigest-dun	-274	9	81	-184	0.2	0.5	-88	3	26	-59	0.1	0.2	-96	3	28	-65	0.1	0.2	-1370	45	404	-920	0.9	2.6
DVM-codigest-dun-conc	-522	9	181	-332	0.4	1.1	-82	1	28	-52	0.1	0.2	-90	2	31	-57	0.1	0.2	-1045	18	362	-665	0.7	2.2